

**EVALUACIÓN DE SISTEMAS BIOLÓGICOS DE LECHO FIJO PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS PROVENIENTES DE
LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO (NARIÑO)**

JOHN ALEXANDER MAYA GONZÁLEZ

INGENIERO AMBIENTAL

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

SAN JUAN DE PASTO

2018

**EVALUACIÓN DE TRES FILTROS DE LECHO FIJO PARA EL TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS PROVENIENTES DE LA CIUDAD DE
SAN JUAN DE PASTO (NARIÑO)**

JOHN ALEXANDER MAYA GONZÁLEZ

INGENIERO AMBIENTAL

**Proyecto de grado como requisito para optar al título de magister en
desarrollo sostenible y medio ambiente**

Asesor de proyecto:

Ph. D YASEL JOSÉ COSTA SALAS

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

MAESTRIA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS

SAN JUAN DE PASTO

2018

Tabla de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
2.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
2.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	5
2.3	HIPOTESIS	5
2.4	JUSTIFICACIÓN.....	6
3.	MARCO TEÓRICO.....	8
3.1	REFERENTE TEORICO	8
3.1.1	Agua Residual	8
3.1.2	Aguas Residuales Domesticas o Blandas.....	8
3.1.3	Agua Residuales Industriales.....	9
3.1.4	Contaminantes del agua residual	10
3.1.5	Demanda Bioquímica de Oxigeno	11
3.1.6	Solidos Totales.....	12
3.1.7	Tratamientos de Aguas Residuales	12
3.1.8	Lombrifiltro.....	13
3.3	ANTECEDENTES	15
3.3.1	Situación Internacional.....	15
3.3.2	Situación en Colombia.....	17
3.4	MARCO LEGAL	19
4.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	21
4.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	21
5.	METODOLOGIA.....	22
5.1	TIPO DE LA INVESTIGACIÓN	22
5.2	LOCALIZACIÓN Y ZONA DE ESTUDIO	22
5.3	CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN	24
5.4	LINEA DE INVESTIGACIÓN	24
5.5	ESTRATEGIA MEDOTODOLOGICA Y RESULTADOS ESPERADOS	25
6.	RESULTADOS	28
6.1	REALIZAR DIAGNOSTICO DEL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS GENERADAS POR LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO.....	28

6.1.1	Diagnóstico de área a investigar	28
6.1.2	Manejo de aguas residuales en San Juan de Pasto.....	33
6.2	IMPLEMENTAR REACTORES BIOLOGICOS A ESALA DE LABORATORIO PARA EVALUACIÓN DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGANICA Y SOLIDOS TOTALES DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS GENERADAS EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO.....	42
6.2.1	Medios de Soporte y Construcción de sistema piloto.....	42
6.2.2	Construcción de reactores	48
6.2.3	Recolección de agua.....	54
6.3	COMPARAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGANICA Y SOLIDOS TOTALES DE LOS REACTORES BIOLOGICOS CON RELACION A LOS VALORES ADMISIBLES PARA EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS CITADOS EN LA RESOLUCIÓN 631 DE 2015 65	
7.	ANALISIS Y DISCUSIÓN	74
8.	CONCLUSIONES	79
9.	RECOMENDACIONES	82
10.	BIBLIOGRAFIA.....	84

Lista de Tablas

Tabla No 1. Contaminantes de importancia en aguas residuales	10
Tabla No 2. Margo Legal para manejo de aguas residuales.....	20
Tabla No 3. Diseño Metodológico y resultados esperados.....	25
Tabla No 4. Naturaleza de colector	38
Tabla No. 5 Caracterización de agua residual en cada colector.....	39
Tabla No 6. Determinación de cantidades	46
Tabla No 7. Recolección de agua de alimentación al sistema.....	56
Tabla No. 8 Plan de muestro y desarrollo de proceso de determinación de parámetros	58
Tabla No. 9 Concentración ST en la evaluación del sistema	59
Tabla No. 10 Variables estadísticas de concentración de ST	60
Tabla No. 11 Concentración de DBO en el sistema.....	61
Tabla No. 12 Variables estadísticas de concentración de DBO	63
Tabla No. 13 Evaluación de remoción de ST en el sistema	65
Tabla No. 14 variables estadísticas de remoción de ST en el sistema	67
Tabla No. 15 Remoción de DBO en unidades del sistema	69
Tabla No. 16 Evaluación de variables estadísticas de remoción de DBO.....	71
Tabla No. 17 Determinación valores admisibles.....	72
Tabla No. 18 Determinación valores admisibles vs remoción del sistema	72

Tabla de Figuras

Figura No. 1 Consumo y generación de aguas residuales en el mundo.....	16
Figura No. 2 ubicación Pasto en el Departamento de Nariño.....	23
Imagen No. 3 cauce principal Río Pasto	29
Imagen No. 4 Cauce río Pasto por cabecera urbana de San Juan de Pasto	32
Imagen No. 5 Box coulvert Hospital Departamental	34
Imagen No. 6 Colector circular Colegio Pedagógico	35
Imagen No. 7 Box coulvert Colegio Pedagógico.....	35
Imagen No. 8 Colector circular Juan XXIII	36
Imagen No. 9 Colector circular club de tenis	37
Imagen No. 10 distribución cause principal Rio Pasto	41
Imagen No. 11 Ubicación del lugar de implementación del piloto.....	44
Imagen No. 12 Condiciones locativas de implementación de sistema	45
Imagen No. 13 Diseño del sistema en ACAD.....	45
Imagen No. 14 Implementación del sistema	47
Imagen No. 15 conexión del sistema	48
Imagen No. 16 medio granular para reactor de roca.....	49
Imagen No. 17 lavado de material granular.....	50
Imagen No. 18 Montaje tipo de lombrifiltro.....	51
Imagen No. 19 medio de soporte lombriz californiana	52
Imagen No. 20 montaje de reactor lombrifiltro.....	53
Imagen No. 21 sistema de distribución uniforme.....	54
Imagen No. 22 recolección de muestra de agua.....	55
Imagen No. 23 toma de muestra para analizar.....	55
Figura No. 24 Concentraciones ST en el sistema	59
Figura No. 25 Concentraciones DBO en el sistema.....	62
Figura No. 26 remoción de ST en el sistema	66
Figura No. 27 Remoción de DBO en el sistema.....	69

RESUMEN

El crecimiento poblacional de una ciudad como en desarrollo como San Juan de Pasto, genera descargas directamente proporcional a su demografía aguas residuales las cuales generan impactos ambientales importantes sobre la salubridad y vida acuática en el Río Pasto, por ello se desarrolló un sistema a escala piloto que permitió evaluar la remoción de material orgánica y sólidos suspendidos totales en diferentes tipos de lechos fijos biológicos como lombrifiltro, canto rodado y “rulos de cabello”, proceso relevante para la ciudad de San Juan de Pasto teniendo como base que en la actualidad esta ciudad no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales que permita minimizar los impactos sobre el ecosistema y se hace necesario el estudio de sistemas que den cumplimiento a la normativas vigente como es la resolución 631 de 2015. La evaluación desarrollada permitió determinar que el sistema de mayor remoción de materia orgánica expresada en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y sólidos suspendidos totales fue el lombrifiltro con un 56,42% para DBO5 y 27,3% para Sólidos Totales (SST), siendo un referente importante para la elección de un tratamiento terciario basado en tratamiento biológico para tratamiento de aguas residuales domiciliarias.

PALABRAS CLAVE

Tratamiento terciario, remoción, sistema piloto, valores admisibles, sólidos suspendidos totales, materia orgánica.

ABSTRACT

he population growth of a city like in the development like San Juan de Pasto, generates directly proportional discharges and its demography translates into a pilot climbing system in the Pasto River. which evaluates the removal of organic material and total solids in different types of files such as lombrifiltro, boulder and "hair curlers", a relevant process for the city of San Juan de Pasto, as a basis that currently this city does not have a system of treatment of the times that can have the effects of the system and the time it takes to study the systems that comply with current regulations such as resolution 631 of 2015. The evaluation developed in which system of organic matter removal expressed in Biochemical Oxygen Demand (BOD5) and total solids was the lombrifiltro with 56.42% for DBO5 and 27.3% for Total Solids (ST), being an important reference for the election of a tertiary treatment based on a biological treatment for the treatment of domiciliary waters

KEY WORDS

Tertiary treatment, removal, pilot system, admissible values, total solids, organic matter.

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas (OEFA, 2015), las cuales si no se tratan y eliminan de modo higiénico, pueden convertirse en el agente de enfermedades como cólera, la fiebre tifoidea y otras infecciones entéricas. Además, el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento puede provocar la deterioración física, química y biológica de las fuentes de agua. Es evidente que la contaminación de las fuentes de agua y de los terrenos por descarga de aguas residuales se agrava con el acelerado crecimiento demográfico y, sobre todo, con la expansión de los centros urbanos, por otra parte, uno de los factores también agravante es el continuo desarrollo de la industria, que acarrea alteraciones importantes en la composición y las características de aguas residuales, donde cada año se producen centenares de nuevas sustancias químicas orgánicas, donde algunas son persistentes y no biodegradables (OMS, Aprovechamiento de Efluentes: Metodos y Medidas de protección Sanitaria en el Tratamiento de Aguas Servidas, 1973).

San Juan de Pasto capital del Departamento de Nariño, ubicado al sur de Colombia, posee un elevado crecimiento poblacional y con ello su directamente proporcional generación de aguas residuales, las cuales son vertidas directamente sobre el alcantarillado de la ciudad que a su vez entrega este vertimiento al Río Pasto, río principal de la cuenca del municipio de Pasto del que se abastecen varias comunidades. Para este caso las aguas residuales que se generan son de tipo doméstico, debido a que la ciudad no se caracteriza por tener alta presencia de

industrias. Entre las características más importantes de estas aguas residuales domesticas que son generadas con la actividad diaria de los “Pastusos” son los altos contenidos de materia orgánica (Orozco Jaramillo, 2014) provenientes de excretas, orina, inadecuadas costumbres de arrojar alimentos al alcantarillado entre otras. Esta materia orgánica es expresada bajo los parámetros de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST) se presentan solidos tipo excretas vertidos. Es necesario aclarar, que en la actualidad la ciudad de San Juan de Pasto, no cuenta con Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para la remoción de estos contaminantes como lo exige la Resolución 0631 de 2015, en la cual además de exigir sistema de tratamiento para remoción de contaminantes establece los valores admisibles por un cuerpo de agua determinante en relación a vertimientos de aguas residuales.

A fin de lograr la remoción de contaminantes se adecuan tratamientos de tipo primario, secundario y terciario, siendo el secundario, el tratamiento el cual incluye procesos biológicos para la remoción de contaminantes de aguas residuales (Mihelcic & Zimmerman, 2011), que consisten en asegurar el medio para el crecimiento biológico de especies que permitan depurar dichos contaminantes. Para ello en estos tratamientos se hace necesario la formulación de sistemas de tratamiento novedosos que sean aceptados que permitan y aseguren la remoción de contaminantes con relación a la normatividad ambiental vigente.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La ciudad de San Juan de Pasto, como todo centro poblado genera aguas residuales, para este caso teniendo en cuenta que no es una ciudad con alto crecimiento industrial, la generación de aguas residuales son de tipo Domesticas (ARD), las cuales al no ser tratadas son consideradas como altamente contaminadas, aun cuando la cantidad de contaminantes que esta contengan pueda parecer pequeña (Mihelcic & Zimmerman, 2011). Por ello la normatividad ambiental vigente exige para cada ciudad o industria la incorporación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, que disminuya la contaminación de diferentes parámetros hasta valores admisibles como lo establece la ley General Ambiental 99 de 1993.

Estas aguas residuales generados en la ciudad de Pasto son vertidas por la población existente en la ciudad directamente sobre el alcantarillado y a su vez este alcantarillado tiene zonas de vertimiento dentro de la ciudad sobre el Río Pasto el cual atraviesa a esta ciudad en su totalidad. Esta es una realidad que no es ajena al resto de centros poblados de Latinoamérica, donde el 70% de las aguas residuales generadas vuelven a cuerpos de agua sin tratamiento previo (Batista, 2013) . Esta realidad puede generar grandes complicaciones sanitarias debido que pueden generar propagación de vectores como insectos que actúan como medio de

transporte de enfermedades parasitarias (OMS, Organización Mundial de la Salud, 2015)

Teniendo en cuenta lo anterior, es relevante establecer que entre las características más importantes de las aguas residuales domésticas, son los altos contenidos de materia orgánica y sólidos totales provenientes de excretas y orinas de la población (Orozco Jaramillo, 2014). Esta materia orgánica se ve expresada por la demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno donde los valores típicos del agua residual doméstica en relación a estos parámetros son de 190 mg/l y 382 mg/l, y para sólidos totales corresponde a 403 mg/l (Romero Rojas, 1994).

De esta manera, y rescatando que en la actualidad los vertimientos que se realizan al Río Pasto por parte de la Ciudad de San Juan de Pasto son netamente con características de Aguas Residuales Domésticas (ARD), es necesario poner en marcha la evaluación de sistemas de tratamiento innovadores que permitan la remoción de contaminantes que afectan al medio ambiente teniendo en cuenta la normatividad ambiental vigente, además es necesario tener en cuenta los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en donde se expresa la necesidad de implementación de sistemas de mitigación para disminución de contaminación ambiental (Naciones Unidas, 2018). Para ello, con el presente proyecto se pretende evaluar tres tratamientos biológicos entre los que se encuentran canto rodado, cilindro con filamentos sintéticos y la evaluación de lombrí tratamiento, estableciendo la siguiente pregunta de investigación.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el reactor biológico más eficiente para realizar la remoción de contaminantes como materia orgánica y sólidos totales en las aguas residuales domésticas vertidas sobre el Río Pasto de la ciudad de San Juan de Pasto teniendo como referencia los valores admisibles nombrados por la Resolución 0631 de 2015?

2.3 HIPOTESIS

El reactor Biológico de flujo ascendente, que tiene la incorporación de lombricitario, es más eficiente que los sistemas biológicos de lecho fijo (Canto rodado y cilindros con filamentos sintéticos), con relación al cumplimiento de la disminución de contaminantes hasta los valores admisibles exigidos en la Resolución 0631 de 2015.

2.4 JUSTIFICACIÓN

La contaminación de los cuerpos de agua se ha convertido en un hecho de trascendencia internacional, debido a que repercute directamente con la afectación de la calidad de vida de las personas; esta contaminación se deriva a la generación a su vez de aguas residuales que se generan por la cotidiana de las personas en la realización de actividades productivas como de aseo.

Para ello en Colombia existe una normatividad robusta que permite reglamentar la disposición y tratamiento de las aguas residuales, en aras de garantizar el derecho fundamental de gozar de un ambiente sano como lo establece la Constitución Política de 1991.

Sin embargo, la ciudad de San Juan de Pasto que cuenta con una población de 455.863 habitantes, es una ciudad con un proceso de crecimiento población, hecho que ha generado que directamente proporcional a su crecimiento población ha aumentado la generación de aguas residuales que son vertidas directamente al Río Pasto, el cual es el mismo río que abastece desde su nacimiento a gran parte de esta ciudad. Así las cosas, es importante anotar que al momento la ciudad de San Juan de Pasto, no cuenta con infraestructura de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), poniendo en riesgo la salud humana debido a la exposición que tiene la comunidad a vectores como mosquitos, ratas, olores, entre otros, procesos típicos de aguas residuales (León, 1995).

Por lo tanto, esta investigación se encuentra motivada bajo la necesidad de conocer he implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales innovadores, que

busquen mayor eficiencia de remoción de contaminantes como son los sólidos totales y materia orgánica en comparación a los procesos convencionales, basándose en registros establecidos por la normatividad vigente.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 REFERENTE TEORICO

3.1.1 Agua Residual.

Son aguas que transportan desechos de los hogares, negocios e industrias que se compone por una mezcla de agua y solidos disueltos o suspensión (PNUMA, 2004), a partir de esta composición las aguas residuales se generan una vez se cambie su composición naturales una vez tenga contacto el agua con otra sustancia de desperdicio o sea la resultante de un proceso tanto de la vida cotidiana como industrial. Las Aguas residuales son generadas a diario a causa de nuestras actividades cotidianas como son el aseo persona, preparación de alimentos, entre otras, por ello es imposible la no generación de este residuo (Esval, 2015). De igual forma, teniendo en cuenta la fuente de generación de estas aguas se ha clasificado en las siguientes categorías (Ramalho, 2003).

3.1.2 Aguas Residuales Domesticas o Blandas.

Son aquellas que provienen de los núcleos de población, de zonas comerciales, de instituciones públicas (hospitales, cárceles, colegios, etc.) y de instalaciones recreativas. En general, indistintamente de la procedencia, estas aguas tienen aproximadamente la misma composición y en general nos referimos a ellas como Aguas Residuales Domesticas (Sans & Ribas, 1989).

3.1.3 Agua Residuales Industriales.

Son todas las aguas residuales vertidas desde locales donde se utiliza cualquier actividad comercial o industrial que lleven consigo un proceso industrial, que no sean aguas domésticas ni aguas de escorrentía pluvial (Centa, 2008).

Escorrentías de usos agrícolas: Son aquellas que arrastran fertilizantes (Fosfatos) y pesticidas, las cuales están empezando a construir una de las causas mayores de eutrofización (alta presencia de nutrientes) de lagos y pantanos (Ramalho, 2003).

Pluviales: Son aquellas que arrastran partículas y contaminantes presentes tanto en la atmósfera como en zonas viales. En la mayoría de las ocasiones, donde los sistemas de alcantarillado son unitarios, las aguas de lluvia son recogidas por el mismo sistema que se emplea la recogida y la conducción de aguas residuales domésticas e industriales. En los primeros 15 a 30 min del inicio de las precipitaciones, la contaminación aportada a la estación de tratamiento puede ser importante (García, y otros, 2006).

3.1.4 Contaminantes del agua residual

La composición de la aguas residuales puede ser muy variable pues depende de muchos factores, entre los distintos elementos contaminantes que contiene las aguas residuales de tipo urbano son la materia orgánica, las cuales son de naturaleza reductora por lo que consumirán oxígeno y pueden estar presentes en forma disuelta o coloidal (Osorio, Torres, & Sanchez , 2010). Sin embargo, en las aguas residuales existen otros contaminantes igual de importantes que la materia orgánica los cuales se pueden observar a continuación en la tabla No.1:

Contaminante	Parámetro típico de medida	Impacto Ambiental
Materia Orgánica Biodegradable	DBO, DQO	Desoxigenación del agua, generación de olores indeseables
Materia Suspendida	SST, SSV	Causa turbiedad en el agua, deposita lodos
Patógenos	CF	Hace el agua insegura para consumo y recreación
Amoníaco	NH ⁺ -N	Desoxigena el agua, es toxico para organismo acuáticos y puede estimular crecimiento de algas
Fosforo	Ortofosfatos	Puede estimular crecimiento de algas
Materiales tóxicos	Como cada material toxico especifico	Peligroso para la vida vegetal y animal
Sales inorgánicas	SDT	Limita los usos agrícolas e industriales del agua
Energía Térmica	Temperatura	Reduca la concentración de saturación de oxígeno en el agua, acelera el crecimiento de organismos acuáticos
Iones hidrógeno	pH	Riesgo potencial para organismos acuáticos

Fuente: Romero Rojas, J. A. (2000).

3.1.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno

También expresada como DBO, se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobio. La demanda de oxígeno de la aguas residuales es resultado de tres tipos de materiales: (1) materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos; (2) nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoniaco, y en general compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación de bacterias específicas (Nitrosomas y Nitrobacter); y (3) compuestos químicos reductores (Ion ferroso, sulfitos, sulfuros, que se oxidan por oxígeno disuelto (Ramalho, 2003).

La DBO, como se dijo anteriormente es la medida del oxígeno que usan los microorganismos para descomponer la materia orgánica, donde si hay una gran cantidad de desechos orgánicos en el agua, probablemente habrá muchas bacterias presentes trabajando para descomponerla. En este caso, la demanda de oxígeno será alta, así que el nivel de DBO será alto. Conforme el desecho es consumido o dispersado en el agua los niveles de DBO comenzarán a bajar. De esta manera cuando los niveles de DBO son altos, los niveles de oxígeno disuelto (OD) disminuyen por que el oxígeno que está disponible en el agua es consumido por las bacterias. Puesto que hay menos oxígeno disuelto disponible en el agua, los peces y otros organismos acuáticos tienen menos probabilidades de sobrevivir (Stachetti & Moreira, 2007).

3.1.6 Sólidos Suspendidos Totales

Se consideran como sólidos suspendidos totales aquellos generados como residuo de la evaporación y secado a 103°C y 105°C, estos sólidos en las aguas residuales domiciliarias pueden ser representados por la cantidad de materia orgánica encontrados en las excretas de la población. Sin embargo, dentro de los procesos de tratamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales corresponden a la cantidad de lodo que se genera en cada unidad de tratamiento (Romero Rojas, 2000) .

3.1.7 Tratamientos de Aguas Residuales

El tratamiento de aguas residuales es el proceso mediante el cual se asegura la disminución de contaminantes a través de diferentes procesos que tratan el agua. El tratamiento de aguas residuales abarca un escenario muy amplio de problemas porque incluye una gran variedad de afluentes y otros requisitos de efluentes y de métodos de disposición diferentes. El tratamiento de aguas residuales incluye tratamiento de aguas de una sola residencia, de aguas residuales de condominios y urbanizaciones, de aguas residuales de alcantarillado municipales combinados, así como las aguas grises, servidas e industriales de procesos de manufactura como calidades muy específicas y variables según el proceso del cual provienen (Romero Rojas, 1994).

Dentro de los tratamientos de aguas residuales se encuentran:

Pretratamiento: Consiste en preparar las aguas residuales para más tratamiento. Se utiliza para eliminar espuma aceitosa, escombros

flotantes y arenilla los cuales pueden inhibir los procesos ecológicos y dañar el equipo mecánico.

Tratamiento primario: Es el responsable de remover los sólidos mediante el asentamiento de la gravedad inactiva. Típicamente, el agua residual doméstica es mantenida por un periodo de aproximadamente 2 horas. Los tanques de asentamiento, también referidos como tanques de sedimentación o clarificadores, pueden ser ya sea rectangulares o circulares.

Tratamiento secundario: El agua residual que sale del clarificador primario ha perdido una cantidad significativa de materia de partículas que contenía, pero aún tiene una alta demanda de oxígeno debido a la abundancia de materia orgánica (DBO). En este tipo de tratamiento el cual es una forma de tratamiento biológico utiliza microorganismos para descomponer estas moléculas.

Tratamiento terciario: Es el responsable de la eliminación de contaminantes especialmente nitrógeno y fósforo, mediante variedad de procesos físicos, químicos y biológicos (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

3.1.8 Lombrifiltro

Es un sistema biológico que básicamente está conformado por distintos estratos filtrantes inertes y orgánicos. En el estrato superior se tiene una alta densidad de lombrices y microorganismos encargados de efectuar la degradación de materia orgánica presente en las aguas residuales domésticas. Entre una de las ventajas, de este tratamiento de aguas residuales es que este sistema degrada en totalidad

los sólidos orgánicos presentes en las aguas residuales, sin producir lodos inestables como el resto de los sistemas de tratamiento, solo es necesario instalar cámaras de rejas o canastillos para retener sólidos inorgánicos, que puedan ser descargados erróneamente en las aguas residuales y así obstruir sistemas posteriores. Una de las características a destacar de estos sistemas de tratamiento es que como todo tratamiento genera subproductos, y para este caso el generado puede ser utilizado como abono natural debido a que la materia orgánica de las aguas residuales es convertida en masa corporal de las lombrices y en humus de lombriz (Lombrifiltro Chile, 2015).

En este tipo de sistemas también denominados Tohá está conformado por diferentes estratos filtrantes y orgánicos. El estrato superior tiene una alta densidad de lombrices, la más utilizada es la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) en simbiosis con comunidades de diferentes microorganismos encargados de efectuar la degradación de materia orgánica. En una primera etapa, el agua residual es asperjada sobre el sustrato rico en lombrices y ésta escurre por el medio filtrante reteniendo los sólidos, esta parte sólida del agua residual es consumida por lombrices y pasa a constituir por un lado su masa corporal y, por otro sus deyecciones que son el llamado humus de lombriz (Parra & Chiang, 2013).

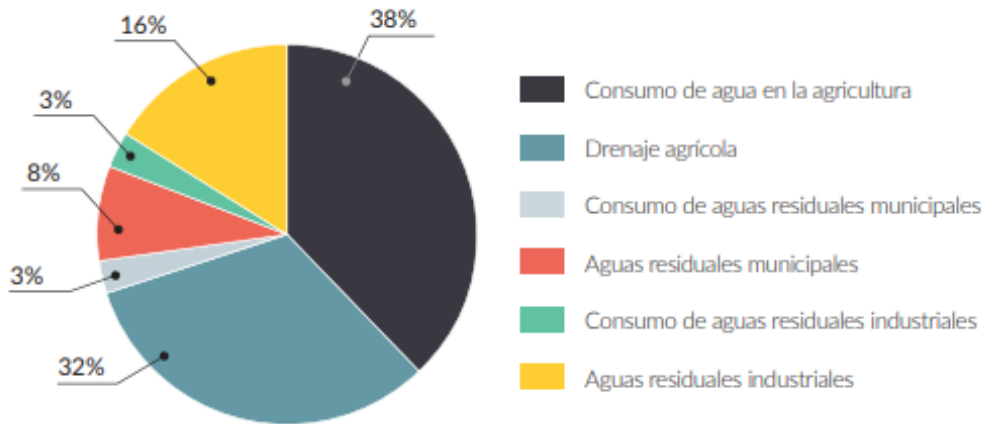
3.3 ANTECEDENTES

3.3.1 Situación Internacional

Durante el siglo XXI, una de las preocupaciones de mayor importancia para el hombre fue la conservación de los sistemas ecológicos del planeta tierra. A mediados de 1992, se llevó a cabo en Rio de Janeiro, Brasil, la cumbre ecológica mundial, con asistencia de todos los líderes de los países en los campos de control de manejo de los recursos naturales, donde se destacó la importancia de poner en marcha mecanismos que conlleven a la implementación de mecanismos de mitigación de contaminación entre los que se encuentran las aguas residuales (Orozco, 2014).

La base de datos AQUASTAT de la FAO calcula que cada año se extraen en el mundo unos 3.928 km³ de agua dulce. Se estima que el 44% de dicha agua (1.716 km³ al año) se consume principalmente en la agricultura a través de la evaporación en las tierras de cultivo irrigadas. El 56% restante (2.212 km³ al año) se libera en el medio ambiente como aguas residuales en forma de efluentes municipales e industriales y agua de drenaje agrícola, como se puede observar en la figura No. 1 donde se establece dicha producción de aguas residuales según el sector influyente a nivel mundial.

Figura No. 1 Consumo y generación de aguas residuales en el mundo



Fuente: FAO, 2010

Este es un hecho muy relevante debido a que el 80% de las aguas residuales mundiales no reciben un tratamiento adecuado para evitar la contaminación y propagación de enfermedades (ABC Sociedad, 2018), una situación que perjudica a sobre todo a los países menos desarrollados

Para el caso de América Latina el promedio de cobertura de tratamiento de las aguas residuales de los países es 27%, reportándose mayor cobertura en las ciudades muy pequeñas (40%) y menor cobertura en las ciudades grandes (18%). La tendencia decreciente que presenta este indicador entre estas categorías de ciudades indicaría que las autoridades sanitarias no le asignan similar importancia al alcantarillado y al tratamiento de las aguas residuales, y permiten la disposición de estas aguas en ambientes libres (Moscoso & Egocheaga, 2004), otro hecho que podría generar este comportamiento es los altos costos que tiene la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales para ciudades grandes en donde los

tratamientos deben de afianzar la remoción de posibles metales pesados propios de procesos industriales.

3.3.2 Situación en Colombia

Gran parte de los municipios del país deberían contar con plantas de tratamiento que permitan disminuir el impacto del vertimiento de aguas residuales a las fuentes de agua. Sin embargo, los entes territoriales deben evaluar la necesidad de contar con una planta de tratamiento de aguas residuales, teniendo en cuenta las normas técnicas establecidas en el Reglamento del Sector (RAS 2000). En el país, los vertimientos de aguas residuales provenientes del sector agrícola son las que más aportan contaminantes y material orgánico. A este tipo de descargas les siguen las realizadas por los mayores centros urbanos como Bogotá, Cali, Medellín, Cartagena y Barranquilla, entre otros, y las descargas realizadas por el sector industrial, entre las que se destacan los productores de alimentos y de licores (UNICEF, 2014).

Colombia los cuerpos receptores son utilizados como sitio de disposición de los vertimientos de residuos líquidos de actividades tanto productivas como domiciliarias. La materia orgánica generada por las actividades domésticas en 1999 fue 482.193 ton (1321 ton/día) medida como DBO, de las cuales se trató apenas 4%, para un vertimiento neto de 462.759 ton. En este mismo año la generación total de DBO para el sector industrial fue de aproximadamente 162.000 ton (Suarez, 2014), evidenciando una necesidad inmediata teniendo en cuenta que solo la tercera parte de los municipios de Colombia cuenta con registro en sus planes de desarrollo la construcción de Plantas de tratamiento de aguas residuales, mientras

que 672 municipios restantes no incluyen este tema dentro de sus procesos de planificación (UNICEF, 2014), correspondiendo así a que tan solo el 23% de los municipios posee una planta para mitigar los impactos de cuerpos de agua en Colombia.

De esta manera, para el caso de San Juan de Pasto se puede concluir que es una de las ciudades que se encuentran dentro del 77% que no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales, sin embargo es importante rescatar esfuerzos de la Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO en donde en el plan de ordenamiento del cauce principal del río Pasto en el 2011 se cuenta con una etapa prospectiva en donde se puede evidenciar la necesidad de planta de tratamiento de aguas residuales bajo una etapa diagnóstica fundamentada en puntos de vertimiento; sin embargo la ciudad ha realizado mejoras en el alcantarillado de la misma siendo necesario la actualización de esta información.

3.4 MARCO LEGAL

En el ámbito normativo para la presente investigación es de vital importancia conocer la Resolución 0631 de 2015, en la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y al sistema de alcantarillado y otras disposiciones. Esta resolución reglamenta el artículo 298 del Decreto 3930 de 2010.

Una de las características más importantes de esta resolución, es que evalúa los valores máximos de los diferentes parámetros contaminantes en función de la concentración para aguas residuales domesticas (ARD) y aguas residuales no domesticas (ARND), las cuales están clasificadas en 73 actividades industriales comerciales y del sector de prestación del servicio.

A continuación, en la Tabla No. 2 Marco legal para el manejo de aguas residuales, se presenta otros aspectos normativos que se desarrollan en torno del manejo de aguas residuales:

Tabla No 2. Margo Legal para manejo de aguas residuales

Tipo	Norma	Por medio de la cual
Constitución política de Colombia	Artículo 79	Toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente sano
	Artículo 80	El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para lograr un desarrollo sostenible
Leyes	Ley 9 de 1979	Se regula la disposición de sustancias que pueden afectar los recursos naturales y reglamentación necesaria para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que relaciona a la salud humana.
	Decreto 2811 de 1974	Se refiere al control de aguas contaminadas
Decretos	Decreto 1594 de 1984	Se expiden normas técnicas en cuenta al uso del agua y residuos líquidos y los criterios de calidad para la destinación del recurso.
	Decreto 901 de 1997	Se reglamentan las tasas retributivas por los vertimientos puntuales y se establecen tarifas correspondientes.
	Decreto 3930 de 2010	Se reglamenta parcialmente en cuenta a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
	Resolución 2309 de 1986	Se dictan normas para el cumplimiento de descargas de residuos especiales
Resoluciones	Resolución 1096 de 2000	Se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS

Fuente: El autor, 2018.

4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la eficiencia de tres reactores biológicos de flujo descendentes a escala para la descontaminación de materia orgánica y sólidos totales de aguas residuales domésticas de la ciudad de San Juan de Pasto.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- 1 Realizar diagnóstico del manejo de aguas residuales domiciliarias generadas por la ciudad de San Juan de Pasto.
- 2 Implementar reactores biológicos a escala de laboratorio para evaluación de remoción de Materia Orgánica y Sólidos Totales de aguas residuales domésticas generadas en la ciudad de San Juan de Pasto.
- 3 Comparar la eficiencia de remoción de materia orgánica y sólidos totales de los reactores biológicos con relación a los valores admisibles para el vertimiento de aguas residuales domiciliarias citados en la Resolución 0631 de 2015.

5. METODOLOGIA

5.1 TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación en la cual se fundamentó el presente trabajo corresponde a un enfoque experimental - cuantitativo, en donde se realizó uso de herramientas de laboratorio como estadísticas para determinar y conocer características a fines con el objetivo general de esta investigación.

5.2 LOCALIZACIÓN Y ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Pasto se encuentra ubicado en el sur occidente de Colombia, en medio de la cordillera de los Andes, en el macizo montañoso denominado Nudo de los Pastos, cuenta con importantes accidentes orográficos, entre los cuales se destacan: el Volcán Galeras, el Cerro Bordoncillo, Morasurco, Patascoy, Campanero, Alcalde, Pan de Azúcar y Putumayo.

a extensión total del municipio de Pasto es de 1.131 km² , (el 3,4% del área departamental), de los cuales el 2,3 por ciento (26,4 km²), corresponden al área urbana y el porcentaje restante (1.104,6 km²) al área rural; en su zona urbana, cuenta con doce comunas y en la zona rural con 17 corregimientos: Morasurco, La Caldera, Genoy, Mapachico, Obonuco, Gualmatán, Jongovito, Catambuco, El Socorro, Santa Bárbara, El Encano, La Laguna, San Fernando, Mocondino, Jamondino, Cabrera y Buesaquillo. Limita por el norte con los municipios de: La Florida, Chachagüí y Buesaco; por el sur con el Departamento del Putumayo y el municipio de Funes; por el oriente con el municipio de Buesaco y el Departamento

del Putumayo y por el occidente con los municipios de Tangua, Consacá y La Florida. Según proyección del DANE, la población del municipio de Pasto para el año 2015 fue de 439.993 habitantes (el 25,2 por ciento de la población total del Departamento de Nariño); de los cuales, el 51,7 por ciento son hombres (227.611) y el 48,3 por ciento son mujeres. En cuanto a su distribución espacial, el 83,1 por ciento (365.651 habitantes), se ubica en la parte urbana del municipio y el porcentaje restante (16,9 %) en el sector rural.

Figura No. 2 ubicación Pasto en el Departamento de Nariño



Fuente: Instituto Departamental de Salud de Nariño, 2014

5.3 CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN

En el campo ambiental se requiere la implementación de investigaciones que con ayuda de tratamientos impidan la afectación de recursos naturales de manera sostenible, por lo tanto, es en este campo en el cual se desarrollara esta investigación, ya que se busca por medio de la evaluación de reactores biológicos cual es el más eficiente para realizar el manejo sostenible de aguas residuales domesticas de la ciudad de San Juan de Pasto (Nariño).

5.4 LINEA DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación se desarrollara bajo la línea de Investigación biosistemas Integrados, donde se aplique tecnologías que minimicen el impacto al medio ambiente haciendo uso racional de los recursos.

5.5 ESTRATEGIA METODOLÓGICA Y RESULTADOS ESPERADOS

A fin de desarrollar la presente investigación, se presenta en la Tabla No.3 Diseño metodológico y resultados, en la que se puede evidenciar las actividades planificadas y los resultados esperados.

Tabla No 3. Diseño Metodológico y resultados esperados

Objetivo General: Evaluar la eficiencia de tres reactores biológicos de flujo descendentes a escala para la descontaminación de materia orgánica y solidos totales de aguas residuales domesticas de la ciudad de San Juan de Pasto				
Objetivo Especifico	Meta	Estrategia de trabajo	Actividad	Producto Esperado
Realizar diagnóstico del manejo de aguas residuales domiciliarias generadas por la ciudad de San Juan de Pasto.	Conocer el diagnóstico del manejo actual de las aguas residuales domiciliarias generadas por la ciudad de San Juan de Pasto	Revisión bibliográfica	Revisión bibliográfica del diagnóstico de aguas residuales domiciliarias de San Juan de Pasto (Nar.)	Conocer el estado de las aguas residuales domiciliarias en San Juan de Pasto (Nar.)
			Revisión bibliográfica del manejo de aguas residuales en San Juan de Pasto (Nar.)	Determinar el manejo de aguas residuales domiciliarias en San Juan de Pasto (Nar.)
	Diagnóstico de Agua residual	Diagnóstico de puntos de vertimiento de aguas residuales domiciliarias en San Juan de Pasto (Nar.)	Conocer puntos de vertimiento de aguas residuales domiciliarias en San Juan de Pasto (Nar.) Determinar punto de toma de muestra de aguas residuales domiciliarias.	

Continuación Tabla No 3. Diseño Metodológico y resultados esperados

Objetivo General: Evaluar la eficiencia de tres reactores biológicos de flujo descendentes a escala para la descontaminación de materia orgánica y sólidos totales de aguas residuales domésticas de la ciudad de San Juan de Pasto.

Objetivo Especifico	Meta	Estrategia de trabajo	Actividad	Producto Esperado
Implementar reactores biológicos a escala de laboratorio para evaluación de remoción de Materia Orgánica y Sólidos Totales de aguas residuales domésticas generadas en la ciudad de San Juan de Pasto.	Diseño e implementación de reactores biológicos a escala de laboratorio para evaluación de remoción de materia orgánica y sólidos totales de aguas residuales generadas	Diseño para montaje de sistema de evaluación para la remoción de materia orgánica de aguas residuales	Estudio de medios de soporte a evaluar para evaluación de remoción de materia orgánica	Determinación de los medios de soporte a evaluar para remoción de materia orgánica
			Diseño de sistema de evaluación de remoción de materia orgánica de aguas residuales de San Juan de Pasto (Nar.)	Diseño en Acad de sistema de evaluación a adecuar teniendo en cuenta condiciones locativas
		Diseño de plan de muestreo para envío de muestras al laboratorio certificado en análisis de materia orgánica en aguas residuales	Diseño de plan de muestro para evaluación de remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas	Construcción de sistema de evaluación de remoción de materia orgánica y sólidos totales
				Determinación de materia orgánica y sólidos totales en sistema piloto.

Continuación Tabla No 3. Diseño Metodológico y resultados esperados

Objetivo General: Evaluar la eficiencia de tres reactores biológicos de flujo descendentes a escala para la descontaminación de materia orgánica y sólidos totales de aguas residuales domésticas de la ciudad de San Juan de Pasto.

Objetivo Especifico	Meta	Estrategia de trabajo	Actividad	Producto Esperado
Comparar la eficiencia de remoción de materia orgánica y sólidos totales de los reactores biológicos con relación a los valores admisibles para el vertimiento de aguas residuales domiciliarias citados en la Resolución 0631 de 2015.	Determinación de reactor más eficiente para la remoción de materia orgánica y sólidos totales en aguas residuales provenientes de San Juan de Pasto (Nar.) teniendo en cuenta los valores citados para los parámetros de materia orgánica en la Resolución 0631 de 2015	Calculo de remoción de materia orgánica en aguas residuales en cada reactor diseñado	Determinación de remociones de Materia Orgánica y sólidos totales en cada reactor diseñado	Remoción de materia orgánica y sólidos totales en reactores.
		Comparación de remociones con respecto a valores admisibles de materia orgánica citados por la Resolución 0631 de 2015	Análisis estadístico para la determinación de la eficiencia de reactores diseñados	Determinación de reactor más eficiente.
			Revisión bibliográfica de valores admisibles por cuerpos de agua acorde al manejo de aguas residuales en San Juan de Pasto en la Resolución 0631 de 2015	Determinación de valores admisibles de parámetros de materia orgánica según Resolución 0631 de 2015.
			Determinación de cumplimiento de las remociones registradas con respecto a la Resolución 0631 de 2015	Determinación cumplimiento de los valores de materia orgánica (Resolución 0631 de 2015)

Fuente: El autor, 2018.

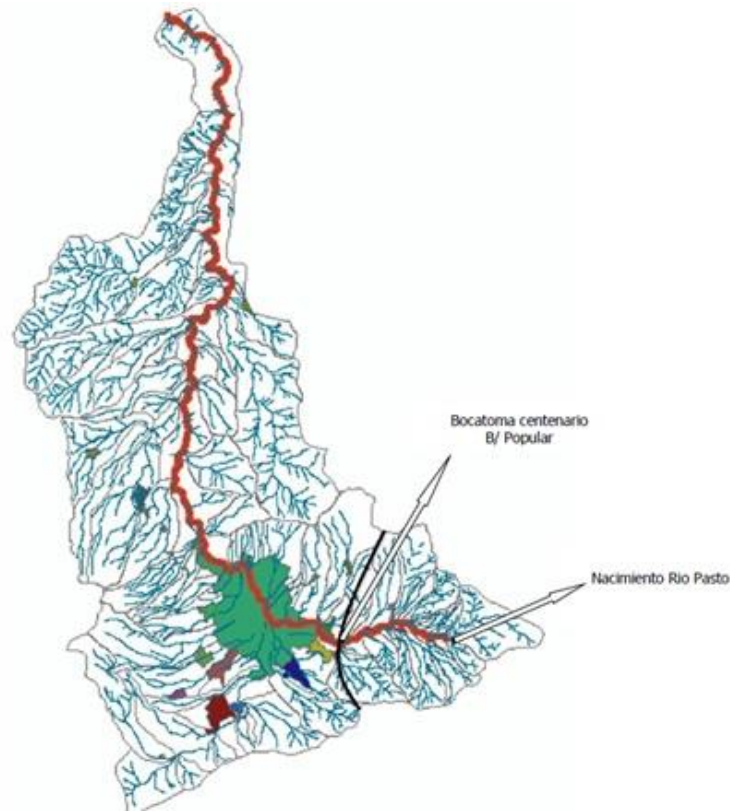
6. RESULTADOS

6.1 REALIZAR DIAGNOSTICO DEL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS GENERADAS POR LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO.

6.1.1 Diagnóstico de área a investigar

Para la presente investigación, el área de investigación es todo el cauce del Río Pasto la cual se encuentra bajo la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional Corponariño. La cuenca del Río Pasto se localiza al sur oriente del Departamento de Nariño, la cual se ubica a 964582,664 Oeste, 61435,86 Norte y a una elevación de 765 msnm correspondiendo estos datos a coordenadas y elevación mínimas de la cuenca y 992908,61 Oeste, 657998,30 Norte y una elevación de 4211 msnm para el caso de coordenadas máximas que se encuentra la cuenca (CORPONARIÑO, 2011). De esta manera, a continuación, se puede apreciar el cauce del río principal, de la cuenca del Río Pasto de la cual se abastecen cinco corregimientos entre los cuales se tiene: La Laguna (420 usuarios), Cabrera (350 usuarios), San Fernando centro, Macondiano, Pejendino Perez y Buesaquillo, además la ciudad de San Juan de Pasto a partir de la bocatoma ubicada en uno de los barrios periurbanos de la ciudad, el barrio Popular. Para todos estos vertimientos que no tienen control, es necesario aclarar que la ciudad de San Juan de Pasto no cuenta con Planta de tratamiento de aguas residuales.

Imagen No. 3 cauce principal Río Pasto



Fuente: Porh río Pasto, 2011.

En la anterior figura No.3 se puede apreciar el cauce principal donde desde el nacimiento hasta la cabecera urbana de San Juan de Pasto, predominan vertimientos de tipo industrial (queserías artesanales) y domésticos. Para este caso, en esta zona se encontró que los residuos líquidos además se manejan a través de alcantarillado, pozos sépticos, letrinas y otros sistemas como hueco o a campo abierto o se depositan a través de acequias. En este sector el mayor porcentaje de la población utiliza la letrina como medio para disposición de los residuos líquidos, lo que representa el 48,3% del total del sector (Fundación San Francisco, 2003).

A fin de conocer las principales entradas a la fuente hídrica Río Pasto, se presenta a continuación una breve descripción de los principales tipos de vertimientos sobre el río Pasto desde su nacimiento hasta la entrada de la ciudad de San Juan de Pasto, tomados del Plan de Ordenamiento del Cauce Principal del Río Pasto, 2011:

Vertimiento de PTAR corregimiento Cabrera. Este vertimiento corresponde a aguas residuales domésticas, el cual es afectado directamente sobre el cauce principal del Río Pasto.

Vertimiento de aguas residuales domésticas San Fernando: El corregimiento de San Fernando no cuenta en la actualidad con sistema de alcantarillado lo que provoca diferentes vertimientos individuales de tipo domésticos, o construcciones de acequias para su disposición, como una solución a la necesidad de verter estas aguas contaminadas sobre una fuente hídrica, para este caso el Río el Pasto.

Vertimiento de aguas residuales industriales de restaurantes en San Fernando: Con el fin de conocer el impacto de estos vertimientos se procedió a realizar censo de restaurantes los cuales cuentan con unidades de sacrificio artesanal para cuyes, gallinas y cerdos, constituyendo este vertimiento de tipo industrial el cual no se ha controlado según lo comentado en el documento referenciado y opinión de residentes de esta zona.

Vertimiento de aguas residuales industriales provenientes de quesera: Además del anterior vertimiento enunciado, otra disposición de residuos líquidos para este caso industriales sobre el río Pasto es el proveniente de una planta procesadora de quesos, para este caso según lo estipulado por Corponariño, esta

empresa no tiene aprobado un permiso de vertimientos, lo cual concluye que sus vertimientos son dispuestos directamente sobre la fuente hídrica sin ningún tratamiento previo.

Vertimiento de aguas residuales industriales provenientes de motel: A 3 km de la ciudad de San Juan de Pasto, se encuentra ubicado el Motel Cacique, el cual se encuentra debidamente reglamentado y para este caso cuenta con permiso de vertimiento, efectuando su descarga por infiltración al cauce principal, después de una serie de tratamientos bacterianos que permiten disminuir hasta los valores admisibles las concentraciones vertidas sobre una fuente hídrica.

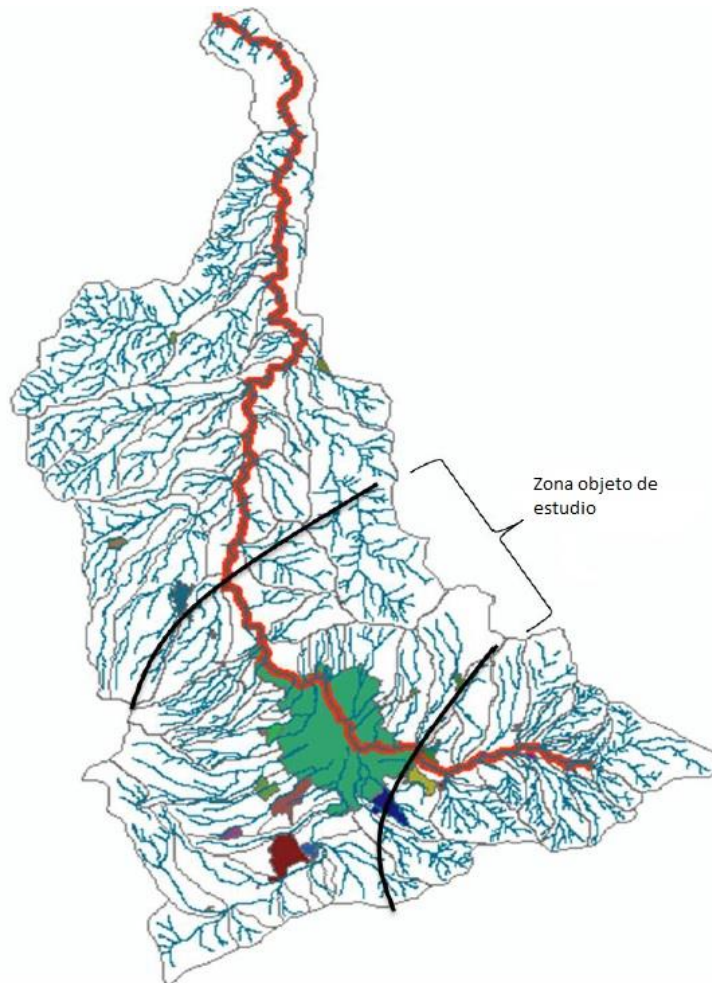
Vertimiento de aguas residuales domesticas provenientes de colegios: Entre este primer tramo de estudio, se encuentran varios centros educativos, sin embargo, el de mayor relevancia es el ubicado en el corregimiento San Fernando, donde se encuentra el Colegio Campestre, donde se cuenta con un sistema de tratamiento anaerobio y su descarga no es de manera puntual, sino se realiza por infiltración.

Vertimiento de aguas residuales domesticas de corregimiento Pejendino Reyes: Este corregimiento el cual está compuesto por aproximadamente 80 viviendas, tiene su disposición de aguas residuales por medio de vertimientos puntuales los cuales se ubican a la ribera del río Pasto sin ningún tratamiento previo y realizados manera muy artesanal.

A continuación, mediante la imagen No. 4 se puede apreciar el cauce dentro la parte urbana de la ciudad, y con el fin de analizar el manejo de aguas residuales en la ciudad de San Juan de Pasto, se presenta como objeto de estudio el casco urbano

el cual se contempla en el siguiente mapa, teniendo en cuenta el recorrido del río Pasto.

Imagen No. 4 Cauze río Pasto por cabecera urbana de San Juan de Pasto



Fuente: Porh río Pasto, 2011.

Para este caso, San Juan de Pasto cuenta su alimentación para el abastecimiento de agua a través de la bocatoma del barrio Popular la cual conduce el agua hacia la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) de Centenario, la cual es una de las 3 plantas que abastece a la ciudad, esta planta actual tiene una capacidad instalada de 1200 LPS, sin embargo, su capacidad utilizada es del orden de 550

LPS lo que corresponde al 46% de su capacidad total). Esta Planta cuenta con sistemas de medición de caudal, unidades de tratamiento como mezcla rápida, floculación, sedimentación, desinfección y ajuste de pH, la cual es operada por la Empresa de Obras Sanitarias de Pasto EMPOPASTO S.A ESP, entidad que pertenece a la Alcaldía de Pasto.

Para el caso del Alcantarillado de la ciudad de San Juan de Pasto, es pertinente reseñar su historia, donde según el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos de Empopasto, argumenta que sus inicios datan del año 1938 con intervenciones en el año 1957, en 1959 por la compañía de Ingeniería Sanitaria, en 1977 por la firma Rivera y Cardozzo y en 1994 por la firma INESCO Ltda., quienes fueron los responsables de la formulación del Plan Maestro de Alcantarillado.

6.1.2 Manejo de aguas residuales en San Juan de Pasto.

La ciudad cuenta con cinco colectores principales de aguas residuales que conducen su vertimiento directamente sobre el río Pasto, recolectando aguas residuales, comerciales y mayoritariamente aguas domiciliarias. Los cinco colectores de aguas residuales son:

Box coulvert Hospital Departamental, donde se drena el canal de la quebrada Chapal, la cual igualmente recibe la descara de colectores del sector suroriente de la ciudad.

Imagen No. 5 Box coulvert Hospital Departamental



Fuente: El autor, 2018.

Colector Circular Colegio Pedagógico, este es el punto de descarga del colector Aranda de tipo combinado, que transporta aguas residuales domesticas del sector de Aranda y caudales con aguas sanitarias de los asentamientos de la zona de influencia.

Imagen No. 6 Colector circular Colegio Pedagógico



Fuente: El autor, 2018.

Box coulvert Colegio Pedagógico, en este punto se descargan las aguas del colector aranda, drenando los caudales de las quebradas Blanca, Aranda y Gallinacera.

Imagen No. 7 Box coulvert Colegio Pedagógico



Fuente: El autor, 2018.

Colector circular Juan XXIII, en este punto es donde se descarga el interceptor lateral izquierdo del río Pasto.

Imagen No. 8 Colector circular Juan XXIII



Fuente: El autor, 2018.

Colector circular club de tenis, este es el punto de salida de la ciudad, dispone de aguas provenientes de barrios como las quintas de San Pedro, Figueroa, Los Laureles, etc.

Imagen No. 9 Colector circular club de tenis



Fuente: Porh río Pasto, 2015.

Para el año 2010, la naturaleza del alcantarillado correspondía a un 61,9% combinado (Transporte de aguas residuales sanitarias y pluviales), 22,4% sanitario (Transporte de aguas residuales sanitarias) y 15,6% correspondiente a alcantarillado para manejo y transporte de aguas pluviales (EMPOPASTO, 2010), de esta manera a fin de poder seleccionar el punto de muestreo más adecuado para realizar el seguimiento, se presenta en la Tabla No. 4 Naturaleza del colector, el tipo de colector y su correspondiente georreferenciación como se puede evidenciar a continuación:

Tabla No 4. Naturaleza de colector

Colector	Ducto	Dirección	Coordenadas	Tipo
Hospital Departamental	Boxcoulvert	Cr 9 cl 22	N 625175 E 978750	Combinado
Colector Circular Colegio Pedagógico	Boxcoulvert	Cr 26 Cl 22 B	N 626400 E 976090	Sanitario
Box Colegio Pedagógico	coulvert Colector	Cr 26 Cl 22 B	N 626395 E 978060	Combinado
Juan XXIII	Interceptor	Cr 45 Cl 19	N 628100 E 976415	Combinado
Club de tenis	Interceptor	Cr 46 Cl 18	N 627970 E 976222	Sanitario

Fuente: PSMV Pasto, 2015.

La anterior tabla es de suma importancia debido a que permite establecer los posibles tipos de colectores donde se puede tomar la muestra para la puesta en marcha del montaje, debido a los sistemas de alcantarillado sanitarios, son aquellos donde se evacuan aguas residuales de tipo doméstico, para el caso de los alcantarillados combinados se evacuan aguas residuales domiciliarias más aguas residuales pluviales (Jiménez, 2009), de esta manera se va perfilando como objeto de análisis y toma de muestra el Colector Circular del Colegio Pedagógico y colector ubicado en la zona de Club de tenis al norte de la ciudad.

Sin embargo, Empopasto S.A ESP en el PSMV de San Juan de Pasto, presenta una caracterización realizada en cada colector para los parámetros de DBO y ST los cuales se pueden apreciar a continuación en la tabla No.5 Caracterización de agua residual e cada colector, los cuales son objeto de estudio de la presente investigación:

Tabla No. 5 Caracterización de agua residual en cada colector

Caracterización de agua residual	Box Coulvert H. Departamental	Colegio Pedagógico BoxCoulvert	Circular Colegio Pedagógico	Juan XIII	Club de tenis	
Tipo alcantarillado	Combinado	Combinado	Sanitario	Combinado	Sanitario	
DBO (mg/l)	Valor máximo	292,5	165,0	528,0	405,0	338,0
	Valor mínimo	24,6	17,3	126,0	80,3	65,0
	Valor promedio	143,9	65,7	322,8	235,9	152,6
ST (mg/l)	Valor máximo	2018,0	1128,0	1624,0	1328,0	1587,5
	Valor mínimo	213,0	173,0	312,5	220,0	131,0
	Valor promedio	497,3	338,2	699,8	567,1	677,5

Fuente: Empopasto, 2011.

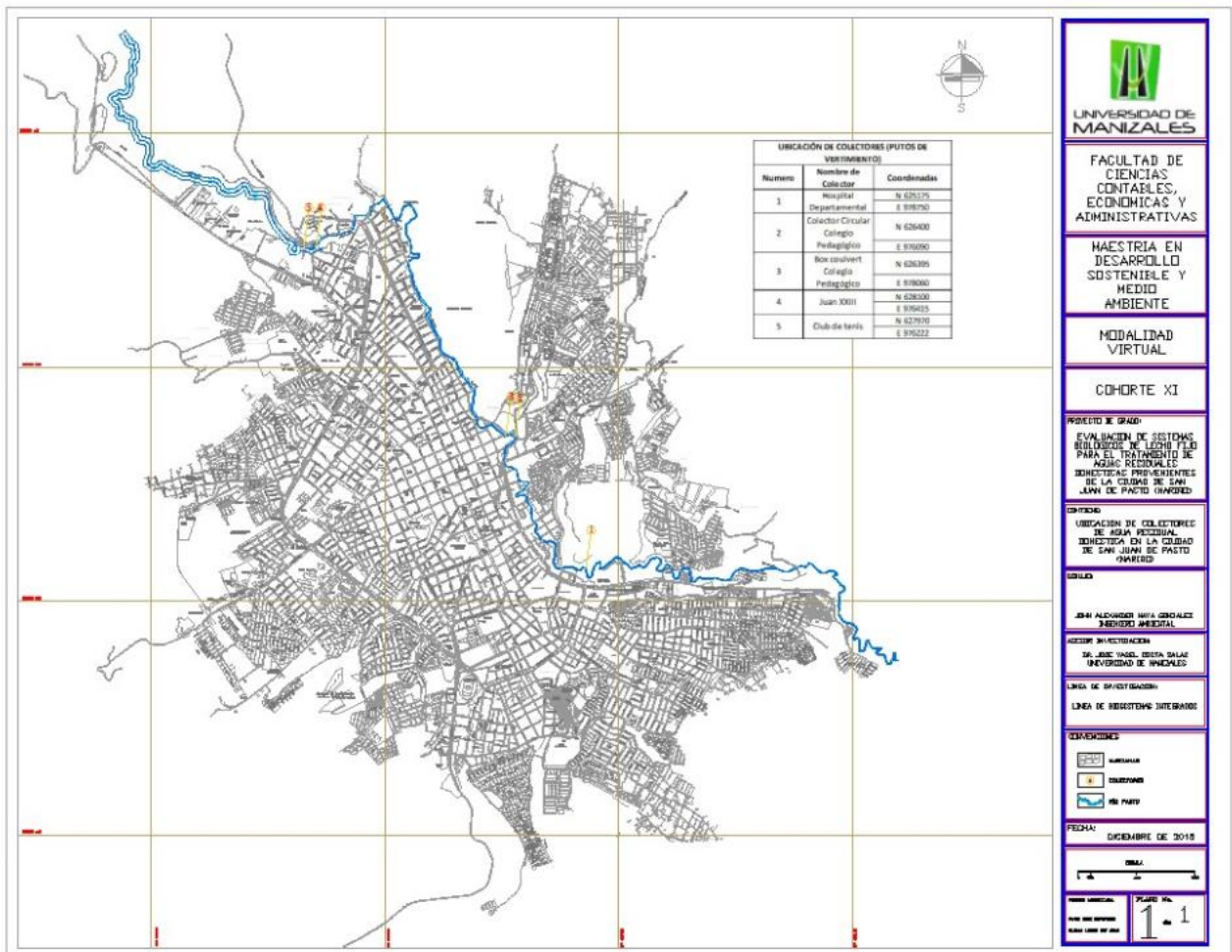
Los anteriores datos son suministrados tras el análisis histórico de 40 datos obtenidos entre el periodo de tiempo de 2004 y 2009 de los colectores, para ello es necesario tener en cuenta que según la literatura un agua residual típica tiene concentraciones de DBO de 220 mg/l y ST de 720 mg/l (Romero Rojas, 2000).

Claramente se puede observar que tras el análisis del promedio de los parámetros en el caso de los colectores combinados se evidencia una disminución en la concentración de los diferentes parámetros analizados con respecto a los sanitarios, esto se debe a que, en el caso de los colectores combinados, la combinación con aguas lluvias ayuda a disolver los contaminantes. Mientras que, para los colectores

sanitarios, se acercan mucho a las condiciones de agua residual típica, es necesario rescatar que el colector que más se asemeja a las condiciones típicas de agua residual domestica típica es el Colector Circular del Colegio Pedagógico.

Para mejor ubicación, a continuación se plasma mediante la figura No. 10 la ubicación de los colectores de vertimiento de aguas residuales en todo el recorrido del río Pasto a través de la ciudad de San Juan de Pasto.

Imagen No. 10 distribución cause principal Rio Pasto



Fuente: El autor, 2018.

6.2 IMPLEMENTAR REACTORES BIOLÓGICOS A ESCALA DE LABORATORIO PARA EVALUACIÓN DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y SÓLIDOS TOTALES DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS GENERADAS EN LA CIUDAD DE SAN JUAN DE PASTO

6.2.1 Medios de Soporte y Construcción de sistema piloto

Con el fin de implementar el diseño piloto de evaluación de medios de se determinó los medios de evaluación de lecho fijo los cuales fueron: Cilindros con filamentos sintéticos (rulos de cabello), filtro de grava y lombrifiltro. Para ello en cada medio de soporte se aseguró condiciones que aseguren la uniformidad hidráulica del sistema de la siguiente manera:

- **Filtro de grava:** Para este caso el sistema de evaluación contó un con filtro de grava el cual se basó teniendo en cuenta los diseños expuestas por tecnologías de Filtración en Múltiples Etapas (FIME), el cual permitió establecer requerimientos de varios materiales para el diseño y ejecución del tratamiento de filtración.

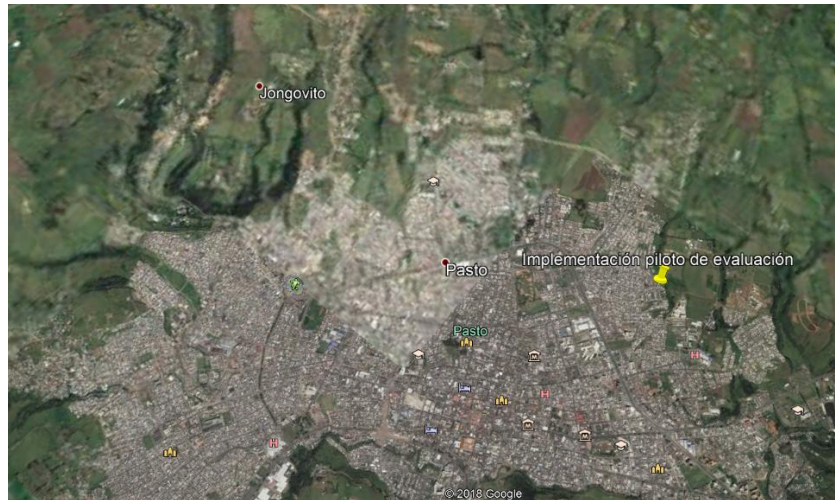
Para este diseño y construcción se utilizó un recipiente de 12 litros con medidas de 20 cm por 20 cm de base y 30 cm de alto, es necesario anotar que para este caso que procuró que el diseño de esta unidad guarde una distribución uniforme.

- **Cilindros con filamentos sintéticos (rulos de cabello):** En el segundo reactor biológico para remoción de materia orgánica y sólidos totales se evaluará en un volumen exactamente igual que el filtro de grava el comportamiento de rulos de cabello como comercialmente se conocen, en donde se espera que bajo criterios del área superficial de este material se logre una remoción elevada de materia orgánica.
- **Lombrifiltro:** Esta es una de las unidades más complejas de diseño debido a que se debe de garantizar las condiciones propicias para el desarrollo de la vida de especies como Lombriz Eisenia Foetida o Lombriz roja californiana, que se encarga de reciclar todo tipo de materia orgánica y se genera como resultado de humus, un fertilizante orgánico de primer orden, que es la función de la lombriz que se utiliza fundamentalmente para mejorar los suelos (Hernandez P. , 2015). Así las cosas es necesario en el diseño y en el acoplamiento del sustrato de humos y lombrices, emplear aserrín y un pequeño estrato de gravilla, además de asegurar la dispersión uniforme del agua residual en el sistema (Coronel, 2005).

De esta manera, se procedió a diseñar y construir el sistema piloto para la evaluación de remoción de materia orgánica y sólidos totales a través de la implementación de los medios de soporte anteriormente mencionados, para ello primero que todo es necesario mencionar las condiciones locativas donde se implementó el sistema piloto.

La construcción se realizó al Norte-Oeste de la ciudad de Pasto con coordenadas $77^{\circ}17'36,12''\text{O}$ y $1^{\circ}13'09,05''\text{S}$ como se puede apreciar en la imagen No. 11:

Imagen No. 11 Ubicación del lugar de implementación del piloto



Fuente: El autor, 2018.

La ubicación del sistema se realizó de forma aislada debido a la generación de olores propios de sistemas donde interactúa materia orgánica y bacterias anaerobias. Seguidamente se diseñó a escala en AutoCAD que permite establecer la escala real y distribución espacial exacta que permita establecer las cantidades de accesorios y condiciones hidráulicas necesarias que permitan asegurar condiciones uniformes de funcionamiento en el sistema a evaluar.

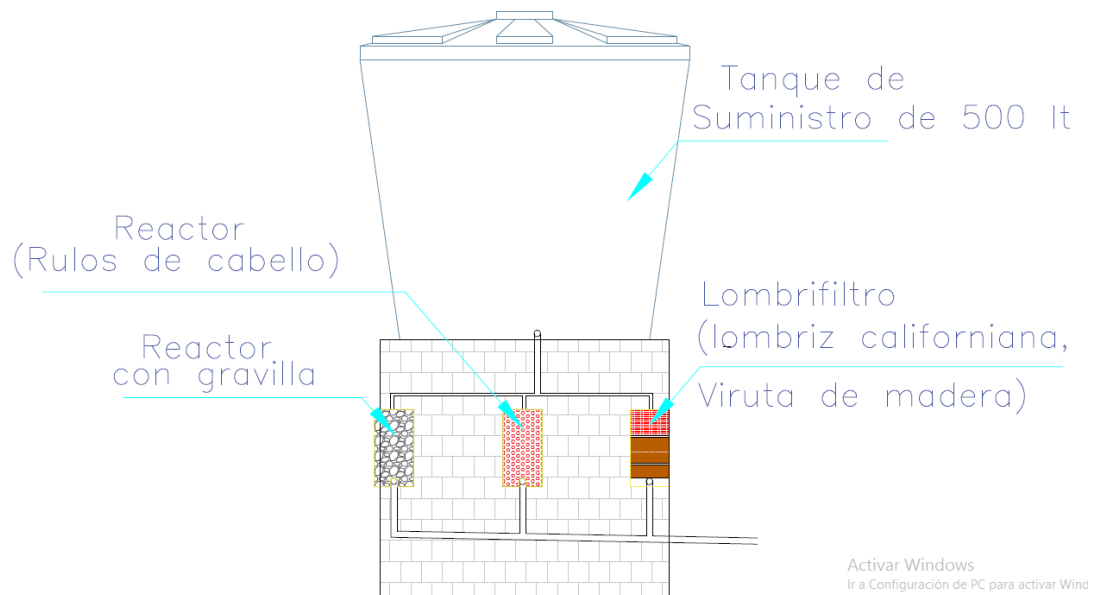
Imagen No. 12 Condiciones locativas de implementación de sistema



Fuente: El autor, 2018.

Como se puede evidenciar en la figura anteriormente estipulada, se adecuó el sistema sobre una base reforzada existente permitiendo así el siguiente diseño del sistema:

Imagen No. 13 Diseño del sistema en ACAD



Fuente: El autor, 2018.

De esta manera se procedió a generar cantidades para la adquisición de materiales y desarrollar así la instalación del sistema; así las cosas, a continuación, en la Tabla No.6 Determinación de cantidades, se relacionan dichos materiales adquiridos para realizar el montaje pertinente:

Tabla No 6. Determinación de cantidades	
Descripción	Cantidad
Tanque de 500 litros	1
Tubería de PVC 1" x 6 m	3
Universal PVC 1"	1
Válvula tipo mariposa 1"	7
Adaptador macho 1"	6
Adaptador hembra 1"	6
Codo de 1"	4
Tee de 1"	3
Recipientes de plástico de 12 litros reforzado	3
Tanque de 2 litros	1
Recipientes toma transporte de agua 90 litros	3
Humus con lombriz californiana x kg	8
Grava No. 3 x Kg	4
Grava No. 4 x Kg	4
Rulos de Cabello x unidad	78
10 litros de viruta	1
Tapón de PVC 1 "	3
Soldadura de PVC x 300 ml	1
Limpiador de PVC x 300 ml	1
Franela lisa (30 cm x 30 cm)	2
Segueta con marco de plástico	1
50 cm cuadrados de goma negro x 4 mm	1

Tablón de madera de 30 cm x 1,2 cm x 5 mm	1
Beacker de 100 ml en plástico	2
Plástico de obra 6 m x 1,5 m	1
Broca para taladro de 3/4", 1/4"	2

Fuente: El autor, 2018.

Posteriormente, se continuó con la construcción del sistema como se puede evidenciar en la siguiente imagen:

Imagen No. 14 Implementación del sistema



Fuente: El autor, 2018.

Con el fin de tener control y realizar evaluación constante de los caudales del sistema se establecieron válvulas en las entradas y salidas de cada medio de soporte, lo que permito establecer la retención hidráulica necesaria y uniforme en todos los reactores sujetos de evaluación.

Imagen No. 15 conexión del sistema



Fuente: El autor, 2018.

Una vez conectado el sistema se realizó una purga del mismo por un tiempo de 2 horas donde se hizo verificación de las condiciones hidráulicas del sistema como es la hermeticidad, regulación de caudales además de limpieza de impurezas de residuos químicos propios de la construcción del sistema que puedan repercutir en las condiciones propicias para la vida de las bacterias y lombrices a reproducirse en el sistema. Es importante anotar que el caudal base para operación de cada unidad fue 0,05 litros/min como lo recomienda la literatura para la adecuada operación a escala piloto (Ramón, León, & Castillo, 2015).

6.2.2 Construcción de reactores

Esta es una instancia importante en la puesta en marcha del proyecto, para ello, es relevante mencionar algunas acciones que se tomaron en cuenta entre las que se encuentran:

- **Preparación medio de soporte:** Aparentemente, los medios de soporte contaban con ciertas condiciones que podrían afianzar en proceso operativo de puesta en marcha del sistema, sin embargo, para el caso de la grava se realizó lavado del todo el material con el fin de eliminar polvo y trazas que en la evaluación de los reactores pueda generar resultados no esperados.

En la siguiente imagen se puede apreciar como aparentemente el material contaba condiciones propicias para el sistema.

Imagen No. 16 medio granular para reactor de roca



Fuente: El autor, 2018.

A continuación, se puede apreciar como el material después de evaluar su pureza se pudo determinar que era necesario realizar acciones de lavado hasta 6 veces que permita evidenciar dichas condiciones de limpieza esperada para el sistema.

Imagen No. 17 lavado de material granular



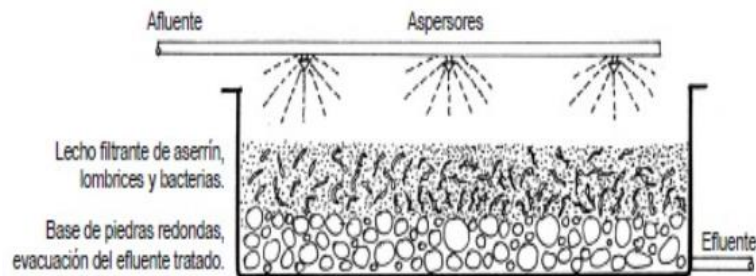
Fuente: El autor, 2018.

De esta manera, claramente se puede evidenciar la necesidad de realizar este lavado que desarrollará condiciones óptimas de evaluación, estas impurezas pudieron repercutir en los resultados de sólidos.

En relación al lombrifiltro, este se construyó teniendo en cuenta recomendaciones citadas en la bibliografía más relevante, para ello se incorporó al sistema Lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) la cual es autosuficiente, vive en cautiverio un promedio de 15 años, alcanza en estado adulto entre los 7 y 9 meses a medir 10 centímetros de largo, alcanza su cuerpo un diámetro de 4 milímetros por lo que llega a pesar de 0,24 hasta 1,4 gramos. Es una especie rustica, sin embargo no soporta la luz solar directa (Hernandez, 2005).

Para la construcción de este reactor o medio filtrante se hace necesario la incorporación de una capa de humus en el cual se asegura que en él habitan una mancomunidad de microorganismos y lombrices *Eisenia Foetida*. Para este medio fue necesario constituir un medio adicional de aserrín o viruta (debajo del humus) y una pequeña capa de grava (Bach & Coila, 2011). Adicionalmente es necesario garantizar que el agua a tratar sea asegurando una adecuada aspersion del sistema, tal como se muestra a continuación:

Imagen No. 18 Montaje tipo de lombrifiltro



Fuente: Lombrifiltro diseño, implementación y mantenimiento – Bach. Kelly Coila. 2011

Así las cosas, a continuación, se presenta el humus y lombrices que se emplearon en el sistema a evaluar, es necesario enunciar que este material fue obtenido del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA – Nariño, el cual cuenta con programas agropecuarios que permiten dar confianza de la condición del material entregado:

Imagen No. 19 medio de soporte lombriz californiana



Fuente: El autor, 2018.

Seguidamente, se prosiguió a adicionar una base de grava y el aserrín como sustrato base del humus con lombriz californiana, como se puede apreciar en la siguiente imagen en donde se dispusieron las capas de la siguiente manera 2 cm de grava, 4 cm de aserrín y 6 cm de humus:

Imagen No. 20 montaje de reactor lombrifiltro



Fuente: El autor, 2018.

Continuando con la construcción del sistema, se adicionó una totalidad de 62 rulos de cabello a el recipiente correspondiente logrando el volumen necesario para evaluación uniforme, estos fueron dispuestos de manera uniforme y comprimida en el sistema, para este caso se espera que la materia orgánica y solidos sean retenidos en el medio de soporte como son los filamentos sintéticos que hacen parte integral de los rulos de cabello

Por último, es necesario anotar que uno de los procesos más importantes y relevantes en la construcción del sistema es asegurar que el agua a tratar y analizar logre que ocupe la mayor área superficial de los reactores a construir, para ello se incorporó en cada unidad tubería perforada como se puede observar a continuación:

Imagen No. 21 sistema de distribución uniforme



Fuente: El autor, 2018.

6.2.3 Recolección de agua

Para este caso y tal como se advirtió en el objetivo número uno, las muestras se tomaron en el colector ubicado en la ciudad en el Colector Circular del Colegio Pedagógico en donde se adecuan las condiciones necesarias típicas de un agua residual doméstica, de esta manera se tomaron muestras en recipientes de 90, 30 y 10 litros que fueron transportadas de inmediato al sistema piloto con el fin de garantizar que las condiciones no se afecten.

Imagen No. 22 recolección de muestra de agua



Fuente: El autor, 2018.

Una vez tomada el agua para análisis, se prosiguió a enviar una muestra inicial al laboratorio para conocer las condiciones iniciales de operación del sistema, es pertinente anotar que esta muestra inicial fue enviada a laboratorio debidamente certificado como es el laboratorio de la universidad mariana de la ciudad de Pasto.

Imagen No. 23 toma de muestra para analizar



Fuente: El autor, 2018.

A razón de la operación del sistema se mantuvo recambios de agua cada 24 horas, asegurando que cada toma de muestra de agua del rio pasto sea escogida en el mismo punto para afianzar la confiabilidad de los datos. Los datos de recolección de agua se tomaron en las fechas y horas que se citan en la Tabla No. 7 Recolección de agua de alimentación al sistema, como se puede apreciar a continuación:

Tabla No 7. Recolección de agua de alimentación al sistema

Día recolección de agua	Hora de recolección	Cantidad	Responsable
1 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	John Maya
2 de septiembre de 2018	11:45	290 litros	John Maya
3 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	David Hormaza
4 de septiembre de 2018	12:00	290 litros	David Hormaza
5 de septiembre de 2018	12:00	290 litros	David Hormaza
6 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	Luis Ortiz
7 de septiembre de 2018	10:40	290 litros	Luis Ortiz
8 de septiembre de 2018	12:00	290 litros	John Maya
9 de septiembre de 2018	10:40	290 litros	John Maya
10 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	Luis Ortiz
11 de septiembre de 2018	10:40	290 litros	David Hormaza
12 de septiembre de 2018	11:45	290 litros	David Hormaza
13 de septiembre de 2018	10:40	290 litros	Viviana Muñoz
14 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	Viviana Muñoz
15 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	John Maya
16 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	John Maya

17 de septiembre de 2018	10:40	290 litros	Viviana Muñoz
18 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	David Hormaza
19 de septiembre de 2018	10:58	290 litros	John Maya
20 de septiembre de 2018	10:40	290 litros	Viviana Muñoz
21 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	David Hormaza
22 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	John Maya
23 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	John Maya
24 de septiembre de 2018	10:40	290 litros	David Hormaza
25 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	David Hormaza
26 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	David Hormaza
27 de septiembre de 2018	12:00	290 litros	David Hormaza
28 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	David Hormaza
29 de septiembre de 2018	11:10	290 litros	John Maya
30 de septiembre de 2018	12:00	290 litros	John Maya
31 de septiembre de 2018	11:00	290 litros	David Hormaza
1 de octubre de 2018	11:00	290 litros	John Maya
2 de octubre de 2018	10:20	290 litros	David Hormaza
3 de octubre de 2018	11:30	290 litros	David Hormaza
4 de octubre de 2018	12:00	290 litros	David Hormaza
5 de octubre de 2018	11:30	290 litros	David Hormaza

Fuente: El autor, 2018.

Nota: para afianzar el proceso operativo de construcción y evaluación del sistema se contó con el acompañamiento de profesionales a fines con el objeto del proyecto.

Continuando con el proceso se realizó el muestro a fin de conocer las características del agua residual inicial la cual será utilizada para evaluar las remociones después de los reactores a evaluar para los parámetros de Solidos Totales (ST) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

Para ello, a continuación, mediante la Tabla No.8 Plan de muestreo y desarrollo de determinación de parámetros, se presenta la distribución en el tiempo para la toma y procesamiento de parámetros de DBO y ST:

Tabla No. 8 Plan de muestro y desarrollo de proceso de determinación de parámetros

Tanque de suministro		Muestra para cada reactor		Muestra para cada reactor		Muestra para cada reactor		Muestra para cada reactor	
Semana 0		Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
Miércoles	Viernes	Miércoles	Viernes	Miércoles	Viernes	Miércoles	Viernes	Miércoles	Viernes
DBO	DBO	DBO	DBO	DBO	DBO	DBO	DBO	DBO	DBO
ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST	ST

Fuente: El autor, 2018.

Seguidamente se precisa que se realizaron en totalidad 14 análisis utilizando los métodos para cada parámetro a evaluar acorde a lo establecido Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (Diaz, 1989), permitiendo establecer la tabla No. 9 Concentración de ST en la evaluación del sistema, en donde se expresan las concentraciones en mg/l de solidos totales a la salida de cada unidad como se puede observar a continuación:

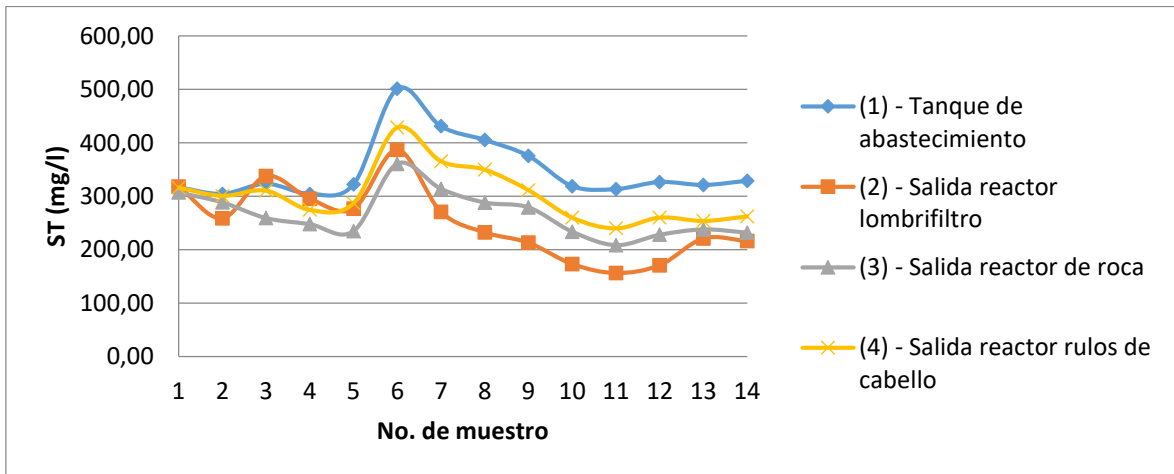
Tabla No. 9 Concentración ST en la evaluación del sistema

Sitio de Muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
(1) - Tanque de abastecimiento	316,67	304,44	323,33	304,44	322,22	501,11	431,11	405,56	375,56	318,89	313,33	326,67	321,11	328,89
(2) - Salida reactor lombrifiltro	318,25	258,78	337,69	295,31	276,72	386,85	270,78	232,34	213,17	173,12	156,32	170,84	221,09	216,13
(3) - Salida reactor de roca	307,13	288,64	259,28	247,97	234,87	360,79	313,89	288,34	279,30	233,87	208,68	228,04	238,04	232,06
(4) - Salida reactor rulos de cabello	316,22	300,94	310,71	274,70	287,07	428,90	365,67	350,04	311,64	260,21	240,01	260,22	253,93	262,32

Fuente: El autor, 2018.

Permitiendo así establecer la diagramación de los anteriores datos mencionados como se estipula en la Figura No. 24 concentraciones ST en el sistema:

Figura No. 24 Concentraciones ST en el sistema



Fuente: El autor, 2018.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos es importante anotar que acorde a los resultados obtenidos en se puede evidenciar un comportamiento que guarda

relación a un proceso típico de estabilización del sistema, permitiendo así establecer que el sistema logró gestar proceso de arranque y estabilización. Para ello a continuación se presenta mediante la tabla No. 10 variables estadísticas de concentración de ST, un breve análisis basado en conceptos estadísticos que permite evaluar el comportamiento del sistema:

Tabla No. 10 Variables estadísticas de concentración de ST

Variables estadísticas	Unidad	min	máx.	promedio	Desviación	Coefficiente de variación	Concepto de cof. Variación
(1) - Tanque de abastecimiento		304,44	501,11	349,52	103,15	29,51	Medio
(2) - Salida reactor lombrifiltro	mg/l	156,32	386,85	251,96	119,31	47,35	Alto
(3) - Salida reactor de roca		208,68	360,79	265,78	74,86	28,17	Medio
(4) - Salida reactor rulos de cabello		240,01	428,9	301,61	92	30,50	Medio

Fuente: El autor, 2018.

La anterior tabla es indispensable para valorar la eficiencia de cada filtro y posterior verificación con el cumplimiento de del tratamiento con la resolución 0631 de 2015 que establece los valores admisibles para el vertimiento de aguas residuales; así las cosas, se logra establecer que acorde a los datos obtenidos la concentración más baja registrada es la establecida en la salida del reactor de lombrifiltro, sin embargo es importante tener en cuenta el registro que esta unidad cuenta respecto a la desviación estándar.

Por otra parte, se destaca el comportamiento de la unidad de reactor de roca donde se puede evidenciar una concentración media considerable, la cual se logra una vez se genera una película sobre la roca que en algunos casos puede generar algunos desprendimientos típicos de este sistema que pueden a su vez generar datos de concentración de sólidos totales en la salida de esta unidad.

De esta manera y siguiente el procedimiento planteado en el presente proyecto de investigación se procede a evidenciar los datos del comportamiento de la concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) utilizando método establecido en Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (Diaz, 1989); permitiéndose así construir la tabla No.11 concentración de DBO en el sistema, acorde a todos los análisis realizados como se puede evidenciar a continuación:

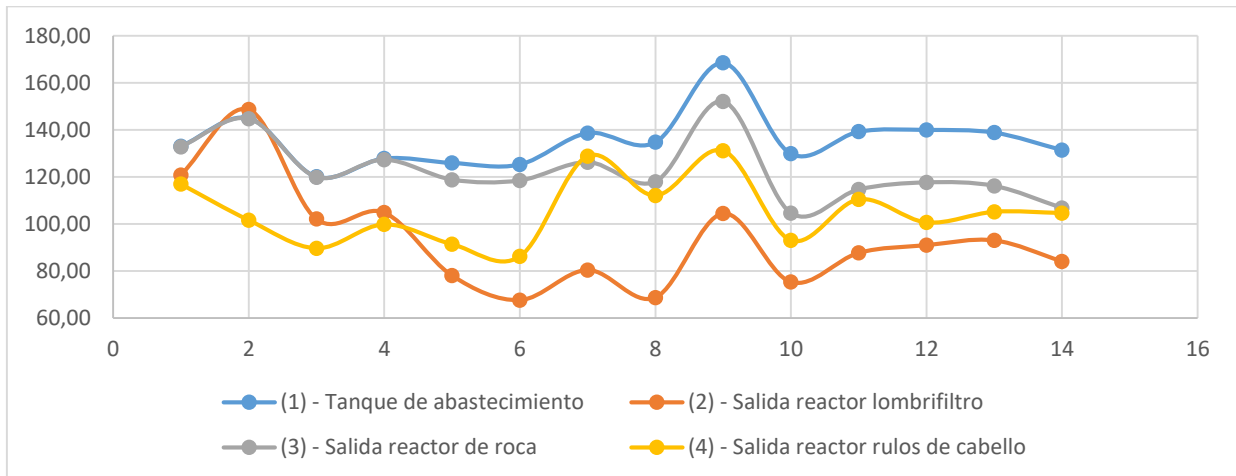
Tabla No. 11 Concentración de DBO en el sistema

Sitio de muestreo mg/l	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
(1) - Tanque de abastecimiento	133,10	145,0	120,13	127,9	126,00	125,33	138,70	134,8	168,55	129,91	139,3	140,0	138,88	131,47
(2) - Salida reactor lombrifiltro	120,85	148,7	102,11	104,88	78,12	67,68	80,45	68,74	104,50	75,35	87,73	91,01	93,05	84,14
(3) - Salida reactor de roca	132,85	144,71	119,93	127,31	118,82	118,47	126,24	118,00	152,07	104,66	114,64	117,64	116,15	106,79
(4) - Salida reactor rulos de cabello	116,98	101,70	89,70	99,85	91,44	86,21	128,91	112,14	131,21	93,08	110,50	100,70	105,22	104,69

Fuente: El autor, 2018.

Así las cosas, es importante anotar por medio de grafico el comportamiento de la concentración de este parámetro como se puede apreciar seguidamente en la figura No.25 concentraciones DBO en el sistema:

Figura No. 25 Concentraciones DBO en el sistema



Fuente: El autor, 2018.

En este caso, es importante recordar que el agua residual de referencia para el punto de muestreo de referencia en el río pasto es una zona que cumple con la literatura para la evaluación de un agua residual típica, de igual manera es relevante apreciar que es un punto donde existen grandes descargas de alcantarillado combinado y directo reflejando concentraciones altas de materia orgánica expresada para este caso en demanda bioquímica de oxígeno.

Para el caso anterior, a continuación, mediante la tabla No. 12 variables estadísticas de concentración de DBO, un breve análisis de las variables estadísticas más relevantes con el fin de realizar la verificación pertinente y fundamentada para determinar si las concentraciones arrojadas por el sistema permiten establecer una dirección hacia el uso de unidades piloto puestas en marcha para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias a escala real:

Tabla No. 12 Variables estadísticas de concentración de DBO

Variables estadísticas	min	máx.	promedio	desviación estándar	Coficiente de variación	Concepto de cof. Variación
(1) - Tanque de abastecimiento	120,13	168,55	135,65	20,74	15,29	Medio
(2) - Salida reactor lombrifiltro	67,68	148,69	93,38	38,9	41,66	Alto
(3) - Salida reactor de roca	104,66	152,07	122,73	23,36	19,03	Medio
(4) - Salida reactor rulos de cabello	86,21	131,21	105,17	24,34	23,14	Medio

Fuente: El autor, 2018.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede apreciar que el registro con menor concentración de DBO5 es la unidad de lombrifiltro con 93,38 mg/l DBO5, esta concentración si bien es baja, se puede apreciar que la dispersión de los datos bajo la media que se puede apreciar bajo el concepto de desviación estándar puede reflejar que las concentraciones variaron considerablemente en su operación, sin embargo, este proceso es propio de todo desarrollo biológico donde la lombriz californiana busca su alimento a través de la materia orgánica existente en el agua que alimenta la unidad en lugar de excretas o humos típico en su desarrollo.

Po otra parte, es importante rescatar el comportamiento de la unidad que contuvo rulos de cabello, logrando una concentración promedio de 105,17 con una desviación estándar más baja en el comportamiento del sistema, que como se dijo anteriormente es propio de un proceso de desarrollo biológico; para esta unidad es

importante tener en cuenta que genera un precedente relevante acorde al espacio intersticial de los rulos de cabello en relación al lombrifiltro.

6.3 COMPARAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGANICA Y SOLIDOS TOTALES DE LOS REACTORES BIOLOGICOS CON RELACION A LOS VALORES ADMISIBLES PARA EL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS CITADOS EN LA RESOLUCIÓN 631 DE 2015

Teniendo en cuenta el desarrollo del objetivo No. 1 y No. 2 es necesario determinar proceso de evaluación de remociones de los parámetros analizados, para ello, según los datos obtenidos acorde a las concentraciones registradas en el tanque de análisis, y reactores biológicos se logró determinar las remociones de solidos totales en cada unidad de tratamiento las cuales se pueden apreciar en la tabla No. 13 evaluación de remoción de ST en el sistema:

Tabla No. 13 Evaluación de remoción de ST en el sistema

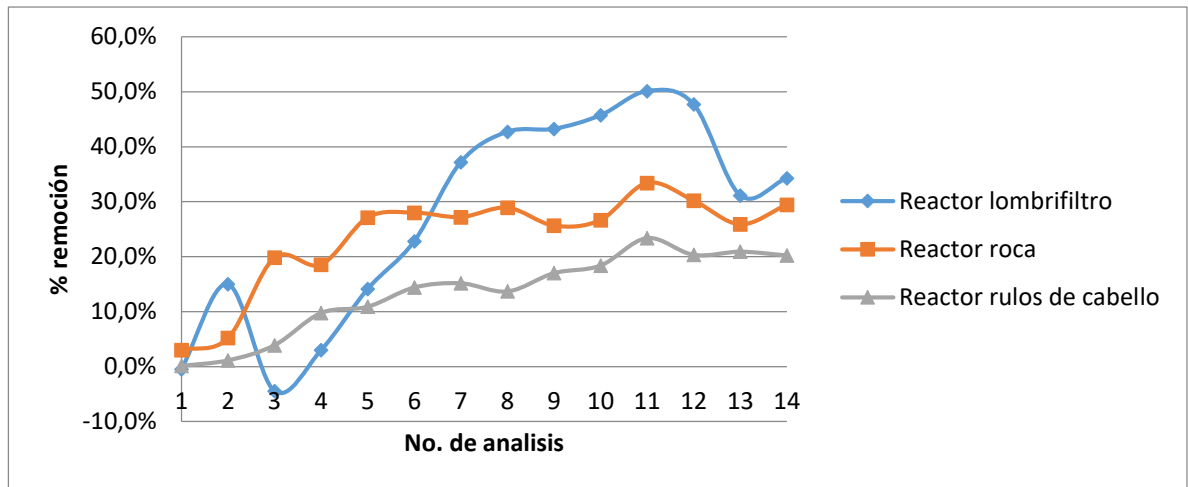
Remoción por unidad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Salida reactor lombrifiltro	-0,5%	15,0%	-4,4%	3,0%	14,1%	22,8%	37,2%	42,7%	43,2%	45,7%	50,1%	47,7%	31,2%	34,3%
Salida reactor de roca	3,0%	5,2%	19,8%	18,6%	27,1%	28,0%	27,2%	28,9%	25,6%	26,7%	33,4%	30,2%	25,9%	29,4%
Salida reactor rulos de cabello	0,1%	1,2%	3,9%	9,8%	10,9%	14,4%	15,2%	13,7%	17,0%	18,4%	23,4%	20,3%	20,9%	20,2%

Fuente: El autor, 2018.

Sin embargo, es relevante conocer el comportamiento grafico de las remociones registradas en solidos totales en cada una de las unidades evaluadas las cuales se

pueden verificar en la Figura No. 26 remoción de ST en el sistema, donde se aprecia el comportamiento de las anteriores remociones en el piloto evaluado:

Figura No. 26 remoción de ST en el sistema



Fuente: El autor, 2018.

Es importante anotar que las figuras de eficiencia de remoción permiten establecer que las remociones logran tener un proceso de estabilización, sin embargo, claramente se puede observar que se registraron datos que están por afuera de un comportamiento normal de evaluación e remociones como picos altos y remociones negativas; para permitir un mejor análisis a continuación mediante la tabla No. 14 variables estadísticas de remoción de ST en el sistema, donde se realiza basados en conceptos estadísticos una evaluación sobre los resultados de remoción objetivos:

Tabla No. 14 variables estadísticas de remoción de ST en el sistema

Remoción por unidad (%)	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación estándar	Coficiente de variación	Concepto de cof. Variación
Salida reactor lombrifiltro	-4,40%	50,10%	27,30%	33,50%	122,711	Alto
Salida reactor de roca	3,00%	33,40%	23,50%	16,10%	68,511	Alto
Salida reactor rulos de cabello	0,10%	23,40%	13,50%	13,30%	98,519	Alto

Fuente: El autor, 2018.

Para este caso es relevante tener en cuenta que para el proceso de remoción de la unidad de lombrifiltro se registró una remoción negativa, este proceso se pudo presentar debido a un desprendimiento de humos o material de soporte de la lombriz californiana, registrando así una salida de tierra y elevando así los sólidos totales a la salida de esta unidad.

Ahora bien, es pertinente establecer que las remociones bajo el comportamiento de la gráfica y análisis estadístico crecen progresivamente debido a que el sistema contó con un proceso de estabilización en donde las remociones oscilaron bajo un comportamiento sinusoidal.

Para este caso se logró establecer que la remoción más alta registrada corresponde a 50,1% que corresponde al reactor de lombrifiltro, sin embargo, es claro anotar que en este caso se registra mayor desviación estándar, permitiendo establecer que los datos registrados en este proceso variaron considerablemente en su operación.

Para el caso del reactor de roca, que es una unidad que se considera propicia para establecer procesos de remoción de sólidos al igual que las demás unidades

presenta crecimiento y posterior variaciones en operación de remoción de este parámetro que se atribuye a un crecimiento de película sobre la roca dispuesta y posibles desprendimientos de sólidos en algún momento de operación que no es sensible en el desarrollo de visitas continuas al sistema; así las cosas, esta unidad representa una remoción de 27% para este tipo de tratamiento a nivel escala bajo un estado de desviación estándar no despreciable para la confiabilidad de los datos expuestos.

Por último, el reactor que contiene “rulos de cabellos” aporta un proceso de remoción de sólidos totales bajo con una desviación estándar relativamente baja; en este proceso se puede determinar que la remoción para estabilizar esta unidad es lenta debido a que los residuos sólidos se aglomeran para formación de una película en los filamentos de los rulos de cabello, sin embargo por los altos espacios intersticiales de la unidad logran pasar sólidos que se ven reflejados en las concentraciones finales de este reactor.

Posterior al análisis establecido para el desarrollo del comportamiento del sistema en la remoción de sólidos totales, a continuación, en la Tabla No. 15 remoción de DBO en unidades del sistema, se presenta el comportamiento de la remoción de DBO en cada unidad que compuso el sistema:

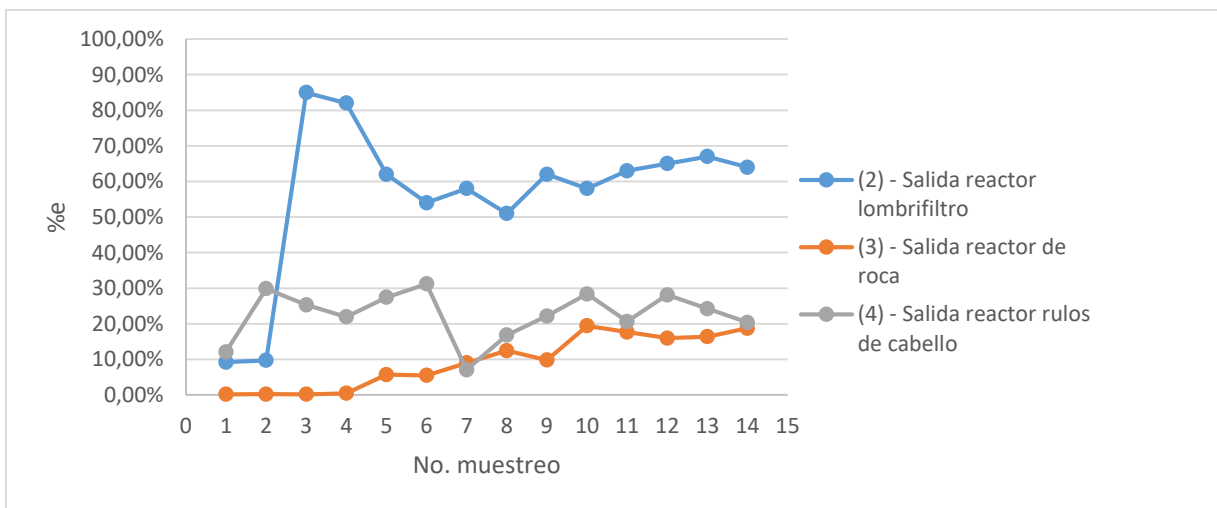
Tabla No. 15 Remoción de DBO en unidades del sistema

Remoción unidad (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Salida reactor lombrifiltro	9,20%	9,70%	85,00%	82,00%	62,00%	54,00%	58,00%	51,0%	62,00%	58,00%	63,00%	65,00%	67,00%	64,00%
Salida reactor de roca	0,19%	0,21%	0,17%	0,46%	5,70%	5,47%	8,98%	12,45%	9,78%	19,44%	17,68%	15,98%	16,37%	18,77%
Salida reactor rulos de cabello	12,11%	29,87%	25,33%	21,93%	27,43%	31,21%	7,06%	16,80%	22,15%	28,35%	20,65%	28,08%	24,24%	20,37%

Fuente: El autor, 2018.

Las remociones registradas pueden reflejar un comportamiento propio de los procesos biológicos, los cuales se pueden ver graficados en la figura No. 27 remoción de DBO en el sistema, permitiendo evidenciar remociones importantes y determinantes en el proceso de evaluación.

Figura No. 27 Remoción de DBO en el sistema



Fuente: El autor, 2018.

Como se puede apreciar en la gráfica anterior se evidencia que el reactor lombrifiltro cuenta con una eficiencia de remoción más alta, mientras que la salida del reactor con roca posee una remoción más baja y con menor tiempo de estabilización como se puede apreciar donde hasta el muestreo número cuatro se aprecia un avance en la remoción, dado que la anterior es despreciable, esto permite deducir que hasta la segunda semana se logró la generación de una pequeña biopelícula que permita la degradación bacteriana de la materia orgánica.

Por otro lado, se logró evidenciar que la unidad con rulos de cabello genera una remoción no despreciable teniendo en cuenta que se generó una biopelícula en los filamentos sintéticos dispuestos en cada rulo de cabello, sin embargo, es importante nuevamente rescatar que es un proceso que cuenta con espacios intersticiales a tener en cuenta donde no se logra crear una biopelícula que permita remoción de materia orgánica.

Por último a continuación en la tabla No. 16 evaluación de variables estadísticas de remoción de DBO, se presenta análisis de variables que permiten establecer comportamiento de remoción de DBO en el sistema:

Tabla No. 16 Evaluación de variables estadísticas de remoción de DBO

Remoción por unidad (%)	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Concepto de cof. Variación
Salida reactor lombrifiltro	9,20%	85,00%	56,42%	38,93%	69,00	Alto
Salida reactor de roca	0,17%	19,44%	9,40%	13,21%	140,53	Alto
Salida reactor rulos de cabello	7,06%	31,21%	22,54%	12,22%	54,21	Alto

Fuente: El autor, 2018.

En estos datos expuestos se puede apreciar que el reactor lombrifiltro alcanza una remoción máxima del 85% que si bien es el pico más alto registrado al inicio de la operación el cual se logró generar a que las bacterias y lombriz californiana toman masivamente la materia orgánica para su alimentación. Sin embargo, su media en remoción es importante correspondiendo a 56,42% representada por su puesto por una desviación estándar elevada propia de los sistemas biológicos en donde se logra una estabilización del sistema paulatina.

Ahora bien, de acuerdo a los datos registrados en las otras dos unidades (reactor de roca y rulos de cabello) la remoción registrada en el lombrifiltro supera notablemente la de estas dos unidades, siendo un referente claro para la degradación de materia orgánica

En el cumplimiento con el objeto del proyecto en el cual se busca determinar si los datos obtenidos en la remoción de las diferentes unidades para evaluación de

Sólidos Totales y Demanda Bioquímica de Oxígeno según la Resolución 0631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible “*por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones*” donde se puede establecer que los datos admisibles para este tipo de aguas residuales corresponden a los citados en la tabla No. 17 determinación valores admisibles:

Tabla No. 17 Determinación valores admisibles

Parámetro	Valor Admisible
Sólidos Totales mg/l	70
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/l	70

Fuente: El autor, 2018.

Seguidamente, en la tabla No. 18 determinación valores admisibles vs remoción del sistema, se presenta relación resumen de las concentraciones media a la salida de las unidades a fin de evaluar el posible cumplimiento con la normatividad vigente y los tratamientos a escala desarrollados en el presente trabajo de investigación.

Tabla No. 18 Determinación valores admisibles vs remoción del sistema

Parámetro	Valor Admisible	Reactor Lombrifiltro	Reactor de Roca	Reactor de Rulos
Sólidos Totales mg/l	70	251,96	265,78	301,61
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/l	70	93,38	122,73	105,17

Fuente: El autor, 2018.

Evidentemente, se puede apreciar que en relación a la evaluación de sólidos totales este parámetro se aleja mucho del cumplimiento de la normatividad, sin embargo para el caso del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno se observa una proximidad importante hacia una admisibilidad del resultado, para lo cual se deduciría que con una unidad de tratamiento esta remoción se lograría acercar a la requerida por la normatividad vigente siendo sirviendo para poder experimentar este proceso a escala real.

7. ANALISIS Y DISCUSIÓN

Claramente mediante el ejercicio investigativo se logró apreciar que la ciudad de San Juan de Pasto, se suma al 73% de los municipios de Colombia que no poseen sistemas de tratamiento de aguas residuales, repercutiendo en impactos negativos sobre las condiciones del recurso hídrico como es Rio Pasto el cual atraviesa a la ciudad de Pasto del sur oriente hasta el norte, es importante anotar como se advirtió que el Rio Pasto nace en el páramo El Bordoncillo donde las condiciones de agua son muy favorables mientras que una vez al realizar su recorrido a través de la ciudad de San Juan de Pasto, recibe este rio cargas contaminantes muy altas propias de condiciones domiciliarias en varios puntos.

Tras los diferentes puntos de los colectores que vierten aguas residuales domesticas al Rio Pasto, se suma una problemática muy sentida en el territorio como es la falta de canalización de varios puntos de vertimiento, es importante recalcar que en la actualidad se encuentra en construcción de mejoras del alcantarillado, sin embargo, estos vertimientos se mantienen. Dentro de los resultados presentados se puede apreciar que la ciudad de San Juan de Pasto, se encuentra realizando un camino hacia el tratamiento de aguas residuales, siendo necesario en una primera instancia canalizar los vertimientos más relevantes en ciertos puntos; si bien es conocido que el Departamento de Nariño y la Alcaldía de Pasto, no cuentan en el momento con los estudios, diseños y presupuesto para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, estos ejercicios

investigativos son válidos con el fin de validar sistemas de tratamientos más adecuados para el territorio.

La ciudad de San Juan de Pasto, no cuenta con un avance en el sector industrial y este proceso claramente se pudo evidenciar dentro de los resultados de diagnóstico y de laboratorio realizados donde se encontró que las concentraciones de sólidos totales y demanda bioquímica de oxígeno se encuentran dentro de los parámetros establecidos como típicos para las aguas residuales domiciliarias basados en procesos de vivienda, residencias, edificios comerciales e institucionales con valores de concentración de 200 mg/l de DBO y 200 mg/l de Sólidos Totales (Romero Rojas, 2000).

De esta manera, dentro de los resultados objeto de la investigación desarrollada los sistemas propuestos fueron procesos típicos que se vienen utilizando con el fin de generar acciones de sostenibilidad en la puesta en marcha de los tratamientos; para el caso del sistema de canto rodado, es un material típico en donde se logró el crecimiento de material bacteriano que representó remociones en materia orgánica bajo el principio de descomposición bacteriana, para el caso del uso de cilindros con filamentos sintéticos los cuales se encuentran en uso medios sintéticos que facilitan la fijación de material bacteriano y por último la unidad de lombrifiltro que bajo las experiencias surtidas en varios países entre los que se destaca Chile se encuentran óptimos resultados para el tratamiento de aguas residuales basadas en características domiciliarias.

Sin embargo, tal como lo precisa Nemerow., (2014):

“Las corrientes de agua (ríos, etc.) pueden asimilar cierta cantidad de residuos antes de llegar a estar contaminados. En líneas generales, cuanto más caudalosos, rápidos y más aislados estén los cursos de agua, y no hayan sido utilizados, más capaces son de tolerar una mayor cantidad de aguas residuales”

Es necesario reconocer la capacidad que tienen los cuerpos de agua de “tolerar” ciertas cargas contaminantes, y tal como lo reconoce el autor anteriormente citado, este proceso se deriva específicamente al grado de incorporación que tiene un cuerpo de agua para introducir oxígeno, lo que permite realizar procesos de oxidación de materia orgánica tal y como lo advierte Romero, 2013.

Así las cosas, si bien el río Pasto, es un cuerpo de agua con un caudal considerable por el mismo proceso de tortuosidad permite que se incorpore oxígeno al agua, sin embargo, bajo los conceptos anteriormente mencionados claramente se puede apreciar que la carga contaminante que se vierte al río Pasto supera su capacidad y se presenta concentraciones altas y típicas de aguas residuales domésticas como se puede apreciar con la literatura citada en la presente investigación.

Dentro del montaje del sistema piloto a evaluar con el fin de verificar si el lombrifiltro es una unidad biológica que en relación a las otras dos unidades genera un cumplimiento sobre a la resolución 631 de 2015, con la cual se establecen valores admisibles de vertimiento de aguas residuales, se puede evidenciar que bajo el concepto de concentración del parámetro a evaluar se concluye que la unidad que tiene mejor comportamiento con tendencia al cumplimiento de la normatividad vigente es el lombrifiltro teniendo en cuenta que para el parámetro de sólidos totales

se realiza una remoción considerable sin embargo para la demanda bioquímica de oxígeno se refleja claramente una proximidad hacia el cumplimiento normativo.

Dicho lo anterior, es necesario tener establecido como lo establece Ramalho, (2013):

“Los pretratamientos de aguas residuales implican la reducción e sólidos o acondicionamiento de las aguas residuales para pasar a un tratamiento secundario”.

Este concepto es muy importante para la presente investigación, debido a que el piloto que se adecuó no contó con un sistema de tratamiento primario para remoción de residuos sólidos, hecho que se refleja en las concentraciones altas en este parámetro para las diferentes unidades.

Para el caso del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno, que para este caso, en las aguas residuales domésticas se ve reflejada por proteínas, carbohidratos, heces fecales, orina, desechos alimenticios, entre otros (Mihelcic & Beth, Ingeniería Ambiental fundamentos-sustentabilidad-diseño, 2012), que para el caso del lombrifiltro que refleja menor concentración y acercamiento considerable al valor admisible de referencia se puede inferir que:

La lombriz *Eisenia Foetida* se alimenta de todo tipo de materia orgánica, que para este caso a nivel de tratamiento de aguas residuales, toma su alimento de las aguas residuales generando importantes remociones de materia orgánica en un sistema de tratamiento (Borquez, 2005), hecho que se refleja claramente en el proceso desarrollado en la presente investigación, sin embargo es importante anotar que para la realización e implementación de sistemas de tratamiento que cuenten con

lombrifiltro es necesario la adecuación de sistema primario de tratamiento (remoción de sólidos) que a su vez generará pequeña remoción de residuos sólidos y un tratamiento final de desinfección para la eliminación de patógenos existentes en el agua residual tratada.

Es claro que la unidad de lombrifiltro genera mayor remoción que las otras unidades (rulos de cabello y canto rodado), sin embargo, es preciso anotar que las remociones pueden aumentar considerablemente articulando un sistema de tratamiento primario y uno de desinfección, permitiendo así que el río pasto cuente con la capacidad de recepción de estas aguas residuales.

Por último es necesario aclarar que el comportamiento del coeficiente de variación corresponde a datos representativamente dispersos bajo la categoría de “Alto”, sin embargo como se ha mencionado anteriormente, este proceso se deriva de las acciones de establecimiento de material biológico para la remoción en el sistema.

8. CONCLUSIONES

- Las aguas residuales domesticas al poseer alta concentración de materia orgánica necesitan las implementaciones de tratamientos que permitan la degradación de la misma mediante la incorporación de procesos biológicos.
- Todo tratamiento de agua residual que involucre un tratamiento a través de proceso biológico necesita una unidad de pretratamiento que permita disminuir paulatinamente las concentraciones de solidos de gran tamaño que reportan parámetros no solo de solidos totales sino de materia orgánica.
- El lombrifiltro si bien tiene una autosuficiencia importante se debe asegurar la aspersión del agua residual uniformemente en toda la unidad de tratamiento para evitar enlodar la unidad.
- Al efectuar la puesta en marcha del sistema se registran variaciones importantes de remociones las cuales son propias de la estabilización del sistema biológico implementado.
- Las condiciones locativas son fundamentales para el desarrollo de procesos biológicos ya que pueden incidir directamente en la reproducción de la lombriz californiana, así como el proceso bacteriano que se instaure en los medios de soporte.

- Si bien el reactor denominado lombrifiltro no realiza un cumplimiento a nivel escala para la remoción esperada según la normatividad vigente, se realiza un acercamiento importante en cuanto a materia orgánica derivado a la necesidad de la lombriz de alimentarse a través de esta agua residual y sus concentraciones de materia orgánica.
- Tras la evaluación de las 3 unidades de tratamiento en cuanto a la remoción de materia orgánica, la unidad que más se acerca a la media que permita un proceso de admisibilidad de su concentración de salida es el lombrifiltro, sin embargo, tiene una baja remoción de sólidos totales (teniendo en cuenta la desviación estándar) debido a que en la operación del sistema puede verse reflejados pequeños desprendimientos de humos que en prueba de laboratorio pueden ser reflejados como sólidos totales.
- En cuanto a remoción registrada de sólidos totales se destaca el comportamiento de la unidad de roca, lo anterior debido al comportamiento de la remoción de este parámetro y su desviación estándar, para lo cual de igual manera dentro del proceso de análisis de variables estadísticas se puede generar desprendimientos de sólidos que se afianzan en las rocas que pueden variar los resultados de remoción.
- Para el caso del uso de “rulos de cabello” se destaca el comportamiento de remoción de materia orgánica y sólidos totales, lo anterior de acuerdo a que

si bien su remoción es baja los espacios intersticiales en esta unidad son altos permitiendo que el agua residual no surta la remoción esperada.

- Estos tratamientos evaluados tienen bajo impacto sobre el ambiente debido a que además de usar materiales que a su vez el producto del mantenimiento puede ser utilizado en procesos del agro por su alto contenido en materia orgánica.
- Para afianzar los procesos de remoción de parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos totales es necesario la articulación de tratamiento primario que permita la remoción de sólidos en altos porcentajes y materia orgánica.
- Para centros poblados que cuenten además de aguas residuales domésticas, prevalencia de aguas con contenidos de químicos o metales pesados propios de los procesos industriales, el sistema de lombrifiltro no es recomendable debido a que esta toxicidad generará mortalidad de lombriz reductora de contaminación de parámetros.
- El reactor bajo el propósito comparativo del proyecto permite concluir que el lombrifiltro genera importante tendencia para dar cumplimiento a la resolución 631 de 2015.

9. RECOMENDACIONES

- Se hace necesario en la evaluación constante de que el agua permita un flujo constante en las unidades de operación, debido a que se puede generar espacios de tiempo en donde el sistema se quede sin el agua residual y el material biológico muera.
- Se recomienda para el caso de la unidad de rulos de cabello reducir con otros materiales los espacios intersticiales como el uso de malla, debido a que en ella se puede fomentar el crecimiento de material biológico que realice degradación de materia orgánica y sólidos totales.
- Es importante monitorear el sistema constantemente para evitar taponamientos en el sistema y necesidad de lavados continuos en el sistema
- En el caso de necesitar mantenimiento de las unidades empleadas se sugiere utilizar metodología de retro lavado permitiendo el menor impacto para el material biológico en crecimiento.
- Se recomienda usar una unidad estándar de tratamiento para validar el mismo tratamiento a escala piloto y permitir remociones tanto de materia orgánica y sólidos totales que permita dar cumplimiento a la normatividad ambiental legal vigente.

- Se hace necesario realizar un monitoreo en cuanto a la remoción de microorganismo como son coliformes totales y fecales, lo anterior debido a que basados en procesos biológicos y literatura estas unidades generan pequeñas remociones, pero siguen siendo considerables acorde la normatividad vigente.
- Es pertinente realizar un análisis detallado de la calidad del agua a tratar, debido a que, si se tiene presencia de compuestos altamente tóxicos como metales pesados, puede repercutir en el desarrollo del material biológico que permite la biodegradación de la materia orgánica, sólidos totales y otros compuestos de interés.
- Se recomienda para instalación de un estudio para escala real de todos los parámetros de aguas residuales domésticas con el fin de determinar el tren de tratamiento más adecuado que se acentúe a las necesidades del lombrifiltro.
- Se sugiere para lograr una desinfección total de patógenos la implementación de una unidad UV para desinfección antes de verterse al cuerpo hídrico de recepción.

10. BIBLIOGRAFIA

- ABC Sociedad. (4 de 10 de 2018). *ABC Sociedad*. Obtenido de ABC Sociedad:
<https://www.abc.es/sociedad/20150202/abci-aguas-residuales-informe-201502021601.html>
- Bach, & Coila, K. (2011). Lombrifiltro Diseño, Implementación y Mantenimiento. En Bach, & K. Coila, *Lombrifiltro Diseño, Implementación y Mantenimiento* (pág. 25). Chile.
- Batista, C. (31 de Diciembre de 2013). Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas. *El Banco Mundial*, pág. 1.
- Borquez, Y. (2005). ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PARA APLICACIÓN DE LOMBRICULTURA AL TRATAMIENTO DE PLANTA LLAU-LLAO DE SALMONERA INVERTEC S.A. En Y. Borquez, *ANTEPROYECTO DE CONSTRUCCIÓN PARA APLICACIÓN DE LOMBRICULTURA AL TRATAMIENTO DE PLANTA LLAU-LLAO DE SALMONERA INVERTEC S.A.* (pág. 87). Valdivia: Austral de Chile.
- Centa. (2008). Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas. *Alianza por el Agua*, 17.
- Coronel, N. (2005). Diseño e implementación a escala piloto a escala de un biofiltro tohá en la epoch para la depuración de aguas residuales domesticas procedentes de la comunidad lagos la nube. *Escuela de ciencias quimicas*, 45.
- CORPONARIÑO. (2011). *Plan de ordenación del Río Pasto*. Pasto: CAR.
- Díaz, d. (1989). *Metodos Normalizados para el análisis de aguas residuales potables y residuales*. Madrid: Copright.
- EMPOPASTO. (2010). *Plan de saneamiento y manejo de vertimientos EMPOPASTO S.A E.S.P.* Past: Empopasto.
- Esva. (03 de Septiembre de 2015). *Esva*. Obtenido de Esva: <http://portal.esva.cl/educacion/el-agua/aguas-servidas/>
- Fundación San Francisco. (2003). *Evaluación del sistema de saneamiento basico en el área de influencia directa sobre el curso del río psato en el sector entre la bocatoma, laguna y El Barbero*. 2003: Empopasto.
- García, I., Rodríguez, J., Salas, J., Peñate, B., Pidre, R., & Martín, N. (2006). Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños nucleos de población. En I. García, J. Rodríguez, J. Salas, B. Peñate, R. Pidre, & N. Martín, *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños nucleos de población* (pág. 21). Canarias: ITC.
- Hernandez. (2005). Anteproyecto de contrucción para aplicación de lombricultura al tratamiento de planta llau llao. En Hernandez, *Anteproyecto de contrucción para aplicación de lombricultura al tratamiento de planta llau llao* (pág. 9). Valdivia: Chile.
- Hernandez, P. (2015). Anteproyecto de contrucción para aplicación de lombricultura al tratamiento de planta llau-llao de salmonera inverttec S.A. *Valdivia*, 58.

- Jaramillo, A. (2005). Bioingeniería de Aguas Residuales. En A. Jaramillo, *Bioingeniería de Aguas Residuales* (pág. 6). Bogotá: ACODAL.
- Jiménez, J. (2009). Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. En J. Jiménez, *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario* (pág. 114). Veracruz: Xalapa.
- León, G. (1995). *Impacto ambiental de los proyectos de aguas residuales*. Madrid: CEPIS/OPS.
- Lombrifiltro Chile*. (04 de Septiembre de 2015). Obtenido de Lombrifiltro Chile: <http://www.lombrifiltro.cl/Quienes%20Somos.html>
- Mihelcic, J., & Beth, J. (2012). Ingeniería Ambiental fundamentos-sustentabilidad-diseño. En J. Mihelcic, & J. Beth, *Ingeniería Ambiental fundamentos-sustentabilidad-diseño* (pág. 192). Mexico D.F: Alfaomega.
- Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2011). Ingeniería Ambiental Fundamentos-Sustentabilidad-Diseño. En J. Mihelcic, & J. Zimmerman, *Ingeniería Ambiental Fundamentos-Sustentabilidad-Diseño* (pág. 463). Mexico D.F: Alfaomega.
- minambiente. (03 de 09 de 2015). *Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1700:minambiente-presenta-nueva-norma-de-vertimientos-que-permitira-mejorar-la-calidad-agua-del-pais>
- Moscoso, J., & Egocheaga, L. (2004). Avances del inventario regional de la situación de aguas residuales domesticas en America Latina. En J. Moscoso, & L. Egocheaga, *Avances del inventario regional de la situación de aguas residuales domesticas en America Latina* (pág. 7). Lima: IDRC.
- Naciones Unidas. (04 de 11 de 2018). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de Objetivos de desarrollo sostenible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- Nemerow, N., & Dasgupta, A. (1998). Tratamiento de vertidos Industriales y peligrosos. En N. Nemerow, & A. Dasgupta, *Tratamiento de vertidos Industriales y peligrosos* (pág. 11). Madrid: Diaz dde Santos S.A.
- OEFA. (02 de 09 de 2015). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Obtenido de OEFA: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- OMS. (1973). *Aprovechamiento de Efluentes: Metodos y Medidas de protección Sanitaria en el Tratamiento de Aguas Servidas*. Ginebra: OMS.
- OMS. (03 de Septiembre de 2015). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/envmanagement/es/
- Orozco Jaramillo, A. (2014). Bioingeniería de aguas Residaules. En A. Orozco Jaramillo, *Bioingeniería de aguas Residaules* (pág. 45). ACODAL.

- Orozco, A. (2014). Bioingeniería de las aguas residuales. En A. Orozco, *Bioingeniería de las aguas residuales* (pág. 1). Bogotá: Acodal.
- Osorio, F., Torres, J. C., & Sanchez, M. (2010). Tratamiento de Aguas Para la Eliminación de Microorganismos y Agentes contaminantes. En F. Osorio, J. C. Torres, & M. Sanchez, *Tratamiento de Aguas Para la Eliminación de Microorganismos y Agentes contaminantes* (págs. 2-3). Madrid: Diaz de Santos.
- Parra, I., & Chiang, G. (2013). Modelo integrado de un sistema de biodeputación en origen de aguas residuales domiciliarias. Una propuesta para comunidaes periurbanas del centro sur de Chile. *Gestión y Ambiente*, 39-51.
- PNUMA. (2004). Lineamientos sobre el manejo de Aguas Residuales municipales. En PNUMA, *Lineamientos sobre el manejo de Aguas Residuales municipales* (pág. Xi). Ginebra: Naciones Unidas.
- Ramallo, R. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales. En R. Ramallo, *Tratamiento de Aguas Residuales* (pág. 10). España: Reverté, S.A.
- Ramón, J., León, J., & Castillo, N. (2015). Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*. En J. Ramón, J. León, & N. Castillo, *Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia foetida* (pág. 4). Chile: Mutis.
- Rizo, G. (1998). Sistemas Ecologicos y Medio Ambiente. En G. Rizo, *Sistemas Ecologicos y Medio Ambiente* (págs. 380-386). Bogotá: UNAD.
- Romero Rojas, J. A. (2000). Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño. En J. A. Romero Rojas, *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño* (pág. 17). Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero Rojas, J. A. (1994). Acuitratamiento por lagunas de estabilización. En J. A. Romero Rojas, *Acuitratamiento por lagunas de estabilización* (pág. 24). Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sans, R., & Ribas, J. (1989). Ingeniería Ambiental: Contaminación y Tratamientos. En R. Sans, & J. Ribas, *Ingeniería Ambiental: Contaminación y Tratamientos* (pág. 67). Barcelona: Marcombo S.A.
- Stachetti, G., & Moreira, A. (2007). Manual de evaluación de impacto de actividades rurales. En G. Stachetti, & A. Moreira, *Manual de evaluación de impacto de actividades rurales* (pág. 54). Montevideo: AGRIS.
- Suarez, S. (2014). Plan nacional en manejo de aguas residuales municipales en Colombia. En S. Suarez, *Plan nacional en manejo de aguas residuales municipales en Colombia* (pág. 8). Bogotá: Minvivienda.
- UNICEF. (2014). El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo. En UNICEF, *El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo* (pág. 17). Bogotá: UN.

“