

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					   	
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 1

Neiva, __ Marzo 24 de 2022 _____

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Neiva

El (Los) suscrito(s): __ Elida Lucia Rodriguez Ortiz __, con C.C. No. _ 1075289308,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado _ DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) CON REACTOR UASB DEL CENTRO POBLADO SAN LUIS MUNICIPIO NEIVA, DEPARTAMENTO HUILA presentado y aprobado en el año __2022__ como requisito para optar al título de __INGENIERO AGRÍCOLA__;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Elida Lucia Rodriguez O

Firma: _ _

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) CON REACTOR UASB DEL CENTRO POBLADO SAN LUIS MUNICIPIO NEIVA, DEPARTAMENTO HUILA

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
RODRIGUEZ ORTIZ	ELIDA LUCIA

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
IZQUIERDO BAUTISTA	JAIME

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRÍCOLA

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: AGRÍCOLA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 87

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías_x_ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_x_ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
o Cuadros_x_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: NO

MATERIAL ANEXO: Tablas de APU (análisis de precios unitarios)

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA					   	
	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

Manual de arranque, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con reactor UASB

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Agua residual	Wastewater	6. _____	_____
2. Evaluación	evaluation	7. _____	_____
3. UASB	UASB	8. _____	_____
4. PTAR	PTAR	9. _____	_____
5. Presupuesto	Budget.	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El tratamiento de aguas residuales es de gran importancia por dos razones fundamentales, primero defender la salud pública y el medio ambiente y segundo poder darle una reutilización al agua después de ser tratada para otros fines. Bajo estas razones tan válidas, este proyecto se planteó como objetivo, la evaluación del estado actual de cada una de las partes que componen la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) con UASB del centro poblado San Luis- Neiva, para lo cual, inicialmente se recopiló la información necesaria para entender el modo de operación de la PTAR y las especificaciones de cada una de las estructuras; posterior a esto, se realizaron unas visitas técnicas que permitieron determinar las adecuaciones necesarias y la evaluación del funcionamiento actual del sistema en términos de carga volumétrica, tiempo de retención, velocidad ascensional, producción de lodo, producción de metano y biogás. Obteniendo como resultado un TRH alto de 38,87 hr y una velocidad ascensional baja de 0,1183 m/hr, por lo que no se propicia el lavado de biomasa dispersa o ligera ni se promueve la granulación en el reactor UASB. La carga volumétrica hallada fue de 12,48 kgDQO/m³ día, siendo esta menos de la máxima recomendada, una producción de lodos baja de 5,19 KgSST/día y una producción de biogás baja de 0,1309 m³ /día lo que hace que la concentración del lodo en la zona dispersa sea poca, por ende, menor su capacidad de biodegradación. Por último, se realizaron las estimaciones económicas necesarias para la mejora de la instalación, las cuales ascendieron a 99'109.705 millones de pesos colombianos. La PTAR se encontró en malas condiciones funcionales por el deterioro causado por abandono, invasión de maleza, tramos de tubería colapsada y válvulas colmatadas, estructuras en fibra de vidrio en mal estado, sin embargo, la estructura en concreto en general en buen estado.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Wastewater treatment is of great importance for two fundamental reasons, first to defend public health and the environment and second to be able to reuse the water after being treated for other purposes. Under these valid reasons, this project was proposed as an objective, the evaluation of the current state of each of the parts that make up the wastewater treatment plant (PTAR) with UASB of the San Luis-Neiva town center, for which, Initially, the necessary information was collected to understand the PTAR's mode of operation and the specifications of each of the structures; After this, technical visits were made that allowed determining the necessary adjustments and evaluating the current operation of the system in terms of volumetric load, retention time, ascent rate, sludge production, methane and biogas production. Obtaining as a result a high TRH of 38.87 hr and a low ascent speed of 0.1183 m / hr, therefore, the washing of dispersed or light biomass is not promoted, nor is granulation promoted in the UASB reactor. The volumetric load found was 12.48 kgDQO / m³ day, this being less than the recommended maximum, a low sludge production of 5.19 KgSST / day and a low biogas production of 0.1309 m³ / day which it makes the concentration of the sludge in the dispersed zone little, therefore, its biodegradation capacity is lower. Finally, the economic estimates necessary for the improvement of the facility were made, which amounted to 99'109,705 million Colombian pesos. The PTAR was found to be in poor functional condition due to deterioration caused by abandonment, weed invasion, collapsed pipe sections and clogged valves, fiberglass structures in poor condition, however, the concrete structure in general in good condition.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Mauricio Duarte Toro

Firma:



Nombre Jurado: Nadia Brigitte Sanabria Mendez

Firma:



Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES (PTAR) CON REACTOR UASB DEL CENTRO POBLADO
SAN LUIS MUNICIPIO NEIVA, DEPARTAMENTO DEL HUILA

ELIDA LUCIA RODRIGUEZ ORTIZ

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA-HUILA
2021



DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES (PTAR) CON REACTOR UASB DEL CENTRO POBLADO SAN
LUIS MUNICIPIO NEIVA, DEPARTAMENTO DEL HUILA

ELIDA LUCIA RODRIGUEZ ORTIZ

Trabajo de grado presentado a la facultad de ingeniería como requisito para optar
al título de ingeniero agrícola

Director

JAIME IZQUIERDO BAUTISTA

Magíster en Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA- HUILA
2021



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	3
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1 Descripción del problema.....	10
1.2 Formulación del problema.....	10
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo general	11
2.2 Objetivos específicos	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	12
4. MARCO TEÓRICO	13
4.1 Historia del tratamiento del agua residual	13
4.1.1. Latinoamérica.....	15
4.2 ¿Qué es un agua residual?.....	16
4.3 Sistemas de tratamientos.....	17
4.3.1 Según el medio de eliminación de los contaminantes	17
4.3.1.1 Procesos físicos.....	17
4.3.1.2 Procesos químicos.....	17
4.3.1.3 Procesos biológicos.....	18
4.3.2 Según la fase de depuración.	18
4.3.2.1 Pretratamiento y tratamiento primario.....	19
4.3.2.2 Tratamiento secundario.	19
4.3.2.3 Tratamiento terciario.....	19
4.3.3 Según el coste de la explotación.	19
4.3.3.1 Tecnologías de bajo coste, métodos blandos o extensivos.	19
4.3.3.2 Métodos convencionales.	20
4.4 Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)	21
4.4.1 Sistema anaeróbico	22
4.5 Etapas de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) UASB	24
4.5.1 Pretratamiento o tratamiento preliminar	24



4.5.1.1	Rejilla.....	24
4.5.1.2	Desarenador.....	24
4.5.1.3	Canaleta Parshall.....	25
4.5.2	Tratamiento secundario.....	25
4.5.2.1	Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB).....	25
4.5.2.1.1	Biomasa granular.....	29
4.5.2.1.1.1	Factores que influyen en el proceso de granulación.....	29
4.5.2.1.1.1.1	Inoculación del reactor UASB.....	30
4.5.2.1.1.1.2	Características del inóculo.....	30
4.5.2.1.1.1.3	Características del agua residual.....	31
4.5.2.1.1.1.4	Carga orgánica volumétrica.....	31
4.5.2.1.1.1.5	Velocidad ascensional y tiempo de retención hidráulico.....	31
4.5.2.1.1.1.6	Temperatura.....	31
4.5.2.1.2	Arranque de un reactor UASB.....	32
4.5.2.2	Tratamiento de lodos.....	33
4.5.2.2.1	Higienización del lodo.....	36
4.5.2.2.1.1	Lecho de secado.....	37
4.5.3	Tratamiento terciario	39
4.5.3.1	Eliminación de nutrientes en aguas residuales domésticas.....	40
4.5.3.1.1	Lagunas aerobias.....	41
4.5.3.1.2	Lagunas facultativas.....	42
4.5.3.1.3	Lagunas de maduración.....	43
4.5.3.1.4	Lodos activados.....	43
4.5.3.1.5	Filtro Percolador (FP).....	43
4.5.3.1.6	Humedal Artificial.....	44
4.5.3.1.7	Otras tecnologías.....	44
4.6	Población futura.....	47
4.7	La operación y el mantenimiento.....	47
5.	METODOLOGÍA.....	48
5.1	Localización del proyecto.....	48
5.2	Fase metodológica I: Revisión bibliográfica	49
5.3	Fase metodológica II: Recolección de la información.	49
5.3.1	Tasa de crecimiento poblacional y población futura.....	51
5.3.2	Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	51
5.3.3	Carga orgánica volumétrica.....	51
5.3.4	Velocidad ascensional y altura del reactor.....	52
5.3.5	Producción de lodo.....	52
5.3.6	Carga de DQO convertida a metano y producción de biogás.....	53
5.4	Fase metodológica III: Caracterización de la PTAR.....	53
5.5	Fase metodológica IV: Presupuesto	53



5.6 Fase metodológica V: Propuesta final.....	53
6. RESULTADOS	54
6.1 Diagnóstico de las estructuras de la ptar	54
6.1.1 Tratamiento Preliminar o Pretratamiento	56
6.1.1.1 Rejillas.....	56
6.1.1.2 Desarenador.....	57
6.1.1.3 Canaleta Parshall.....	59
6.1.2 Tratamiento secundario.....	59
6.1.2.1 Reactor UASB.....	59
6.1.2.1.1 Proyección de la población para el centro poblando San Luis- Neiva.....	62
6.1.2.1.1.1 Tasa de crecimiento poblacional del área rural y población futura.....	62
6.1.2.1.1.2 Caracterización del agua residual domestica.....	63
6.1.2.1.1.3 Volumen del reactor (Vol).....	63
6.1.2.1.1.4 Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	65
6.1.2.1.1.5 Carga orgánica volumétrica (Cv).....	66
6.1.2.1.1.6 Velocidad ascensional y altura del reactor.....	67
6.1.2.1.1.7 Purga.....	67
6.1.2.1.1.8 Producción de lodo.....	68
6.1.2.1.1.9 Carga de DQO convertida a metano y producción de biogás.....	69
6.1.2.2 Tratamiento de lodos.....	70
6.1.2.2.1 Lecho de secado.....	71
6.1.3 Tratamiento terciario	74
7. PRESUPUESTO.....	77
8. CONCLUSIONES	78
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
10. ANEXOS	87

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Carga volumétrica según la temperatura.....	52
---	----

Tabla 2. Resumen presupuesto planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con reactor UASB centro poblado San Luis Neiva.....	77
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema sistema UASB	20
Figura 2. Esquema sistema fango activado.....	21
Figura 3. Esquema humedal artificial.....	21



Figura 4. Comparación tratamiento anaerobio vs tratamiento aerobio.....	23
Figura 5. Ilustración del proceso interno en el reactor UASB.....	26
Figura 6. Composición del Biogás	28
Figura 7. Diagrama de flujo de producción de lodos primarios y secundarios.....	35
Figura 8. Ejemplo de carga de lodos sobre los lechos de secado.....	39
Figura 9. Ejemplo de extracción de lodos de los lechos de secado.....	39
Figura 10. Ubicación centro poblado San Luis Neiva.....	48
Figura 11. Limpieza general de la PTAR San Luis.....	54
Figura 12. Vista de toda la PTAR San Luis.....	55
Figura 13. Desvío de agua residual a la quebrada Órganos.....	56
Figura 14. Rejilla gruesa y rejilla fina.....	57
Figura 15. Rejilla fina en malas condiciones.....	57
Figura 16. Desarenador.....	58
Figura 17. Pañete deteriorado del desarenador.....	58
Figura 18. Plano perfil desarenador.....	58
Figura 19. Reactor UASB sin tratamiento de gases.....	61
Figura 20. Reactor UASB.....	61
Figura 21. Caja de distribución del caudal.....	62
Figura 22. Plano planta del reactor UASB.....	64
Figura 23. Plano perfil corte A-A' reactor UASB.....	64
Figura 24. Plano perfil corte B-B' reactor UASB.....	65
Figura 25. Ubicación del sistema de purga que presenta el reactor UASB de la PTAR de San Luis -Neiva.....	68
Figura 26. Ilustración perfil del lecho de secado.....	71
Figura 27. Plano perfil lecho de secado.....	72
Figura 28. Lecho de Secado.....	73
Figura 29. Tubería del reactor al lecho de secado.....	73
Figura 30. Humedal cubierto de material vegetal.....	75
Figura 31. Sistema múltiple colector de la salida del humedal.....	75
Figura 32. Plano perfil humedal artificial.....	76

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas de APU (análisis de precios unitarios)	87
Anexo 2. Manual de arranque, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con reactor UASB	117



RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales es de gran importancia por dos razones fundamentales, primero defender la salud pública y el medio ambiente y segundo poder darle una reutilización al agua después de ser tratada para otros fines. Bajo estas razones tan válidas, este proyecto se planteó como objetivo, la evaluación del estado actual de cada una de las partes que componen la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) con UASB del centro poblado San Luis- Neiva, para lo cual, inicialmente se recopiló la información necesaria para entender el modo de operación de la PTAR y las especificaciones de cada una de las estructuras; posterior a esto, se realizaron unas visitas técnicas que permitieron determinar las adecuaciones necesarias y la evaluación del funcionamiento actual del sistema en términos de carga volumétrica, tiempo de retención, velocidad ascensional, producción de lodo, producción de metano y biogás. Obteniendo como resultado un TRH alto de 38,87 hr y una velocidad ascensional baja de 0,1183 m/hr, por lo que no se propicia el lavado de biomasa dispersa o ligera ni se promueve la granulación en el reactor UASB. La carga volumétrica hallada fue de 12,48 kgDQO/m³ día, siendo esta menos de la máxima recomendada, una producción de lodos baja de 5,19 KgSST/día y una producción de biogás baja de 0,1309 m³/día lo que hace que la concentración del lodo en la zona dispersa sea poca, por ende, menor su capacidad de biodegradación. Por último, se realizaron las estimaciones económicas necesarias para la mejora de la instalación, las cuales ascendieron a 99'109.705 millones de pesos colombianos. La PTAR se encontró en malas condiciones funcionales por el deterioro causado por abandono, invasión de maleza, tramos de tubería colapsada y válvulas colmatadas, estructuras en fibra de vidrio en mal estado, sin embargo, la estructura en concreto en general en buen estado.

Palabras claves: Agua residual, evaluación, UASB, PTAR, presupuesto



ABSTRACT

Wastewater treatment is of great importance for two fundamental reasons, first to defend public health and the environment and second to be able to reuse the water after being treated for other purposes. Under these valid reasons, this project was proposed as an objective, the evaluation of the current state of each of the parts that make up the wastewater treatment plant (PTAR) with UASB of the San Luis-Neiva town center, for which, Initially, the necessary information was collected to understand the PTAR's mode of operation and the specifications of each of the structures; After this, technical visits were made that allowed determining the necessary adjustments and evaluating the current operation of the system in terms of volumetric load, retention time, ascent rate, sludge production, methane and biogas production. Obtaining as a result a high TRH of 38.87 hr and a low ascent speed of 0.1183 m / hr, therefore, the washing of dispersed or light biomass is not promoted, nor is granulation promoted in the UASB reactor. The volumetric load found was 12.48 kgDQO / m³ day, this being less than the recommended maximum, a low sludge production of 5.19 KgSST / day and a low biogas production of 0.1309 m³ / day which it makes the concentration of the sludge in the dispersed zone little, therefore, its biodegradation capacity is lower. Finally, the economic estimates necessary for the improvement of the facility were made, which amounted to 99'109,705 million Colombian pesos. The PTAR was found to be in poor functional condition due to deterioration caused by abandonment, weed invasion, collapsed pipe sections and clogged valves, fiberglass structures in poor condition, however, the concrete structure in general in good condition

Key words: Wastewater, evaluation, UASB, PTAR, Budget.



INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural no renovable, importante para los seres vivos, es parte esencial de hombres, animales y plantas en cuyos cuerpos, aproximadamente, el 72% de su peso corporal está constituido por agua. Se ha comprobado que el agua es fuente de vida y todos los seres vivos dependemos de ella, pues la vida, empieza en el agua, además, ha sido utilizada como medio de disolución, transporte interno de los elementos y, es necesaria para el desarrollo vital de los organismos (VARGAS, 2016)

Sin embargo, su disponibilidad disminuye paulatinamente a medida que aumenta su contaminación, esto afecta las condiciones de saneamiento ambiental de una comunidad disminuyendo la calidad de vida de esta. Para disminuir estos índices de contaminación, es indispensable brindar un tratamiento adecuado a las aguas residuales por medio de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) minimizando el impacto del vertimiento de aguas residuales a las fuentes de agua (PINEDA, 2017).

El presente estudio se realizó con el fin de llevar a cabo un diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) del corregimiento San Luis- Neiva, que fue construida principalmente para contribuir a la descontaminación de la quebrada Órganos y posteriormente el río Aipe, fuente principal del municipio de Aipe.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La planta de tratamiento de agua residual del corregimiento de San Luis se encuentra sin funcionamiento evidenciando deterioro, crecimiento de material vegetal y algunas partes que aparecen en el plano de la construcción que no se encuentran. Esta instalación, en su momento funcionó, pero colapsó, ya que no se tuvo nunca un manual de operación, ni una persona capacitada para realizar los mantenimientos preventivos necesarios para la operación de la PTAR. Por lo tanto, el agua residual de uso doméstico y agrícola del corregimiento, se está vertiendo directamente a la quebrada Órganos, la cual luego va a desembocar en el río Aipe, siendo este un gran problema ambiental causando degradación del ecosistema, de la salud y calidad de vida ya que el río Aipe es la fuente de abastecimiento principal para los habitantes del Municipio Aipe.

Por esta razón se realizaron visitas que permitieron evaluar el estado actual de cada una de las partes de la PTAR en términos de los parámetros de diseño y así hacer una estimación económica de los materiales y adecuaciones necesarias para una nueva puesta en marcha.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué acciones son necesarias y cuál es el coste económico para adecuar la PTAR actual y asegurar su óptimo funcionamiento?



2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el estado actual de la planta de tratamiento de aguas residuales y proponer las actividades necesarias para garantizar la funcionalidad de la PTAR del centro poblado corregimiento de San Luis municipio de Neiva.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el estado de todos los sectores componentes de la PTAR: canal de aproximación, rejillas, desarenador, canaleta Parshall, reactor UASB, lecho de secado de lodos y humedal artificial para establecer la caracterización de la problemática encontrada de cada una de ellas.
- Determinar los cálculos en términos de parámetros de diseño con el fin de comprobar si el sistema cumple con los requisitos mínimos de funcionamiento de un reactor UASB.
- Ejecutar el presupuesto de las obras necesarias para optimizar la PTAR.
- Presentar recomendaciones pertinentes, referente al modo de operación y mantenimiento de la PTAR que garantice el funcionamiento de manera adecuada y segura.



3. JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales, debido a la gran cantidad de sustancias (algunas de ellas tóxicas) y microorganismos que portan, pueden ser causa y vehículo de contaminación, en aquellos lugares donde son evacuadas sin un tratamiento previo.

La polución del agua es una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia y peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca, las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural. Esto sería una consecuencia ineludible del desarrollo y la civilización; ya que conforme aumenta el desarrollo de las poblaciones, se incrementa a su vez la diversidad de los agentes contaminantes procedentes de actividades agrícolas, industriales y urbanas, que el hombre no se preocupa de destruir o reciclar, o no lo hace en la magnitud suficiente. De esta forma, se acaba saturando el poder autodepurador del medio natural (García y Pérez, 1985).

La descarga del agua residual del corregimiento de San Luis- Neiva se está realizando directamente a la quebrada Órganos y al río Aipe por no encontrarse en condiciones de funcionamiento la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) construida allí, por esta razón es muy importante realizar un diagnóstico de su estado actual y así plantear soluciones para su posterior puesta en marcha evitando la contaminación que se está emitiendo claramente al ecosistema y a la salud de la población aguas abajo.



4. MARCO TEÓRICO

4.1 HISTORIA DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

Antes del neolítico, cuando se era cazador – recolector, en el mundo todo era renovable. El agua potable fluía de manantiales y arroyos, y los asentamientos solo tenían una premisa: tener un acceso al agua cercana. Se aprovechaba al máximo todo lo que se daba en el entorno y retornaba por medio de orina y heces con un puñado de huesos y cáscaras de nueces que se integraban al ciclo de la naturaleza. En este sentido, no había muchas diferencias con el resto de las especies (Morillo, 2017).

Todo cambió radicalmente cuando los humanos tomaron el papel de productores y comerciantes. Ocurrió en el neolítico, hacia 8.500 a.C. Los procesos productivos y comerciales se concentraron en núcleos de población creciente y sedentaria: las ciudades, agrupaciones humanas de alta densidad demográfica que concentraron el comercio, el poder político, la producción artesanal, los desechos y las heces (Morillo, 2017).

La primera instalación de saneamiento fue el pozo ciego o pozo negro que apareció en Babilonia hacia 4000 a.C. una simple excavación en el suelo donde concentrar los excrementos que pronto se generalizó a otras ciudades del imperio y zonas rurales. Los babilonios ya habían desarrollado una hidráulica incipiente para el transporte del agua y aplicaron pronto sus conocimientos a la conducción de las heces a los pozos negros mediante el baldeo y las primeras tuberías de arcilla (Morillo, 2017).

Ya por entonces el suministro de agua había llegado a las ciudades, pero no fue hasta 3000 a.C. que en la ciudad de Mohenjo-Daro, en el valle del Indo (en el actual Pakistán), aparecieron los primeros edificios con letrinas conectadas a alcantarillas en las calles. Los ciudadanos baldeaban con agua sus letrinas y las alcantarillas recogían el agua residual y la llevaban al pozo ciego o al río Indo. El problema había crecido en complejidad y magnitud, y se empezaba a contaminar sistemáticamente los cursos de agua (Morillo, 2017).

En la Grecia antigua, ante la ausencia de ríos caudalosos, surgió una primera aplicación de las aguas negras a la fertilización agrícola. En algunas ciudades las alcantarillas llevaban las aguas negras a las afueras de la ciudad hacia un vertedero desde el que se transportaban por conductos a los campos de cultivo (Morillo, 2017).

En el Imperio Romano, el concepto de higiene evolucionó y se impusieron normas para separar las aguas negras mediante alcantarillas en las calles. También la letrina evolucionó y se generalizó la de asiento, en sustitución del sistema usual hasta entonces de defecar de cuclillas. Sin embargo, la población continuó tirando



los excrementos a la calle hasta 100 d.C., cuando un decreto obligó a conectar los hogares a las alcantarillas, que experimentaron una gran evolución (Morillo, 2017).

Durante aquella época tuvo lugar otro paso importante: la separación de lo que hoy denominamos aguas grises de las negras. Las primeras, aguas residuales de los baños y termas, se reutilizaron para baldear las letrinas públicas, que se convirtieron en un centro de reunión social: muchos romanos conversaban animadamente mientras se aliviaban (Morillo, 2017).

En aquella época el concepto de higiene estaba todavía alejado del de desinfección. Las aguas negras se evitaban más por su mal olor que porque hubiera una conciencia de su insalubridad y finalmente acababan en el río Tíber (Morillo, 2017).

Durante la Edad Media se olvidaron los avances romanos en saneamiento. Tan solo en pocas ciudades, como París, se conservaron algunas estructuras del alcantarillado romano que pronto fueron absorbidas por el crecimiento urbano desordenado. Las ciudades amuralladas instalaron los pozos ciegos, que pronto quedaron saturados, como única estructura de saneamiento, y se instauró entre la población la práctica de arrojar los excrementos a la calle y fuera de las murallas (Morillo, 2017).

Las ratas prosperaron entre los excrementos y se desencadenaron epidemias de cólera y peste que causaron la muerte del 25 % de la población medieval europea. Pero se siguió sin realizar avances en saneamiento. Las ciudades eran pútridas y la máxima norma de higiene se practicaba en las zonas rurales en las que los campesinos enterraban sus heces en un agujero (Morillo, 2017).

En esta época oscura en Europa, tan solo las ciudades árabes de la península ibérica instauraron normas de saneamiento con el fin de mantener separados los tres tipos de aguas: las pluviales, que eran las imprescindibles para la vida; las grises, que provenían de las actividades domésticas, y las fecales. La cultura árabe, nacida en una climatología difícil, valoraba el agua de lluvia como un don divino y esta se conducía cuidadosamente a los aljibes para su preservación y posterior uso. Las aguas residuales domésticas se podían evacuar desde los patios de las casas por conducciones subterráneas o superficiales, mientras que las fecales, debían de tener una conducción independiente hacia los pozos ciegos donde se mezclaban con las residuales (Morillo, 2017).

Ya en el siglo XIX con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas, llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. A pesar de que existían reservas respecto a estos por el desperdicio de recursos que suponían, los riesgos para la salud que planteaban y su elevado precio, fueron muchas las ciudades que los construyeron. A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la



construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales (Morillo, 2017).

Para el tratamiento en instalaciones públicas se adoptó primero la técnica del filtro de goteo. Durante la segunda década del siglo, el proceso del lodo activado, desarrollado en Gran Bretaña, supuso una mejora significativa por lo que empezó a emplearse en muchas localidades de ese país y de todo el mundo. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo industrializado la cloración, un paso más significativo del tratamiento químico (Morillo, 2017).

4.1.1 LATINOAMÉRICA

La experiencia de dos países latinoamericanos debe ser destacada, la de Colombia y Brasil, que fueron los países pioneros en el mundo en la definición del potencial de aplicación de la tecnología anaerobia con reactores UASB para el tratamiento de ARD en condiciones de clima tropical: la primera planta piloto de 64 m³ fue construida en Cali, Colombia en el año 1982 para tratar un ARD con características de agua residual diluida, habiéndose obtenido a una temperatura de 25 °C resultados satisfactorios, con eficiencias de reducción de DQO y DBO mayores de 75 % (Schellinkhout et al., 1985; Lettinga et al., 1987). Posteriormente se construyó la primera planta en escala real del país, la PTAR Vivero para una población equivalente de 20 mil habitantes (Sterling y Mora, 1998) y luego la Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga –CDMB– (Schellinkhout et al., 1985) construyó la planta de mayor escala del país con esta tecnología (población equivalente a 300 mil habitantes) que en la actualidad reporta eficiencias de reducción para DBO₅ del 73 % (Aparicio, 2008). En Brasil se destacan los estudios en escala piloto adelantados por Vieira y García (1992) en un reactor de 120 m³ y Van Haandel y Lettinga (1994) en un reactor de 160 m³.

Estas experiencias fueron el referente mundial para la difusión e implementación de la tecnología UASB aplicada al tratamiento anaerobio de aguas residuales (ARD), siendo Brasil, México y Colombia los países que han hecho mayor aplicación de la tecnología en América Latina. Otros países como Egipto, Islas Mauricio, China e India la han implantado a partir de los resultados latinoamericanos (Wiegant, 2001). A temperaturas mayores de 20 °C y TRH entre 6 y 10 horas, se han obtenido eficiencias de reducción de 65 a 80 % de DBO y DQO y de 67 a 90 % de SS (Wiegant, 2001; Foresti, 2002; van Haandel et al., 2006). En 2006, van Haandel et al. desarrollaron, a partir de datos experimentales, expresiones empíricas para la reducción de DQO que confirman que el reactor UASB es uno de los más eficientes entre varias modalidades de tratamiento anaerobio, con menores TRH requeridos para alcanzar la misma eficiencia, comparado con la laguna anaerobia y el filtro anaerobio y con valores similares al de un reactor de lecho expandido.



4.2 ¿QUÉ ES UN AGUA RESIDUAL?

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Lizarazo y Orjuela, 2013).

El agua residual municipal fresca y aerobia tiene olor a queroseno y color gris. El agua residual con más tiempo de haber sido generada es séptica y pestífera; su olor característico es a sulfhídrico, similar al de los huevos podridos. El agua residual séptica es de color negro (Lizarazo y Orjuela, 2013).

Las aguas residuales domesticas (ARD) contienen material suspendido y disuelto orgánico e inorgánico que, de acuerdo con el tipo de constituyente, se clasifican en: i) Convencionales (sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica carbonácea, nutrientes y microorganismos patógenos); ii) No convencionales (orgánicos refractarios, orgánicos volátiles, surfactantes, metales, sólidos disueltos) y iii) Emergentes (medicinas, detergentes sintéticos, antibióticos veterinarios y humanos, hormonas y esteroides, etc.). Los no convencionales y los emergentes pueden encontrarse en las aguas residuales, debido a la predominancia de sistemas de alcantarillado combinado y ante todo a la potencial mezcla con agua residual industrial –ARI– (Metcalf y Eddy, 2003).

El ARD presenta valores de pH alrededor de la neutralidad, con una demanda bioquímica de oxígeno –DBO– constituida por 40 a 60 % de la demanda química de oxígeno –DQO–, la cual en general varía entre menos de 250 y 800 mg/L (Mendonça, 2000). Los sólidos suspendidos (SS) varían entre 100 y 400 mg/L y pueden contribuir con un 30 a 70 % de la DQO; los nutrientes varían entre 10 y 100 mg N/L, 5-25 mg P/L y 10-40 mg K/L (Mara y Cairncross, 1990).

Las aguas residuales domésticas se caracterizan por su elevada concentración de partículas en suspensión, materia orgánica, nutrientes, compuestos antropogénicos y patógenos que pueden causar eutrofización con daños a la vida acuática y la calidad de las fuentes hídricas (Gómez, Salazar, Uribe, & Zafra, 2019).

La cantidad de los constituyentes de las aguas residuales varía dependiendo del porcentaje y tipo de desechos industriales presentes y de la dilución ocasionada por la entrada de agua subterránea que se infiltra a la red de alcantarillado (Lizarazo y Orjuela, 2013).



4.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTOS

La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales, o de la combinación adecuada de ellos, depende principalmente de:

- Las características del agua cruda.
- La cantidad requerida del efluente.
- La disponibilidad de terreno.
- Los costos de construcción y operación del sistema de tratamiento.
- La confiabilidad del sistema de tratamiento.
- La facilidad de optimización del proceso para satisfacer requerimientos futuros más exigentes

La mejor alternativa de tratamiento se selecciona con base en el estudio individual de cada caso, de acuerdo con las eficiencias de remoción requeridas y con los costos de cada una de las posibles soluciones técnicas (Cabezas, 2013).

Los diferentes sistemas usados en el tratamiento de las aguas residuales, se pueden clasificar según los siguientes criterios (Pérez, 1998):

4.3.1 Según el medio de eliminación de los contaminantes

Los contaminantes del agua residual se pueden eliminar por medios físicos, químicos y biológicos. Normalmente, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) combinan diversos procesos con el objetivo de cumplir con la legislación vigente en términos de eliminación de materia orgánica y nutrientes. A efectos de clasificación se considera el efecto predominante.

4.3.1.1 Procesos físicos.

Son métodos de tratamiento en los que predominan la acción de las fuerzas físicas (aplicación de fuerzas gravitatorias, centrifugas, retención física, etc.) se conocen como procesos físicos. En este grupo se pueden incluir: desbaste de sólidos, desengrasado, desarenado, sedimentación, flotación, evaporación, desinfección, absorción (aireación) y filtración.

4.3.1.2 Procesos químicos.

Métodos en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas. Entre estos podemos incluir: floculación y coagulación, neutralización, oxidación, reducción, intercambio iónico, adsorción, desinfección (cloro, ozono) y precipitación.



Los métodos físicos y químicos son menos aconsejables desde el punto de vista económico que los métodos biológicos, por el aporte continuo de reactivos y el tiempo de operación que requieren (Crombet, Abalos y Rodríguez, 2016).

4.3.1.3 Procesos biológicos.

Son métodos de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica. La principal aplicación de los procesos biológicos es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en forma, tanto como coloidal, como en disolución. Básicamente, estas sustancias se convierten en gases, que se liberan a la atmósfera, y en tejido celular biológico, eliminable por sedimentación. Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso del agua residual doméstica, el principal objetivo es la reducción de la materia orgánica presente y, en muchos casos, la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (Sánchez, 2016).

Los procesos biológicos son modalidades de tratamiento más competitivas que los físico-químicos, porque, además de un cambio en el estado de la materia orgánica, ocurre una reducción real o su estabilización (Noyola, 1998).

Los procesos biológicos se clasifican según el medio en el que se encuentran los organismos y según el aceptor de electrones presentes en el medio.

- Según el medio en el que se encuentran los organismos se clasifican en: procesos de cultivo en suspensión y procesos de soporte fijo. En los cultivos en suspensión los microorganismos se encuentran suspendidos en el medio líquido y en los de soporte fijo los microorganismos se encuentran sobre un soporte sólido inerte.
- Según el aceptor de electrones presente en el medio se clasifican fundamentalmente en: aerobios (fangos activados, filtros aerobios, biodiscos, lagunas aireadas) y anaerobios (UASB, mono-etapa, filtros anaerobios, reactores de lecho fluidizado, reactores anaerobios de membrana) (Sánchez, 2016) (Ramírez, 2016).

4.3.2 Según la fase de depuración.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales podemos clasificarlos en función de los rendimientos alcanzados en el proceso de depuración o según la fase de depuración en la que se sitúan. Esta clasificación es quizás la más utilizada, aunque como en el caso anterior, no siempre es posible encuadrar un tratamiento dentro de una fase concreta, o la fase de depuración se adopta por extensión para denominar el proceso completo.



4.3.2.1 Pretratamiento y tratamiento primario.

El pretratamiento es común a todos los sistemas de depuración, sólo varía en los niveles de automatización que incorpora. No se considera un tratamiento propiamente dicho, pero su utilidad en cabeza de las instalaciones de depuración, está demostrada al eliminar elementos presentes en estas aguas, que, de entrar en el proceso, podrían comprometer gravemente su funcionamiento (sólidos flotantes, arenas, grasas, aceites, etc.). Puede incluir: desbaste de sólidos, desarenador, desengrasador, decantación primaria y lagunaje anaerobio.

4.3.2.2 Tratamiento secundario.

Suele ser de naturaleza biológica, incorporándose, normalmente, a la línea de tratamiento de una planta depuradora, después del tratamiento primario. Pueden citarse los siguientes: fangos activos, lagunaje facultativo, lagunas aireadas, lechos de turba, reactores anaerobios, tanques sépticos y biodiscos. Todos ellos constituyen ejemplos de tratamiento secundario del agua residual, aunque, por extensión, dan nombre a sistemas de tratamiento completos.

4.3.2.3 Tratamiento terciario.

De naturaleza biológica o físico-química, reúne un conjunto de instalaciones de tratamiento que, normalmente, se sitúan detrás del tratamiento secundario. Se incluyen: procesos de nitrificación-desnitrificación, procesos de eliminación de fósforo, biodiscos y lechos bacterianos, lagunaje de maduración, lagunas de macrófitas, filtros verdes y sistemas de aplicación al suelo en general, filtros y ultrafiltración, ozonización y radiación ultravioleta.

4.3.3 Según el coste de la explotación.

En esta clasificación no se tienen en cuenta ni el tipo de proceso unitario ni las fases que integran un proceso de depuración, por el contrario, se realiza una ordenación de los diferentes sistemas en dos grupos según las necesidades de explotación y mantenimiento que requieren.

4.3.3.1 Tecnologías de bajo coste, métodos blandos o extensivos.

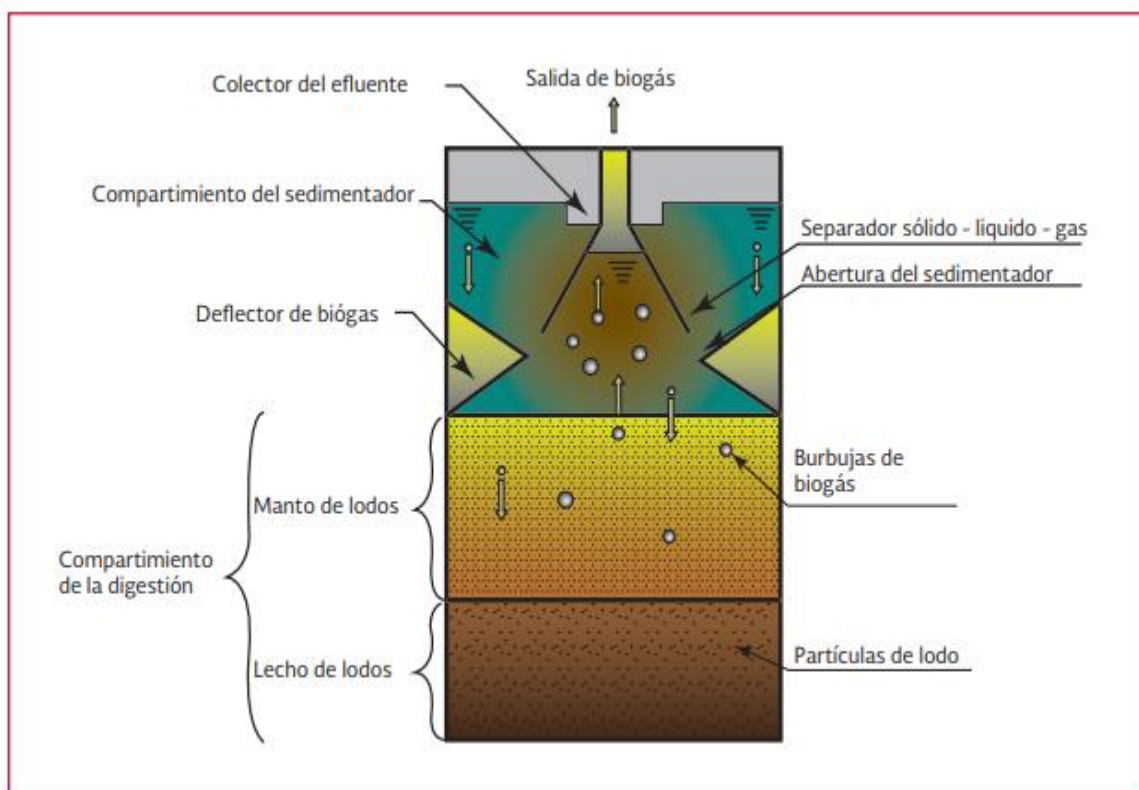
La base de estos sistemas es la reproducción de los fenómenos de depuración naturales con vistas a una mayor facilidad de manejo y, por lo tanto, a lograr unos menores costes de mantenimiento. Sus características básicas son: facilidad de operación y mantenimiento, no necesitan de personal especializado, requieren grandes tiempos de respuesta, son procesos de gran inercia, tienen grandes requerimientos de superficie, el equipamiento es sencillo, tienen bajos costes energéticos, buena integración en el medio rural, rendimientos en descontaminación buenos-aceptables y son muy adecuados en reutilización agrícola. Dentro de estos sistemas podemos destacar: lagunaje, lagunas de macrófitas, aplicación al suelo y



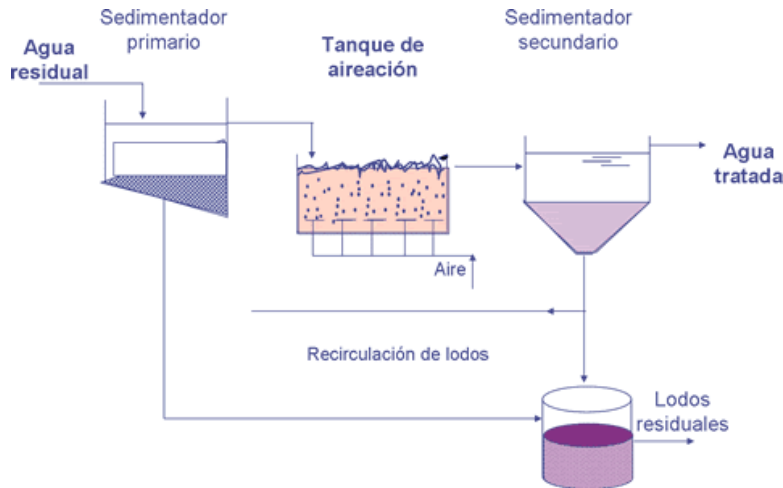
filtros verdes, lechos de turba, lechos bacterianos y contactores biológicos rotativos (biodiscos y biocilindros).

4.3.3.2 Métodos convencionales.

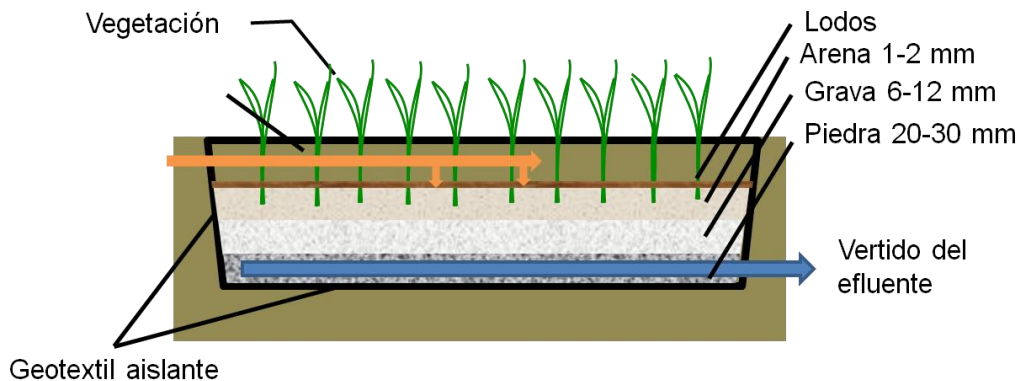
Se incluyen aquí los métodos tradicionales de depuración cuya base de funcionamiento son también los procesos naturales de depuración, pero bajo una concepción distinta; son sistemas intensivos, tienen bajos requerimientos de espacio, pero precisan aporte de energía para el proceso y necesitan de control preciso. Son procesos de poca inercia, por lo que cualquier problema se manifiesta de forma inmediata en los resultados. Se caracterizan por: requieren mano de obra especializada, tienen alto coste de explotación, baja integración en el medio rural, obtiene buenos resultados en depuración y adaptación media-baja a reutilización. Algunos de ellos es sistema UASB (ver figura 1), sistema fango activado (ver figura 2) y humedal (ver figura 3).



CONAGUA. (2015). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (**Figura 1**). Esquema sistema UASB



Hazen y Sawyer (2011). Producto Final – Anexo No. 7 Lodos Activados (**Figura 2**). Esquema sistema fango activado



Morel y Diener (2006). Tratamientos Secundarios: Humedal Sub superficial de Flujo Horizontal (**Figura 3**). Esquema humedal artificial

4.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales (eliminar del agua residual los contaminantes presentes: materia orgánica, sólidos y nutrientes N y P) hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o su aprovechamiento mediante el reúso.



En el tratamiento de las aguas residuales es común la utilización de procesos biológicos para la remoción de la materia orgánica y otras sustancias contaminantes.

El tratamiento biológico, en general, se puede desarrollar a través de dos vías dependiendo de la disponibilidad de oxígeno disuelto en el medio acuático: aerobia o anaerobia (Metcalf y Eddy, 2003). En ambos casos la materia orgánica medida en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) o Carbono Orgánico Total (COT) es degradada por microorganismos y los productos finales dependerán de la ruta seleccionada (Romero, 1999).

Dentro de los procesos anaerobios de tipo compacto, el conocido como reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (UASB), es, sin duda, el más aplicado a nivel mundial en aguas residuales industriales. En aguas de tipo municipal, es también una tecnología con bastante aplicación, particularmente en Brasil, Colombia, India y México (Vásquez, 2013). Es así como en el corregimiento San Luis cuenta con una PTAR basada en un reactor anaerobio UASB.

4.4.1 Sistema anaerobio

En la planta de tratamiento de San Luis realiza el proceso biológico a través de un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB), por esta razón se especifica en este apartado los sistemas anaeróbicos.

El tratamiento anaerobio es un proceso biológico en ausencia de oxígeno, que busca la remoción de carga contaminante mediante un consorcio de microorganismos que realizan los procesos de hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis de la materia orgánica presente; y la convierten en lodo y biogás compuesto por metano (CH_4) y dióxido de carbono CO_2 , y trazas de H_2 , N_2 , O_2 y gas sulfhídrico (Gómez, Salazar, Uribe, & Zafra, 2019).

La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica; como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido (Ver figura 4) (Caro, 2014).

Estos sistemas presentan una serie de ventajas como:



-Consumen menos energía que los aerobios y producen biogás (fundamentalmente $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) que puede utilizarse como combustible (Ver figura 4).

-La producción de fangos por kg de materia orgánica eliminada es inferior a la de los procesos aerobios (del orden de 10 veces menos) igualmente la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) es baja comparada con la de los procesos aerobios (Sánchez, 2016) (Torres, 2012).

-El lodo anaerobio puede permanecer sin alimento mucho tiempo.

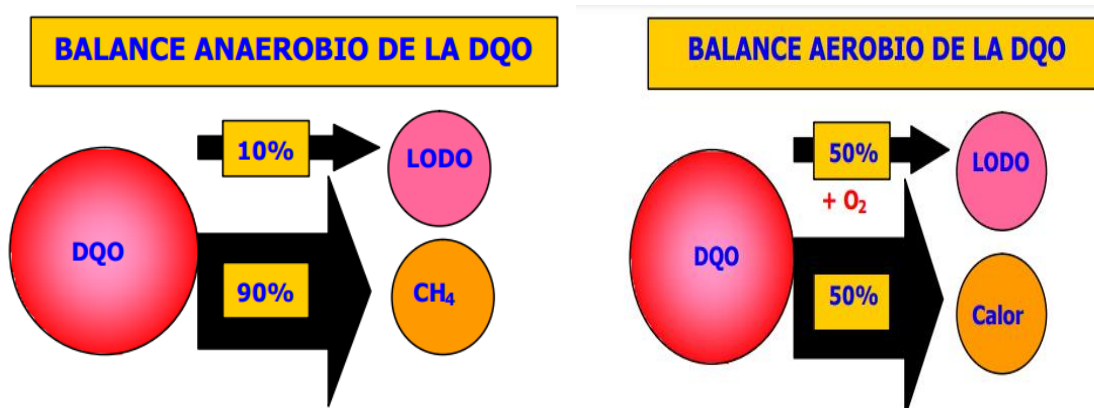
-La implementación del sistema anaerobio es de menor costo de instalación, no es necesario suministrar oxígeno por lo que el proceso es más económico, se puede implementar en sistemas compactos que requieren menor área de terreno (Crombet, Abalos y Rodríguez, 2016).

No obstante, los procesos anaerobios presentan desventajas como:

-La separación física por sedimentación se hace extremadamente compleja, en comparación con los tratamientos aerobios, debido a que, en los procesos anaerobios, los flóculos formados son más pequeños, y, por tanto, su velocidad de sedimentación es menor.

- Los sistemas anaerobios son muy sensibles a las variaciones de temperatura y pH (Ardila, Aguirre, Mora y Rodríguez; 2018), requieren de un mayor tiempo de contacto o retención hidráulica, así como más tiempo de aclimatación lo que impide el tratamiento de grandes volúmenes de aguas residuales y dificultades para tratar aguas residuales con bajas cargas orgánicas (Crombet, Abalos y Rodríguez, 2016).

..



Jenny Alexandra Rodriguez (2021) TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES (**Figura 4**). Comparación tratamiento anaerobio vs tratamiento aerobio



4.5 ETAPAS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR) BASADO EN UN REACTOR ANAEROBIO UASB

En países con grandes problemas de saneamiento y pocos recursos, como los que están en vías de desarrollo, se requieren plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas –PTARD– apropiadas y sostenibles; dado que estos países se localizan en general en regiones de clima tropical y subtropical (temperaturas superiores a 20 °C, la digestión anaerobia es una tecnología clave que genera subproductos con valor agregado (bioenergía, nutrientes y agua para reúso) y comprende unas etapas para la depuración de esas aguas residuales que se mencionan a continuación:

4.5.1 Pretratamiento o tratamiento preliminar

Para que los reactores UASB puedan tener un adecuado funcionamiento se hace necesario la instalación de tratamientos previos al agua residual ya sea doméstica o industrial. En el caso del tratamiento del agua residual doméstica, las plantas de tratamiento cuentan con sistemas de desarenadores y cribados (rejilla) indispensables para la remoción de arenas y sólidos gruesos. Las aguas residuales domésticas o municipales por su naturaleza no requieren la adición de nutrientes porque dichos elementos están presentes en cantidades suficientes para garantizar el proceso biológico (Galeano Y Rojas, 2016). Estos tratamientos previos son la rejilla, el desarenador y la canaleta Parshall.

4.5.1.1 Rejilla.

Las rejas o rejillas son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas las cuales se ubican transversalmente al flujo, y se colocan antes del desarenador, sin alterar el flujo normal. Las barras pueden ser rectas o curvadas. Su finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente grandes, que estén en suspensión o flotantes. Las rejas por lo general son la primera unidad de una planta de tratamiento (Pineda, 2017).

4.5.1.2 Desarenador

El desarenador es una cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena) y otros materiales no orgánicos tales como guijarros, huesos, etc. Este se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 2 mm. Los desarenadores pueden ser rectangulares o circulares; de flujo horizontal o helicoidal; aireados o no; de limpieza manual o mecánica. Tienen como función prevenir la abrasión de equipos mecánicos, evitar la sedimentación de arenas en tuberías, canales y tanques ubicados aguas abajo (Lizarazo y Orjuela, 2013).



4.5.1.3 Canaleta Parshall

La canaleta Parshall es un tipo de medidor perfeccionado del de Venturi. Es un dispositivo de aforo bastante exacto con la ventaja de que su costo es menor. La canaleta Parshall ha sido empleada como dispositivo de medición de gastos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, instalaciones en las que el bajo costo es cuestión de importancia. Ha resultado un medio de aforo satisfactorio y también muy útil para verificar la velocidad en los desarenadores. La ventaja del canal Parshall que lo hace ser el más utilizado, es que su forma no permite la acumulación de sólidos en ninguna parte del canal (Pineda, 2017).

4.5.2 Tratamiento secundario

Está conformado por un tratamiento anaerobio (Reactor UASB) y tratamiento de lodos.

4.5.2.1 Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB)

El concepto UASB (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente y Manto de Lodos) apareció como una opción viable para el tratamiento de efluentes orgánicos líquidos. Ahora es aplicado mundialmente para el tratamiento de efluentes cloacales en países de clima tropical (Lettinga y colaboradores, 1980). En climas templados subtropicales no ha sido utilizado, principalmente por limitaciones de temperatura, la cual afecta la velocidad de hidrólisis de la materia orgánica y reduce la eficiencia del tratamiento.

Los objetivos del reactor UASB son la remoción de la materia orgánica fácilmente biodegradable expresada como DBO o DQO, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. La estabilización de la materia orgánica por este método es uno de los más antiguos que se lleva a cabo por microorganismos, constituidos principalmente por bacterias transformándola a compuestos más simples ya antes mencionados en el proceso anaerobio (Orozco, Triviño y Manrique, 2014).

Las características principales del reactor UASB incluyen una alta acumulación de masa biológica o manto de lodo floculento con buena capacidad de sedimentación en el interior del reactor donde se realiza la actividad biológica, es de flujo ascendente, actividad intensa, un alto tiempo de residencia celular (o edad del lodo) y un bajo tiempo de detención hidráulica. La alta edad del lodo, por lo general más de 30 días, es una indicación de que se está produciendo una menor cantidad de lodo en exceso (Jordão & Além, 2004).

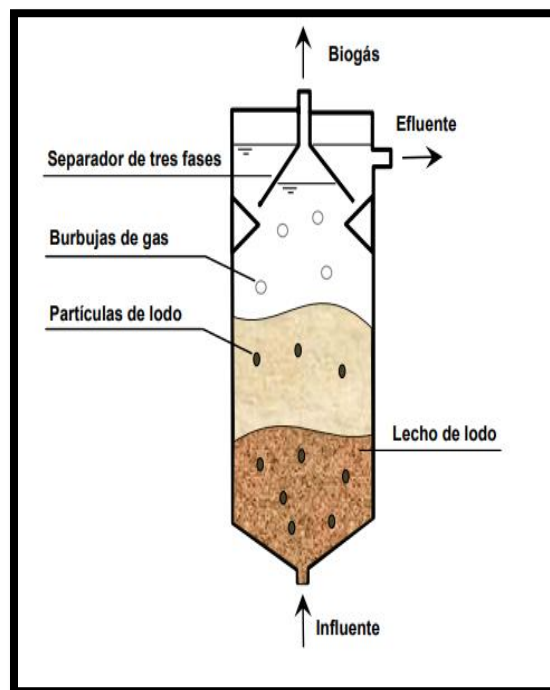
En el reactor se da un proceso anaerobio el cual ofrecen muchas ventajas derivadas del bajo consumo de energía, así como de la recuperación potencial de energía a gran escala, baja producción de lodos, simplicidad en su operación, bajos requerimientos de área, capacidad de almacenar lodos por largos periodos y, diseño simple (Crombet, Rodríguez, Pérez y Rodríguez, 2015; CONAGUA, 2015).



El reactor cuenta con unos módulos que se inoculan, por lo que se forma un lecho de lodo altamente concentrado en el fondo del reactor, el lodo es denso y con excelentes características de sedimentación. Seguido de este se forma un área de crecimiento bacteriano más disperso, con sólidos que presentan una concentración y velocidades de sedimentación bajas. La concentración del lodo en esta área normalmente varía entre el 1,5 y el 3%. El sistema se encuentra en agitación debido al movimiento ascendente de las burbujas de biogás y al flujo de la alimentación a través del reactor (Nogués, García y Rezeau, 2008) (INDITEX, 2015).

El lodo es arrastrado por el movimiento ascendente de las burbujas de gas, siendo necesaria la instalación de un separador de tres fases (gas, sólido y líquido) (campana en fibra de vidrio) en la parte superior del reactor, para permitir la retención y devolución del lodo (INDITEX, 2015).

Alrededor y encima del separador de tres fases existe una zona para la sedimentación, donde el lodo más pesado se elimina de la masa de líquido y se devuelve al compartimento de digestión, mientras que las partículas más ligeras abandonan el sistema conjuntamente con el efluente final (ver Figura 5) (INDITEX, 2015). El gas libre y el gas liberado de las partículas se capturan en una bóveda de recogida de gases, instalada en la parte superior del reactor (Lorenzo y Obaya, 2006).



INDITEX (2015) REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB) SERIES: TRATAMIENTO BIOLÓGICO (**Figura 5**). Ilustración del proceso interno en el reactor UASB



La entrada al reactor UASB se realiza por medio de una caja de distribución de caudales donde se conectan mangueras que se extienden hasta la parte inferior, esta distribución uniforme del afluente es muy importante en los reactores UASB para asegurar un buen régimen de mezcla y para reducir la aparición de zonas muertas en el lecho de lodo (INDITEX, 2015).

El efluente se recoge del reactor por su parte superior, en la zona de sedimentación. El dispositivo utilizado para la recogida es un tubo perforado sumergido (INDITEX, 2015).

Los reactores de flujo ascendente de manto de lodo para las aguas domésticas operan con cargas orgánicas entre 1 y 2 kg DQO/m³. día, con eficiencias de remoción de hasta 85 %, a temperatura ambiente. Igualmente se citan, en la bibliografía, cargas tan altas como 50 kg DQO/m³. día y esto hace que el proceso resulte también interesante para el tratamiento de aguas residuales industriales orgánicas (con un alto contenido de DQO por unidad de volumen) (Lorenzo y Obaya, 2006).

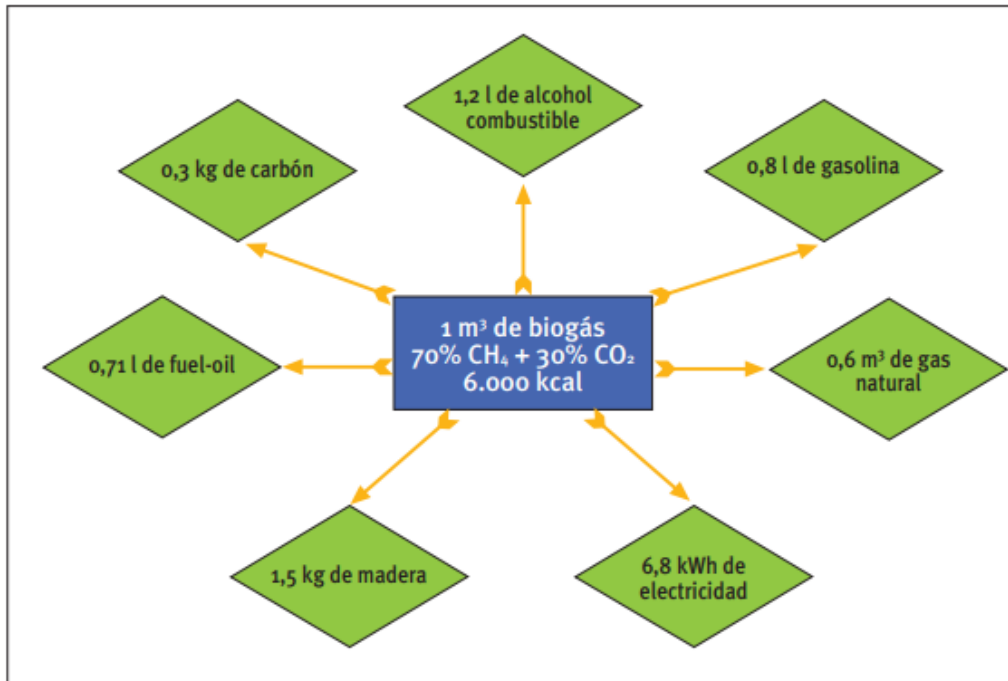
El biogás producido en el reactor debe ser recogido, medido y, posteriormente, usado o quemado (INDITEX, 2015). El sistema de eliminación de biogás de la interfase líquido-gas dentro del reactor consiste en:

- Tubería de recolección
- Compartimento sellado hidráulicamente y purga de biogás
- Medidor de biogás
- Depósito de biogás

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2011). La composición del biogás depende del material digerido y del tipo de tecnología utilizada, puede ser la siguiente:

- 50-70% de metano (CH₄).
- 30-40% de anhídrido carbónico (CO₂).
- ≤ 5% de hidrógeno (H₂), ácido sulfhídrico (H₂S), y otros gases.

Debido a su alto contenido en metano, tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5.500 kcal/Nm³ (6,4 kWh/Nm³). Es decir, salvo por el contenido en H₂S, es un combustible ideal, con unas equivalencias que se muestran en la figura 6 (FAO, 2011).



Ávila et.al (2018) Guía para el instalador de plantas de biogás de mediana y gran escala (**Figura 6**). Composición del Biogás

El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), 2007):

- En una caldera para generación de calor o electricidad.
- En motores o turbinas para generar electricidad.
- En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de H₂S y otros contaminantes de las membranas.
 - Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural.
 - Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como es el metanol o el gas natural licuado.
- Combustible de automoción.

El biogás, además de metano tiene otra serie de compuestos que se comportan como impurezas: agua, sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles como hidrocarburos halogenados, siloxanos, etc. Por tanto, es necesaria la limpieza del combustible, dependiendo del uso final. Una aplicación tipo de la digestión anaerobia es en las granjas de ganado bovino y porcino de gran tamaño o como planta comarcal de gestión de residuos en zonas de alta concentración de ganado estabulado, por el gran problema que generan los purines. En este caso se puede proponer y proyectar una planta de digestión anaerobia de



producción de biogás como auto abastecimiento energético según las necesidades (IDEA, 2007).

4.5.2.1.1 Biomasa granular

La granulación anaerobia es un proceso natural en el que los microorganismos se compactan en una estructura esférica o elipsoidal formando un ecosistema o consorcio microbiano con una arquitectura interna característica. Los gránulos anaerobios se caracterizan 1) por su alta actividad metanogénica específica, presentando valores típicos entre 0.3 y 1.2 g DQO-CH₄ g SSV-1 d, aunque se han reportado fangos con actividades mayores a 2.0 g DQO-CH₄ g SSV-1 d⁻¹; 2) por su alta velocidad de sedimentación, que se encuentra en el intervalo comprendido entre 15 y 50 m h⁻¹; y 3) por su tamaño, con valores típicos entre 0.15 y 4.0 mm. La presencia de estos consorcios se considera un requisito previo para la operación adecuada de los reactores anaerobios de lecho granular. Considerando que la degradación de la materia orgánica en ambientes metanogénicos requiere la interacción sintrófica de diferentes grupos de microorganismos, la formación de agregados reduce la distancia entre las comunidades microbianas favoreciendo el transporte de metabolitos, lo cual resulta en altas velocidades de degradación. El desarrollo de gránulos también provee una mayor resistencia al efecto perjudicial de concentraciones altas de compuestos intermediarios, a la variación de factores ambientales como el pH, la temperatura y el potencial redox, y a la presencia de compuestos tóxicos o inhibidores en el agua residual, como metales pesados, compuestos xenobióticos u oxígeno (Torres,2018).

4.5.2.1.1.1 Factores que influyen en el proceso de granulación

La obtención de un fango granular anaerobio con buenas características fisicoquímicas en un tiempo relativamente corto es de gran interés en la puesta en marcha de reactores de lecho granular, en particular del reactor UASB. No obstante, como se ha señalado, el prolongado periodo de puesta en marcha de este tipo de sistemas cuando se emplea como inóculo un fango en suspensión es uno de sus mayores inconvenientes, ocasionando costos operacionales adicionales y comprometiendo la calidad del efluente que se desea descargar. Dicho inconveniente puede superarse mediante el uso de un inóculo granular procedente de un sistema en operación, tal como se ha demostrado en la puesta en marcha de reactores EGSB o de circulación interna. Sin embargo, la disponibilidad de fango granular es limitada y los costes de adquisición y transporte son extremadamente altos. Además, una consideración importante para el uso de un fango granular como inóculo corresponde a la similitud entre la composición del sustrato del cual este proviene y la del que se desea tratar. El cambio en la composición del sustrato puede inducir cambios estructurales en la conformación de los gránulos que podrían resultar en su ruptura parcial o completa, afectando a la eficacia del tratamiento. Por tanto, con el propósito de disminuir los costes económicos y para garantizar la



operación adecuada del sistema de tratamiento, se requiere el rápido desarrollo de biomasa granular a partir de un fango en suspensión. Para ello, el conocimiento de los factores ambientales y operacionales que favorecen la formación de los gránulos resulta fundamental. A continuación, se describen los principales factores que influyen en el proceso de granulación anaerobia (Torres,2018).

4.5.2.1.1.1.1 Inoculación del reactor UASB

El uso de inoculantes microbianos en el proceso de digestión anaerobia, permite que los períodos de obtención de metano sean menores, optimizando así el proceso e incrementando la producción de metano (Varnero et al., 2014). La inoculación consiste en agregar microorganismos degradadores (inóculo), provenientes de un tratamiento anaerobio estabilizado, al sustrato contenido en el digestor. Estos microorganismos se mantienen en un ambiente controlado (biológico, químico y físico) que les permite ajustarse al tipo de sustrato empleado y alcanzar un estado de equilibrio. Cuando esto sucede, se puede iniciar la operación del digestor (Aguilar, Nakasima, Toboada, & Velazquez, 2017).

4.5.2.1.1.1.2 Características del inóculo

La formación de gránulos es preferible un fango digerido con una concentración alta y una actividad metanogénica relativamente baja frente a un fango menos concentrado y más activo, principalmente debido al lavado selectivo de la biomasa que se espera durante la puesta en marcha del sistema. El uso de un fango anaerobio digerido concentrado conduce a una pérdida sustancial de la biomasa menos densa durante los primeros días de operación, dejando en el sistema un fango con buenas características de sedimentación y una actividad metanogénica específica relativamente baja que incrementa de manera progresiva al aumentar la carga orgánica volumétrica. Este tipo de lavado, denominado lavado por erosión, se debe a las diferencias en las características de sedimentación de las partículas y es adecuado para la formación de gránulos. En contraste, un fango diluido puede ser más homogéneo respecto a las características de sedimentación de las partículas que lo componen. Así, durante los primeros días de operación, el lavado de biomasa por erosión es bajo, pero si la actividad metanogénica es elevada puede tener lugar la expansión del lecho y el lavado de biomasa activa. La presencia y abundancia de microorganismos específicos en el inóculo también puede ser determinante en la formación de gránulos. Los microorganismos anaerobios pueden diferir en su capacidad de agregación, siendo algunas especies microbianas más competentes que otras para la formación de gránulos (Torres,2018).



4.5.2.1.1.3 Características del agua residual

Las características del sustrato orgánico (composición y concentración) influyen en la formación, la composición y la estructura de los gránulos anaerobios. La complejidad del sustrato puede ejercer una presión selectiva sobre la diversidad microbiana y, de manera consecuente, incidir en la formación y microestructura de los gránulos (Torres,2018).

4.5.2.1.1.4 Carga Orgánica

La carga orgánica es uno de los parámetros operacionales más importantes en el proceso de granulación anaerobia. Se ha demostrado que el incremento gradual de la carga orgánica promueve la formación de gránulos durante la puesta en marcha de reactores anaerobios. Dicho incremento gradual se efectúa aumentando de manera progresiva la concentración o el caudal del afluente. Sin embargo, la variación de cualquiera de estos dos parámetros debe realizarse de forma cuidadosa, debido a que el proceso de degradación anaerobia es muy sensible a la carga orgánica aplicada. Un aumento rápido de la concentración del afluente puede conducir a la acidificación del sistema, mientras que la aplicación de elevados caudales puede provocar el lavado de la biomasa. Además, puesto que la producción de biogás es proporcional a la carga orgánica aplicada, un valor muy alto durante la puesta en marcha podría resultar en el lavado del fango anaerobio por arrastre y desintegración de la biomasa como resultado de la turbulencia y el esfuerzo cortante generados por el aumento de la producción de biogás (Torres,2018).

4.5.2.1.1.5 Velocidad ascensional y tiempo de retención hidráulico

Una observación general en el proceso de granulación anaerobia es que este procede bien a velocidades ascensionales del líquido relativamente altas al ejercer una selección en la ecología microbiana de acuerdo con la teoría de la presión selectiva. La aplicación de tiempos de retención cortos junto con velocidades ascensionales altas propicia el lavado de biomasa dispersa o ligera y promueve la granulación. En contraste, los tiempos de retención prolongados permiten el crecimiento de la biomasa dispersa, lo cual es menos favorable para la formación de gránulos (Torres,2018).

4.5.2.1.1.6 Temperatura

Los microorganismos metanogénicos crecen lentamente y sus tiempos de generación varían de 3 a 50 días a 35 y 10 °C, respectivamente. Se espera entonces que la granulación anaerobia proceda mejor en condiciones mesófilas óptimas y



termofílicas. Cuando la temperatura del reactor se encuentra por debajo de 30 °C, la actividad de los metanógenos se reduce de manera considerable. Ahora bien, aunque la temperatura puede aumentar la velocidad de granulación, tampoco son adecuados valores demasiado altos, ya que pueden perjudicar la actividad de los microorganismos. El proceso de granulación anaerobia puede mejorarse al incrementar la temperatura en el intervalo mesofílico hasta valores cercanos a 40° durante la puesta en marcha de reactores UASB. Sin embargo, se ha reportado que los gránulos formados en estas condiciones son más vulnerables a perturbaciones en la operación del sistema, como a los cambios de pH y de temperatura (Torres,2018).

4.5.2.1.2 Arranque de un reactor UASB

La problemática del arranque de un reactor anaerobio radica en mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento de la biomasa siendo los nutrientes necesarios lo más importante para el crecimiento de esta. Esto último puede variar mucho dependiendo del origen del agua y en el caso de las aguas residuales domésticas, aunque los valores de los diferentes componentes se encuentran balanceados, normalmente la concentración de estos es muy baja, particularmente para el desarrollo de la biomasa anaerobia por lo que el crecimiento resulta excesivamente lento produciendo un arranque muy prolongado.

El arranque de los sistemas anaerobios consiste en hacer ingresar el agua residual al sistema y procurar mantener las condiciones idóneas para el desarrollo de la biomasa anaerobia como ya se mencionaba anteriormente (Noyola, 1994) Este proceso de arranque es lento debido a la baja producción de biomasa en relación con el sustrato consumido, ($Y = 0.18 \text{ Kg SSV} / \text{Kg DQO removida}$) por lo que es conveniente la inoculación. Sin embargo, la inoculación y el arranque pueden requerir un alto grado de experiencia y conocimiento. Lo anterior es particularmente cierto cuando no se cuenta con inóculos adecuados o adaptados.

La duración del arranque depende una variedad de factores. Entre ellos se encuentran la temperatura, la velocidad de carga orgánica (VCO), el tiempo de retención hidráulico (TRH), el tipo de digestor, el sustrato empleado, entre otros (Ghanimeh et al., 2012; Pandey et al., 2010). También está influenciado por la concentración y composición de las aguas residuales, el volumen, la actividad y la adaptación del inóculo y condiciones ambientales.

Todos ellos se encuentran estrechamente relacionados (Noyola, 1994). Una de las causas más frecuentes del mal funcionamiento de los reactores anaerobios es el desequilibrio entre las bacterias productoras y las consumidoras de ácidos. Dicho desequilibrio se debe durante el arranque, a la ausencia de un sistema microbiano maduro (Giraldo, 1998) (Pacheco y Magaña 2003).



Monroy (1992) menciona que para que un reactor anaerobio sea estable es necesario que exista un ambiente que permita la mejor actividad de la biomasa y que el tiempo de retención de sólidos sea adecuado. Por contrario, agregar una sobrecarga orgánica causada por el aumento en la concentración o en el caudal, variaciones en la temperatura y la entrada de tóxicos al reactor, son causas que rompen la estabilidad.

Desde que se inicia el arranque hasta que se considera que se ha alcanzado la estabilidad del proceso, lo más importante es la retención de biomasa viable dentro del reactor y su posterior acumulación, aspecto que tiene mucho que ver con la formación de gránulos o “pellets” con tamaños ideales entre 1 y 3 mm de diámetro. La formación de estos gránulos es una característica que distingue a los sistemas de fermentación metanogénica de flujo ascendente, de los otros sistemas anaerobios (Castro et al, 1999; López et al 2000).

La duración del arranque depende de los parámetros biológicos, químicos y físicos. El arranque está influenciado por la concentración y composición de las aguas residuales, el volumen, la actividad y la adaptación del inóculo, condiciones ambientales, parámetros de operación y por último la configuración del reactor. Todos ellos se encuentran estrechamente relacionados (Noyola 1995).

Debido a que las bacterias anaerobias tienen baja velocidad de crecimiento, solamente es posible obtener lodos con elevada actividad biológica después de un largo tiempo de adaptación (entre 0,5 y 1 año) (CONAGUA, 2015).

El principal objetivo del diseño de un digestor es alcanzar un alto contenido de biomasa dentro del mismo que permita una alta producción de gas y una alta reducción de la materia orgánica por unidad de volumen del digestor (Torres 2007).

4.5.2.2 Tratamiento de lodos

Los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son el producto de la concentración de los sólidos contenidos en el efluente, o de la formación de nuevos sólidos suspendidos resultantes de los sólidos disueltos. Estos lodos o biosólidos son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante los procesos mecánicos, biológicos y químicos de purificación de las aguas servidas en las PTAR. Contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micronutrientes, metales pesados y agua. Están formados principalmente por agentes contaminantes, debido a la acumulación de



materias en suspensión y compuestos orgánicos en las condiciones de tratamiento (Amador, Veliz y Bataller, 2015).

El subproducto más importante en el tratamiento de aguas residuales, tanto por su volumen, como por el tratamiento posterior que requieren, son los lodos. Estos se producen principalmente en las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario del agua residual (Ver figura 7) (Limón, 2013).

Existen tres tipos de lodo: disperso, debido a que no hay agregación de partículas en el lodo (velocidad de sedimentación 0.05 - 0.2 m/h), floculento, que consiste de un agregado en flóculos sueltos con propiedades intermedias de sedimentación (2 m.h-1) y granular representado en gránulos compactos de 0.5 a 3 mm de diámetro (velocidad media de sedimentación 50 m.h-1) (Morillo y Fajardo, 2005).

El control de los lodos de las PTAR se basa en el análisis de parámetro físicos, químicos, agrológicos y microbiológicos.

Los lodos son sometidos a diferentes tratamientos como el espesamiento, la digestión (y/o estabilización), la deshidratación, lechos de secado, entre otros, antes de efectuar su disposición final, dependiendo de diferentes factores como el tamaño de la PTAR-D que influye en la cantidad generada, el acceso a tecnologías de tratamiento que es determinante para buscar aplicaciones posteriores y que se ve limitado por el factor económico, la gestión realizada por la entidad responsable. Cuando se aplica un tren de tratamiento que comprende desde el espesamiento, la digestión (puede ser aerobia o anaerobia) y la deshidratación el lodo cambia sus características físicas, químicas y biológicas convirtiéndose en una masa pastosa, de color negro, con olor agresivo denominada BIOSÓLIDO (Donado, 2013).

Por lo general los lodos provenientes de las plantas de aguas residuales se disponen sobre el terreno, aplicándose principalmente en:

- Terrenos de uso agrícola: en los sistemas de producción agropecuaria se recomienda la incorporación de materia orgánica para minimizar la degradación del recurso suelo. Los desechos orgánicos provenientes de plantas de tratamiento de líquidos residuales domésticos (PTARD), denominados lodos urbanos, constituyen una fuente de materia orgánica con potencial uso agrícola (Gilsanz, Leoni, Schelotto y Acuña, 2013).
- Terrenos de uso forestal. (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2014).
- Terrenos deforestados (recuperación de canteras).
- Terrenos especialmente preparados para la evacuación de lodos

En los cuatro casos, la aplicación al suelo se diseña con el objetivo de conseguir un tratamiento adicional de los lodos. La luz solar, los microorganismos que habitan el terreno y la desecación, se combinan para destruir los organismos patógenos y



muchas de las sustancias tóxicas presentes en el lodo. Los metales traza se quedan atrapados en la matriz del suelo y las plantas que consumen nutrientes los convierten en biomasa útil. En los tres primeros casos, los lodos se utilizan como un recurso valioso para la mejora del terreno. El lodo actúa como acondicionador del suelo para facilitar el transporte o aportar nutrientes, aumentar la retención de agua y mejorar la aptitud del suelo para el cultivo. El lodo también sirve como un sustitutivo parcial de fertilizantes químicos costosos (Donado,2013).

Otros usos también están:

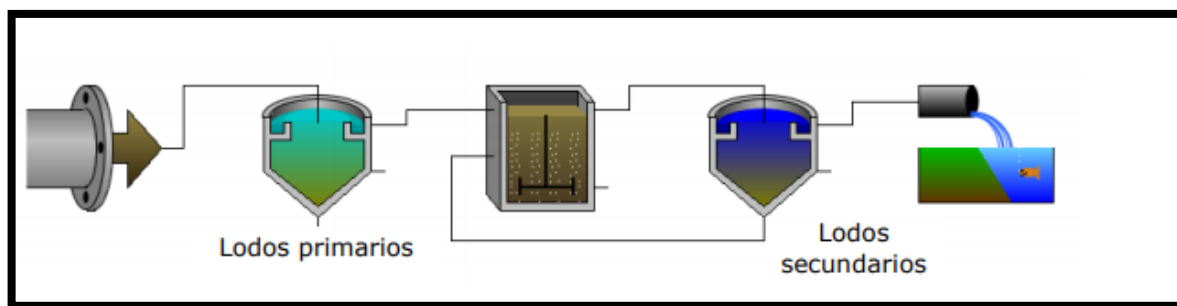
- Como insumo en la fabricación de materiales de construcción. (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2014).

- En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial secundaria o terciaria. (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2014).

- En la operación de rellenos sanitarios: cobertura diaria, cobertura final de cierre y de clausura de plataformas y en actividades de revegetalización y paisajismo. (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2014).

- Actividades de revegetalización y paisajismo de escombreras. (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2014).

- En procesos de valorización energética. (MINISTERIO DE VIVIENDA, 2014).



Limón, J. 2013 LOS LODOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ¿PROBLEMA O RECURSO? (**Figura 7**). Diagrama de flujo de producción de lodos primarios y secundarios

En muchos países, la utilización del lodo requiere de una infraestructura costosa, pero con fines justificados, ya que soluciona problemas de contaminación e incorpora nutrientes reciclando elementos vitales en los ciclos biológicos naturales; además de convertir un residuo peligroso en un recurso aprovechable y no peligroso. Así, la denominada gestión de excelencia destina cada residuo a su tratamiento: reciclaje, composteo, incineración y vertedero (Oropeza, 2006).



Los biosólidos de las PTAR de Colombia han permitido reducir los requerimientos de suelo orgánico para la cobertura final de los sitios de disposición final de residuos sólidos de las principales ciudades del país; también han permitido recuperar suelos degradados por actividades antrópicas, hasta el primer semestre de 2003 se habían cubierto más de 20 ha con mezclas de biosólido-suelo para cobertura final y recuperado más de 22 ha de suelos degradados (Melo, Rodríguez y González, 2016).

Como ejemplo, el Plan de Residuos de Holanda, fija objetivos del 30% de reciclaje, 30% de compostaje, 30% de recuperación de energía y el 10% de vertido como residuos no aprovechables. En Viena, el esquema es de 50% de valorización energética, 29% de reciclaje, 12% de compostaje y 9% a vertedero (Oropeza, 2006).

Una vez los lodos se han estabilizado, por medio del reactor biológico, en la PTAR del corregimiento de San Luis son dirigidos al lecho de secado.

4.5.2.2.1 Higienización del lodo

Los lodos secundarios presentan una amplia biodiversidad de microorganismos patógenos, como bacterias, virus, protozoos y helmintos, pero en concentraciones mayores que en las aguas servidas, ya que se redujo su contenido de agua (Cortez, 2003; Torres, Marmolejo y Bonita, 2005).

Sin embargo, existen microorganismos capaces de sobrevivir a los tratamientos convencionales. La estabilización del lodo permite reducir considerablemente el contenido de patógenos (El-Motaium, 2006), pero aun así su aplicación directa al suelo sin un tratamiento adecuado representa un riesgo para la salud pública y el medio ambiente (Torres, Marmolejo y Bonita, 2005). Es el caso del *Ascaris lumbricoides*, un helminto o parásito intestinal presente en las heces fecales humanas, que cuando se encuentra distribuido en suelos se considera contaminado y no apto para su desarrollo agrícola.

Los procesos de higienización de lodos permiten reducir o eliminar microorganismos patógenos. Luego de ser higienizados están aptos para ser utilizados como enmienda de suelos ácidos y/o erosionados, sin riesgos de contaminación (Diocaretz y Vidal, 2010).

En los procesos de higienización se encuentra: Tratamiento alcalino, secado térmico, pasteurización, tratamiento con calor, irradiación con rayos gamma, irradiación con haces de electrones, digestión aeróbica termofílica, deshidratación en lecho de secado y compostaje. Además, se incluye un proceso basado en energías renovables conocido como secado solar-biológico empleado con la misma finalidad (Diocaretz y Vidal, 2010).



El tratamiento alcalino es un proceso químico que consiste en el acondicionamiento del lodo biológico con cal y su posterior secado al aire (CONAMA, 2009). La reacción entre la cal y el agua eleva el pH y reduce el contenido de patógenos (Cortez, 2003; Méndez, Jiménez y Salgado, 2002). Además, produce amoníaco que favorece la reducción de los huevos de helmintos viables (Méndez, Jiménez y Salgado, 2002).

En los procesos térmicos como secado térmico (PST), pasteurización (PPA) y tratamiento con calor (PTC), el lodo es sometido a temperaturas elevadas para destruir o inhibir a los microorganismos patógenos (Cortez, 2003). En los procesos PPA, PST y PTC, el lodo alcanza 70, 80 y 180°C, respectivamente (CONAMA, 2009; Tim, 1993).

Los procesos físicos están basados en la radiación de los lodos, que favorece la formación de radicales libres con la finalidad de destruir o reducir considerablemente la cantidad de patógenos (ASCE, 1992; Schrader, 1996). Esto es posible a través de procesos de irradiación con rayos gamma desde una fuente radioactiva de Cobalto-60 (PIG) o haces de electrones provenientes de aceleradores de alto voltaje (PIE) (ASCE, 1992; CONAMA, 2009).

Los procesos biológicos como la digestión aeróbica termofílica (PDAT) y el compostaje (PCO) permiten aprovechar las temperaturas alcanzadas durante la degradación de la materia orgánica para destruir o inactivar patógenos (Girovich, 1996; Roberts, 2006). En el PCO el lodo es mezclado con materiales estructurantes y dispuesto en pilas aireadas mediante volteo mecánico (Turovskiy y Mathai, 2006).

Finalmente, el secado solar-biológico (PSSB) es un proceso basado en aprovechar dos formas de energía renovable para reducir el volumen de los lodos y el contenido de patógenos (Salihoglu, Pinarli y Salihoglu, 2007). Su operación es similar a la empleada en el PCO (Diocaretz, 2010).

4.5.2.2.1.1 Lecho de secado

Los lechos de secado de arenases, es uno de los métodos más antiguos para reducir el contenido de humedad de los lodos en forma natural, por medio de la filtración y evaporación. Su implementación representa una operación sencilla en la gestión de los lodos y bajos costos de operación en comparación con otros tipos de tratamiento para el secado de lodos (Galeano & Rojas, 2016).

El lecho típico de arena para secado de lodos es un lecho rectangular poco profundo, con fondos porosos colocados sobre un sistema de drenaje. El lodo se aplica sobre el lecho en capas de 20 a 30 cm y se deja secar (Ver figura 8). El desaguado se efectúa mediante drenaje de las capas inferiores y evaporación de la superficie por acción del sol y del viento (Ver figura 9). Inicialmente el agua percola



a través del lodo y de la arena para ser removida por la tubería de drenaje en un periodo corto, de unos pocos días. Una vez formada una capa de lodo sobrenadante, el agua es removida por decantación y por evaporación. La pasta se agrieta a medida que se seca, permitiendo evaporación adicional y el escape de agua lluvia desde la superficie. Los lechos de secado de lodos son muy semejantes a filtros intermitentes de arena y tienen la ventaja de requerir poca atención en su operación. El diseño de lechos de secado de lodos está afectado por diferentes factores: clima, características del lodo, valor del terreno y pretratamiento de los lodos (ROMERO, 2002; Pierre y Ronteltap, 2014).

Los lechos de secado de arena presentan una serie de ventajas:

- Costo bajo si hay terreno disponible.
- No requiere operación especial.
- Consumo de energía bajo.
- Poco sensible a cambios en las características del lodo.
- Consumo de químicos bajo.
- Contenido alto de sólidos en la pasta.

Las desventajas de los lechos de secado de arena son:

- Diseño empírico que no permite análisis económico certero.
- Requiere áreas grandes.
- Requiere lodo estable.
- Sensible a cambios de clima.
- Visible al público.
- Requiere gran cantidad de mano de obra para remoción de la pasta.



Pierre,H. y Ronteltap M. 2012 Lechos de Secado sin Plantas (**Figura 8**). Ejemplo de carga de lodos sobre los lechos de secado



Pierre,H. y Ronteltap M. 2012 Lechos de Secado sin Plantas (**Figura 9**). Ejemplo de extracción de lodos de los lechos de secado



4.5.3 Tratamiento terciario

Los tratamientos terciarios de aguas residuales son procesos adicionales para eliminar contaminantes remanentes, en estado coloidal o suspendido. Se llevan a cabo normalmente en las EDAR. El tratamiento terciario permite reducir la carga contaminante de aguas residuales permitiendo, no solo su vertido a cauces naturales, sino la reutilización como recurso hídrico alternativo (Valdivielso, 2016).

El tratamiento terciario permite rebajar algunos de los componentes del agua residual que no es posible reducir mediante el tratamiento secundario. Un tratamiento terciario consiste generalmente en una coagulación-floculación, una decantación y una filtración (López & Rodríguez, 2016).

4.5.3.1 Eliminación de nutrientes en aguas residuales domesticas

Desde hace más de un siglo se viene trabajando en la remoción de materia orgánica (MO) y de sólidos suspendidos contenidos en las aguas residuales (AR) de todo tipo. Más recientemente, se han incorporado procesos tendientes a mejorar la remoción de nitrógeno (N) y fósforo (P) presentes en aguas residuales, ante todo del sector residencial. Solo a finales de los años ochenta y principios de los noventa se observaron los efectos negativos de las descargas de AR con aportes de N y P, por lo que el interés en la remoción de estos nutrientes se ha visto reflejado en un incremento del número de proyectos de investigación (González & Saldarriaga, 2008).

La problemática asociada a la presencia de nutrientes (N y P) radica ante todo en la eutrofización de corrientes naturales, entre las que se cuentan los lagos y embalses. Además, el N genera efectos negativos, como la reducción de la concentración de oxígeno disuelto (OD) en aguas receptoras y su consecuente toxicidad para la vida acuática, la disminución de la efectividad del proceso de desinfección con cloro, lo que implica un riesgo para la salud pública, y peor aún un menor potencial de reutilización del agua residual (Dapena J. L. y Ronzano, 1995).

La eliminación de nutrientes provenientes de aguas residuales consiste en utilizar algún método físico, químico o biológico para eliminar el nitrógeno y el fósforo, contaminantes que generan efectos negativos en los cuerpos de agua. En el tratamiento de aguas residuales se realizan una serie de procesos que tienen como propósito eliminar o reducir la concentración de los contaminantes provenientes de los efluentes, minimizando los riesgos para el medio ambiente y las comunidades que habitan en sus cercanías (Quitián, 2018).

Actualmente, la remoción de nutrientes de aguas residuales viene utilizando microalgas (micorremediación) como un sistema rentable y altamente eficiente, lo que se debe al aprovechamiento de las capacidades fotosintéticas que estos



microorganismos tienen para convertir la energía solar en biomasa útil de alto valor calorífico y procesar nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (Agarwal et al., 2019). La presencia de estos nutrientes en exceso en los cuerpos de agua como lagos, embalses, estuarios, ríos y algunas aguas costeras causan un gran aumento de las algas y una disminución del oxígeno disuelto, lo que provoca el deterioro de la calidad del agua, la muerte de muchos organismos acuáticos como peces u otros hidrófitos; a este fenómeno se le conoce como eutrofización (Maldonado, 2018).

Tomando como referencia el ciclo del fósforo y utilizando microalgas (*Chlorella* sp.) y materiales bioadsorbentes (ostra - *Crassostrea rhizophorae*), se ha podido evidenciar la depuración de fósforo en aguas residuales municipales, en este sentido, el uso de microalgas para la remoción de nitrógeno y fósforo es una alternativa potencial por la capacidad de eliminar estos nutrientes (Barsanti y Gualtieri, 2014). Estudios como el de los autores Haro y Perales (2015), han demostrado que con el uso de un fotobiorreactor con microalgas se logra eliminar el 80% de fósforo y nitrógeno de aguas residuales. En el caso de materiales adsorbentes como la roca caliza (coquina), implementada por Villamarín (2017), se ha logrado evidenciar que este material ayuda a la eliminación de materiales pesados y otros nutrientes en aguas contaminadas.

El efluente de un filtro anaerobio de flujo ascendente puede contener materia orgánica soluble, patógenos, sólidos suspendidos, nitrógeno y fósforo.

La conversión de nitrógeno y fósforo en un filtro anaerobio de flujo ascendente es particularmente de cero debido a la transformación de nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal. Si se requiere, se puede aplicar un proceso de desnitrificación al efluente.

Como postratamiento de efluentes de procesos anaerobios se han utilizado: lagunas aireadas, lagunas facultativas, lagunas de maduración, lodos activados, filtros percoladores, humedal artificial, entre otros.

4.5.3.1.1 Lagunas aerobias.

Reciben aguas residuales que han sido sometidos a un tratamiento y que contienen relativamente pocos sólidos en suspensión. En ellas se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas.

Son lagunas poco profundas de 1 a 1.5m de profundidad y suelen tener tiempo de residencia elevada, 20-30 días (Romero, 1999).

Las lagunas aerobias se pueden clasificar, según el método de aireación sea natural o mecánico, en aerobias y aireadas.

a. **Lagunas aerobias:** la aireación es natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio a través de la interfase aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas.



b. **Lagunas aireadas:** en ellas la cantidad de oxígeno suministrada por medios naturales es insuficiente para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, necesiéndose un suministro adicional de oxígeno por medios mecánicos.

La eliminación de patógenos en estos procesos no es eficiente, por lo que es necesario aplicar sistemas de desinfección, como: cloración, radiación ultravioleta, ozonización, filtros de arena, lagunas de maduración, entre otros.

El grupo específico de algas, animales o especies bacterianas presentes en cualquier zona de una laguna aerobia depende de factores tales como la carga orgánica, el grado de mezcla de la laguna, el pH, los nutrientes, la luz solar y la temperatura.

4.5.3.1.2 Lagunas facultativas.

Son aquellas que poseen una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes (Rolim, 2000).

En este tipo de lagunas se puede encontrar cualquier tipo de microorganismos, desde anaerobios estrictos, en el fango del fondo, hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Además de las bacterias y protozoarios, en las lagunas facultativas es esencial la presencia de algas, que son las principales suministradoras de oxígeno disuelto (Rolim, 2000).

El objetivo de las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes.

La profundidad de las lagunas facultativas suele estar comprendida entre 1 y 2 m para facilitar así un ambiente oxigenado en la mayor parte del perfil vertical (Rolim, 2000).

Las bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica. Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades, estos son utilizados por las algas en su crecimiento. De esta forma, la actividad de ambas es mutuamente beneficiosa (Rolim, 2000).

En una laguna facultativa existen tres zonas:

1. Una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica, como se ha descrito anteriormente.



2. Una zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias.

3. Una zona intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas. Los sólidos de gran tamaño se sedimentan para formar una capa de fango anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las algas presentes cerca de la superficie. El dióxido de carbono, que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono por las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango implica la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el CO_2 , H_2S y el CH_4 , que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera (Rolim, 2000).

4.5.3.1.3 Lagunas de maduración.

Este tipo de laguna tiene como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado.

Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempo de retención de 3 a 10 días cada una, mínimo 5 días cuando se usa una sola y profundidades de 1 a 1.5 metros. En la práctica el número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para proveer una remoción requerida de coliformes fecales (Rolim, 2000).

Las lagunas de maduración suelen constituir la última etapa del tratamiento, por medio de una laguna facultativa primaria o secundaria o de una planta de tratamiento convencional, debido a la eliminación de agentes patógenos, si se reutiliza el agua depurada (Rolim, 2000).

4.5.3.1.4 Lodos activados

En el proceso de los lodos activados, las aguas residuales previamente cribadas y sedimentadas se mezclan con cantidades variables (20 a 100%) de la purga del clarificador secundario. La mezcla entra en el tanque de aireación, donde se mezclan los organismos y las aguas residuales con gran cantidad de aire. Bajo estas condiciones, los organismos oxidan una parte del desecho con producción de células microbianas nuevas utilizando la energía obtenida de la oxidación. Luego la mezcla entra en el sedimentador secundario, donde los microorganismos flocculan y se asientan y son removidos de la corriente del efluente. Entonces, los microorganismos sedimentados, o el lodo activado, se recircula hacia el inicio del tanque de aireación para mezclarlos de nuevo con el agua residual. En este proceso se producen de continuo lodos activados nuevos, de cuyo exceso es necesario



deshacerse cada día (lodos activados en exceso o lodos secundarios) junto con los lodos provenientes de la sedimentación primaria (Moeller & Tomasini, 2001).

4.5.3.1.5 Filtro Percolador (FP)

El Filtro Percolador (FP) utiliza un brazo rotatorio de distribución para esparcir el agua residual sobre un lecho, compuesto por un medio que puede ser de roca o plástico, donde se forma una película biológica a través de la cual se hace el tratamiento biológico. Es requerido un clarificador secundario después del FP, con el propósito de remover los sólidos desprendidos del medio. Los primeros FP empleaban roca como medio de crecimiento, hoy en día con el fin de incrementar la capacidad de tratamiento se emplea medio plástico, el cual es más liviano y presenta áreas superficiales mayores incrementando el crecimiento la película biológica y por ende haciendo más eficiente el proceso. Los filtros percoladores con medio rocoso, usualmente varían en profundidad desde los 1,8 a los 2,4 metros. Parte del agua tratada es recirculada al sistema, con el objetivo de diluir el agua residual del afluente y mantener la película biológica sobre el medio húmedo (Hazen & Sawyer, 2011).

4.5.3.1.6 Humedal Artificial

El humedal artificial se construye mecánicamente, se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo y se selecciona el tipo de plantas que van a colonizar el humedal (Salas, 2018).

La depuración de las aguas residuales tiene lugar al hacerlas circular a través de estas zonas húmedas artificiales, en las que tienen lugar procesos físicos, químicos y biológicos, que van reduciendo los contaminantes presentes (Salas, 2018).

Las plantas proporcionan superficie para la formación de las películas bacterianas, facilitan la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, contribuyen a la oxigenación del sustrato y a la eliminación de nutrientes y controlan el crecimiento de algas, al limitar la penetración de la luz solar (Salas, 2018).

Los procesos terciarios generalmente forman diferentes combinaciones entre distintas tecnologías. La elección de los procesos dependerá de los tratamientos primarios y secundarios implementados, y de la calidad de las aguas para su uso posterior que depende de la legislación vigente (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

4.5.3.1.7 Otras tecnologías

También existen otras tecnologías para tratamiento terciario que se anotan a continuación:

Fisicoquímicos: operación para eliminar la materia en suspensión utilizando operaciones mecánicas y aditivos químicos, como la coagulación, floculación y decantación (sedimentación) (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).



Sistema de Coagulación-floculación: Es un proceso que consiste en añadir productos químicos al agua para desestabilizar (reducir o eliminar) la carga superficial de las partículas (arcillas, coloides, virus, bacterias y ácidos húmicos). De esta manera se forman aglomeraciones de partículas de mayor tamaño llamadas flóculos que pueden sedimentar o ser filtradas (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

La coagulación puede realizarse mediante dos tipos de reacciones:

1. La desestabilización de las cargas de las partículas en suspensión en el agua por medio de cationes polivalentes. La coagulación por desestabilización se realiza con un estricto control de pH entre 7,0 y 7,5, y bajas dosis de coagulante (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).
2. El barrido de las partículas en suspensión por la formación de hidróxido de amoníaco que arrastra los flóculos y los coloides. La floculación por barrido se produce por precipitación química, en la que el control de pH no es crítico y la dosis son mayores en el primer caso (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Los coagulantes más usados son las sales de cationes polivalentes, principalmente Al^{+3} y Fe^{+3} .

Intercambio iónico: es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante. La aplicación habitual de estos sistemas, es, por ejemplo, la eliminación de sales cuando se encuentran en bajas concentraciones (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Adsorción: define la propiedad de ciertos materiales (Adsorbentes) de fijar en su superficie moléculas orgánicas extraídas de la fase líquida en la que se encuentra. El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. Se utiliza para eliminar fenoles, hidrocarburos aromáticos nitrados, derivados clorados, etc, así como para eliminar olor, color y sabor. El adsorbente más utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Filtración: operación en la que el agua pasa a través de un medio poroso, reteniendo la mayor cantidad posible de materia en suspensión. Puede ser filtración profunda o superficial (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Flotación con aire disuelto: operación que consiste en generar burbujas de gas, donde el aire de la burbuja contiene las partículas presentes del agua tratada que



se elevan hasta la superficie y salen del procesado (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Oxidaciones avanzadas: operación para degradar compuestos orgánicos en medio acuoso (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Membranas de filtración: operación que se basa en impedir por exclusión el paso a través de la membrana de contaminantes de mayor tamaño que el diámetro de poro de la membrana. Por un lado, se distinguen la fuerza impulsora generada por el diferencial de presión transmembrana en microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa y, por otro lado, la electrodiálisis, cuya fuerza impulsora es el diferencial de potencial eléctrico transmembrana (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Microfiltración: las membranas usadas para la microfiltración tienen un tamaño de poro de 0.1 y 10 μm . La microfiltración puede ser aplicada a muchos tipos diferentes de tratamientos de agua cuando se necesita retirar de un líquido las partículas de un diámetro superior a 0.1 μm (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Ultrafiltración: permite retener moléculas cuyo tamaño oscila entre 0.001 y 0.1 μm (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Nanofiltración: es un proceso de filtración por membranas operadas bajo presión en la que solutos de bajo peso molecular (1000 daltons) son retenidos, pero las sales pasan, total o parcialmente, a través de la membrana con el filtrado (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Ósmosis inversa: consiste en aplicarle a la disolución concentrada una presión superior a la osmótica, produciéndose el paso del disolvente (agua) desde la disolución más concentrada a la más diluida hasta alcanzar un nuevo punto de equilibrio (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Desinfección: operación que consiste destruir o inactivar los microorganismos que puedan causar enfermedades. Se puede distinguir el uso de la radiación ultravioleta, la cloración y la ozonización (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

- **Radiación ultravioleta:** en este caso la desinfección se realiza mediante un equipo UV que proporciona una desinfección inmediata y más efectiva que la cloración. Una ventaja de este sistema es que no requiere de depósitos de contacto, ya que la desinfección se realiza de forma instantánea mediante el paso del agua por el equipo de tratamiento ultravioleta lo que favorece este tipo de tratamiento terciario cuando no se disponga de espacio suficiente para un tratamiento con cloro o con ozono (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Para asegurar el buen funcionamiento del equipo UV es necesario un correcto sistema de filtración para eliminar turbidez y asegurar una transmisión adecuada



de la radiación ultravioleta en el flujo de agua a tratar (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

- **Cloración:** es el sistema más sencillo y económico para un tratamiento terciario de reutilización de agua para riego de jardines y plantas. Existen varias formas de cloración del depósito:

- Pueden pasar por un sistema automático de medición y control de la dosificación de cloro libre en el depósito mediante sonda de cloro libre (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

- Dosificación de cloro proporcional al caudal de agua depurada mediante la instalación de un contador emisor de impulsos (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

- **Ozonización:** el ozono es un poderoso oxidante y desinfectante con una velocidad de esterilización superior a la de un tratamiento convencional de cloro aumentando su eficacia. Esto permite tratamientos de ozono con tanques de contacto muy reducidos, ya que únicamente son necesarios unos tres minutos de tiempo de contacto para asegurar la desinfección (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

Además, para el tratamiento de agua residual para su reutilización en riego y agricultura, el ozono aporta una mayor oxigenación a la raíz a la planta a la vez que le transmite su carácter desinfectante (Martínez, Morales y Villamizar, 2018).

4.6 Población futura

Es uno de los factores más importantes y monumentales en un proyecto de abastecimiento de agua viene a ser el número de personas beneficiadas con este, la cual se determina estadísticamente proyectada hacia el futuro (Jimenez, 2019).

4.7 Operación y el mantenimiento

La operación es la forma de realizar o llevar a cabo una labor con el fin que los equipos, procesos u operaciones se realicen de manera correcta para lograr el máximo rendimiento de los mismos. A su vez, el mantenimiento es la labor de reparar o restaurar un equipo, una estructura, un proceso o una operación de tal forma que el rendimiento proyectado o esperado del mismo sea efectivo, seguro y realizado con economía para el bien de la comunidad a la cual se atiende. El mantenimiento puede ser de tres tipos básicos (Abanto, 2016; Marín y Osés, 2013):

- **Correctivo:** Son intervenciones no programadas dirigidas a devolver al equipo, estructura, proceso u operación averiada a su estado operacional que tenía antes que el defecto fuera descubierto.

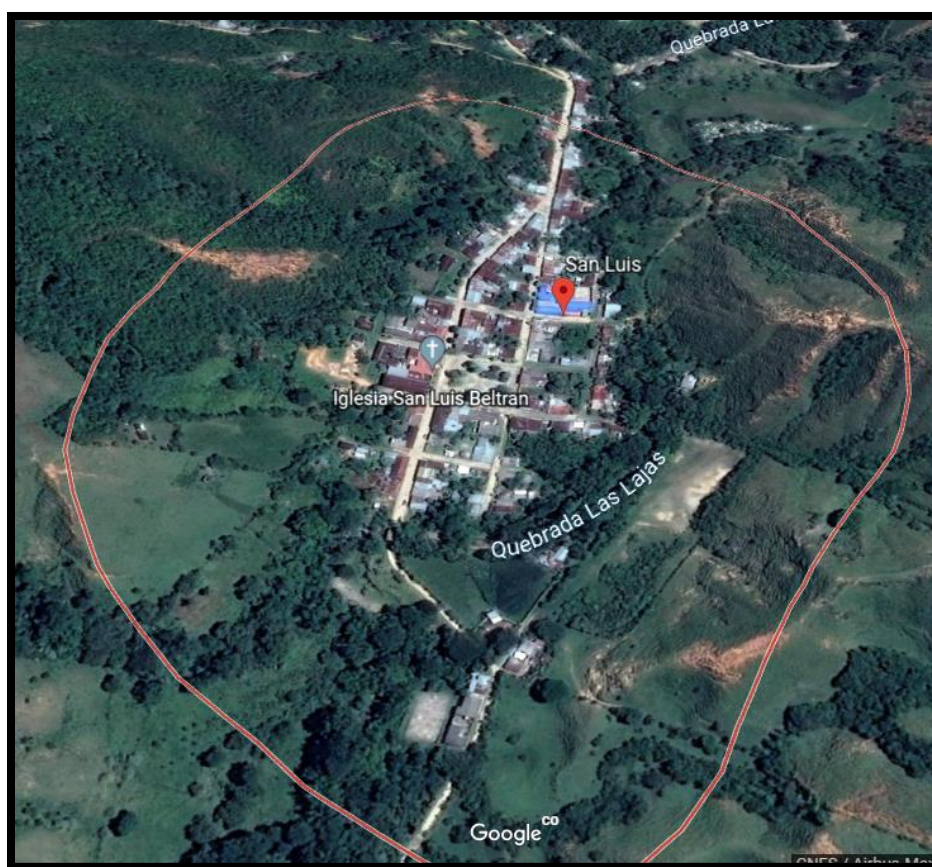


- Preventivo: Son las intervenciones periódicas de cuidado e inspección programadas para prever la falla y prolongar el funcionamiento adecuado de las obras.
- Predictivo: Es la sustitución de piezas cuando es posible predecir su falla por antigüedad o condiciones de trabajo.

5 METODOLOGÍA

5.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

San Luis es un corregimiento en el occidente del municipio de Neiva, localizado a latitud: 3.08361 y longitud: -75.4853 limita al norte y noreste con el municipio de Aipe, al noroeste con el corregimiento de Chapinero, al oeste con el corregimiento de Aipécito, al sur y sureste con el municipio de Palermo, y al este con el corregimiento de Guacirco (ver figura 10) (Google Earth, 2021). Es un corregimiento netamente cafetero. Registra 14 veredas siendo estas: Palmar, Alto Cocal, Bajo Cocal, El Ávila, El Centro, El Quebradón, Corozal, Alta Libertad, La Libertad, La Julia, El Piñuelo, Órganos, Omega y Los Alpes.



Google Earth, 2021 (**Figura 10**). Ubicación centro poblado San Luis Neiva



Antes de la primera fase del presente estudio se recopiló la información en la cual se fundamenta el proyecto, brindada por parte de las Empresas Públicas de Neiva entidad que intervino en el proceso y fuentes bibliográficas.

5.2 FASE METODOLÓGICA I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En esta fase se hizo una indagación de lo referente a la historia del tratamiento de aguas residuales, tipo de tratamientos, procedimientos para operar y mantener una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) y toda aquella revisión bibliográfica necesaria para realizar un diagnóstico adecuado para la PTAR.

5.3 FASE METODOLÓGICA II: RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Se realizó una visita al corregimiento de San Luis con el fin de llevar a cabo un diagnóstico del estado actual de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) del corregimiento San Luis Neiva junto con la ayuda de la promotora, el fontanero y un ingeniero Agrícola de la alcaldía de Neiva.

Al llegar al lugar donde se ubica la PTAR, se encontró que todas sus estructuras estaban invadidas por la maleza, por lo tanto, se procedió a realizar una limpieza general con fin de minimizar las causas de error en el diagnóstico y así se observó claramente el estado actual de cada una de las partes que se mencionan a continuación: entrada a la PTAR, rejillas, desarenador, canaleta Parshall, reactor UASB, lecho de secado, humedal artificial y demás sectores de la PTAR.

Con la ayuda de los planos de diseño de la obra se comparó lo plasmado allí con lo construido en el lugar de la PTAR. Para eso, se realizó una inspección desde el ingreso del agua residual hasta disposición final en la quebrada Órganos.

El primer paso que se realizó para la inspección fue el taponamiento del canal que conduce a las rejillas con un costal de arena, para evitar que ingresara el flujo de agua residual a la PTAR. Seguido de esto, se dirigió al punto donde se encuentran las rejillas observando su estado actual y comparando con la ayuda de los planos que las medidas correspondieran a lo diseñado inicialmente en esta estructura.

En el siguiente módulo de la PTAR llamado desarenador igualmente se realizó la observación del estado estructural y el estado de sus componentes como los vertederos de entrada y salida y las válvulas de bola que conducen al lecho de secado. Para comprobar el estado de las válvulas se efectuó manualmente la abertura usando a favor el agua lluvia y el agua residual que ya se encontraban allí, comprobando que esta llegara al lecho de secado. Continuo a esto, se ejecutó la inspección del estado actual del medidor de flujo (canaleta Parshall), con la cual se finalizó la evaluación del pretratamiento o tratamiento preliminar.

Después del pretratamiento se dirigió a la evaluación del tratamiento secundario, iniciando con el reactor UASB, donde se examinó cuidadosamente el estado de sus componentes como las válvulas de compuerta de la salida del reactor las cuales se abrieron igualmente para comprobar la llegada del afluente al lecho de secado y



descartar colmatación o avería de la tubería, las cajas de distribución, las mangueras flexibles, el sistema múltiple colector y el separador GLS o campana en fibra de vidrio, la cual se intentó retirar manualmente, pero no fue posible.

La siguiente estructura del tratamiento secundario es el lecho de secado, para el diagnóstico del lecho de secado se realizó de nuevo abertura de válvulas que salen del reactor UASB y del desarenador permitiendo el flujo de agua residual hacia el lecho de secado y abriendo las dos válvulas de compuerta ubicadas en lecho de secado que permiten el ingreso. Al ingresar el agua residual se evaluó que el filtro de arenas se encontrara funcionando de forma adecuada haciendo que el agua pasara por este y llegara a la cámara de entrada del humedal artificial.

Finalmente, en el humedal artificial como tratamiento terciario se le realizó el diagnóstico de sus componentes como son la geomembrana, el sistema múltiple colector y la arena gravosa.

Para complementar la información se realizó el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional del área rural utilizando la fórmula de crecimiento poblacional compuesto, el cálculo de los parámetros de diseño como velocidad ascensional, tiempo de retención hidráulica (TRH), carga orgánica volumétrica (VCO), purga, producción de lodos y producción de biogás.

5.3.1 Tasa de crecimiento poblacional

Para hallar la tasa de crecimiento poblacional se utiliza la ecuación del método geométrico o exponencial:

$$P_t = P_0(1 + r)^t$$

Ecuación 1. Tasa de crecimiento poblacional

Siendo:

P_0 = censo de un año inicial

P_t = siguiente censo correspondiente después del de referencia inicial

r =? tasa de crecimiento

ya teniendo la tasa de crecimiento se halla la población futura con la siguiente ecuación:

$$P_F = P_a(1 + K)^{td}$$

Ecuación 2. Población futura

Siendo $K = r$ tasa de crecimiento poblacional del área rural 0,7



Td= 20 años (periodo de diseño, años)

Pa= población actual, en este caso del casco del corregimiento de San Luis

PF= población futura

5.3.2 Tiempo de retención hidráulica (TRH)

El tiempo de residencia hidráulica se define como el tiempo que permanece el agua residual dentro del reactor.

Para el cálculo del tiempo de residencia hidráulico, se emplea la siguiente ecuación.

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

Ecuación 3. Tiempo de retención hidráulica

Donde:

TRH = tiempo de residencia hidráulica en días

V = volumen del reactor m^3

Q = gasto en el afluente $\frac{m^3}{día}$

5.3.3 Carga orgánica volumétrica

Este parámetro no es más que la cantidad de DQO alimentada al reactor por unidad de volumen y tiempo, y se expresa en $kgDQO/m^3 \cdot día$

La Ecuación 4 expresa la carga volumétrica de la siguiente manera:

$$COV = \frac{Q * S_0}{V}$$

Ecuación 4. Carga volumétrica

Donde:

COV = tasa de carga orgánica volumétrica
(kg de DQO/ m^3 día)

Q = gasto ($m^3/día$)

S_0 = concentración de sustrato en el afluente (kg de DQO/ m^3)

V = volumen total del reactor (m^3)



Según (Orozco, 2005):

Tabla 1. Carga volumétrica según la temperatura

Temperatura °C	Carga Volumétrica, KgDQO/m ³ dia
15	2 a 4
20	4 a 6
25	6 a 12
30	10 a 18
35	15 a 24
40	20 a 32

5.3.4 Velocidad ascensional y altura del reactor

Da la velocidad con que el residual pasa a través del reactor; se expresa en m/h.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q * H}{Vol}$$

Ecuación 5. Velocidad ascensional

Donde:

v = velocidad de flujo ascendente (m/h)

Q = gasto (m³ /h)

A = área de la superficie (m²)

5.3.5 Producción de lodo

Se puede estimar la producción de lodo en un RAFA mediante la siguiente ecuación

$$P = YDQO_{aplicada}$$

Ecuación 6. Producción de lodo

P = Kg SST/día

Y =0.1 y 0.20 kg SST/kg

$$DQO_{aplicada} = \frac{Kg}{dia}$$

El calculo de la $DQO_{aplicada} = \frac{Kg}{dia}$ es:

$$DQO_{aplicada} = S * Q$$



S= concentración de sustrato en el afluente (kg de DQO/m³)

5.3.6 Carga de DQO convertida a metano y producción de biogás.

$$DQO_{CH_4} = Q(S_o - S) - Y_{obs}QS_o$$

Ecuación 7. Carga de DQO convertida a metano

DQO_{CH4} = carga de DQO convertida a metano (kg DQO_{CH4}/d)

Q = gasto promedio en el afluente (m³/h)

S_o = concentración de DQO en el afluente (kg DQO/m³)

S = concentración de DQO en el efluente (kg DQO/m³)

Y_{obs} = coeficiente de producción de sólidos en el sistema, en términos de DQO (0.11 a 0.23 kg DQO_{lodo}/ kg DQO_{aplicada})

La producción volumétrica de metano se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)}$$

Ecuación 8. Producción de metano volumétrico m³/día

$$K(t) = \frac{PK_{DQO}}{R(273 + T)}$$

Ecuación 9. Factor de corrección dependiendo de la temperatura de operación del reactor ($Kg \frac{DQO}{m^3}$)

P= 1 atm

KDQO= 64 gDQO/mol

R= 0.08206 atm L/mol K

La producción de biogás se determina estimando el porcentaje de metano en el biogás. Para un contenido de metano de 70 a 80 por ciento en el biogás, por lo que toma el promedio:

$$Q_g = \frac{Q_{CH_4}}{0.75}$$

Ecuación 9. Producción de biogás



5.4 FASE METODOLÓGICA III: CARACTERIZACIÓN DE LA PTAR

Después de la visita y de observar el estado de cada una de las partes de la PTAR, se procedió a describir cada uno de sus componentes incluyendo el estado en que se encontraron en el momento de la visita, evidenciándolo con registros fotográficos.

5.5 FASE METODOLÓGICA IV: PRESUPUESTO

En esta fase se realizó un análisis de precios unitarios (APU) (ver ANEXO 1), donde están las cantidades de obra, materiales a utilizar, equipos y herramientas y profesionales necesarios para la rehabilitación de la PTAR, según el diagnóstico realizado en la anterior fase.

5.6 FASE METODOLÓGICA V: PROPUESTA FINAL

En esta fase se presenta las recomendaciones pertinentes, referente al modo de operación, mantenimiento y arranque de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con reactor UASB (ver ANEXO 2).

6 RESULTADOS

6.1 Diagnóstico de las estructuras de la PTAR

Por el estado de no funcionamiento y abandono se observó toda la PTAR invadida de material vegetal, represada en ella agua lluvia y parte de agua residual. Por esta razón se procedió a realizar una limpieza general (Ver figura 11 y 12) con el fin de minimizar las causas de error en el momento del diagnóstico y así tener una inspección clara de cada uno de sus componentes y del estado funcional en el que se encontraban.

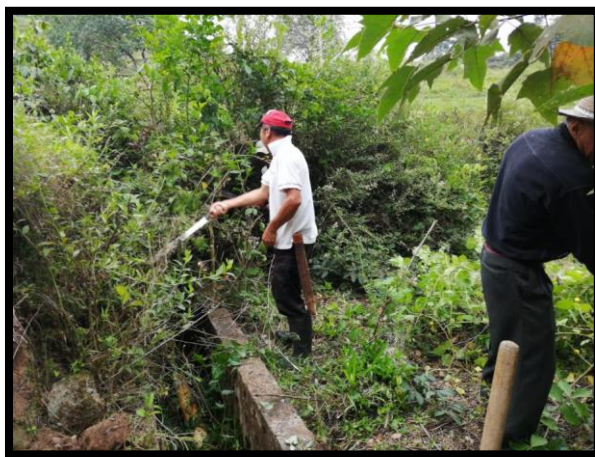


Figura 11. Limpieza general de la PTAR San Luis



Figura 12. Vista de toda la PTAR San Luis

Esta planta de tratamiento fue construida con el fin de dar solución a las necesidades de la sociedad, reducir la contaminación a los cuerpos de agua afectados (quebrada Órganos y río Aipe) por estas aguas residuales, evitar problemas de salud en la población aguas abajo y garantizar una mejor calidad de vida. Sin embargo, se pudo observar que lo que conllevaba el funcionamiento de la PTAR era nuevo para la población, convirtiéndose en un desafío para sus habitantes que sin conocimiento en la operación y mantenimiento de esta, se mantuvo funcionamiento unos años, pero finalmente se generaron una serie de problemas encadenados por la mala manipulación y falta de control en la operación, llegando la misma comunidad a tomar medidas de abandono de la PTAR y desviar el agua residual directamente hacia la quebrada Órganos (Ver figura 13).

La caída de aguas residuales al cuerpo de agua sin previo tratamiento es una de las prácticas antropogénicas inadecuadas que generan la gran parte de la contaminación de los cuerpos de agua hoy en día. El ineficiente manejo de vertidos se debe a deficiencias técnicas de los sistemas de tratamiento, uso excesivo de tanques sépticos, ausencia de recursos para desarrollar acciones integrales, deficiente educación y costumbres de la población y traslapes de competencias e indefiniciones entre las organizaciones involucradas (Segura et al., 2004; Solano, 2011). Es así que una de las primeras optimizaciones a realizar necesaria, es la



reconstrucción del muro en la zona de ingreso del agua residual a la PTAR, para cerrar el flujo de agua hacia la quebrada directamente y conducirla en su totalidad a través de la PTAR.



Figura 13. Desvío de agua residual a la quebrada Órganos

6.1.1 Tratamiento Preliminar o Pretratamiento

6.1.1.1 Rejillas

El primer paso que se lleva a cabo en el tratamiento preliminar de la PTAR de San Luis-Neiva, es el paso del agua residual a través de dos rejillas de barras circulares de 3/8 de pulgadas de diámetro ubicadas en la estructura de entrada, colocadas en orden, primero la rejilla gruesa y seguido de esta una rejilla fina (Ver figura 14). Las rejillas tienen una longitud de 0,43 m; la rejilla fina esta espaciada cada 0,018 m, y la gruesa cada 0,035m, las cuales cumplen la función de retener los residuos gruesos que pueden ser un inconveniente para el proceso. Se observó que la rejilla gruesa se encuentra en óptimas condiciones de uso sin embargo la rejilla fina los habitantes por desconocimiento y querer que el agua siguiera fluyendo por la planta realizaron un corte en las varillas (Ver figura 15), por lo que esta rejilla debe ser reemplazada por una nueva, con las condiciones de diseño iniciales de la planta de tratamiento. Se observó también que había acumulación de lodo y residuos en esta zona, estas rejillas deben ser limpiadas constantemente para evitar obstrucción del paso del agua y así no llegar a tomar a las medidas de dañar la estructura.

El pretratamiento es de gran importancia, ya que las partículas que se encuentran en el agua pueden ser perjudiciales en los sistemas o procesos de tratamiento, ya que a elevadas turbiedades inhiben los procesos biológicos y se depositan en el



medio filtrante causando elevadas pérdidas de carga y deterioro de la calidad del agua efluente de los filtros. Por lo que es tan necesario garantizar su buen funcionamiento (OPS, 2005).



Figura 14. Rejilla gruesa y rejilla fina **Figura 15.** Rejilla fina en malas condiciones

Seguido de este tratamiento se realiza el paso del agua residual al desarenador.

6.1.1.2 Desarenador

El desarenador es de tipo flujo horizontal y de forma rectangular, cuenta con vertedero rectangular de cresta delgada en la entrada y salida, cuenta con dos cámaras de sedimentación y en la salida que conduce a los lechos de secado con dos válvulas de globo (Ver figura 16).

Las dos cámaras de sedimentación permiten que cuando se esté en el proceso de limpieza uno de ellos no se utilice y el otro tenga la capacidad para tratar el caudal total que esté llegando a la planta. La operación de estas dos unidades consiste en ingresar el flujo por la parte inferior reduciendo su velocidad de tal manera que las arenas y partículas sólidas en suspensión se decanten y el flujo de agua ascienda.

El desarenador se encontró buen estado, sin embargo, se debe realizar el retiro del pañete y volver pañetar las paredes, ya que con el tiempo y la lluvia se fue deteriorando (Ver figura 17). También es necesario el retiro y posterior instalación de los vertederos de cresta delgada por malas condiciones.



Figura 16. Desarenador

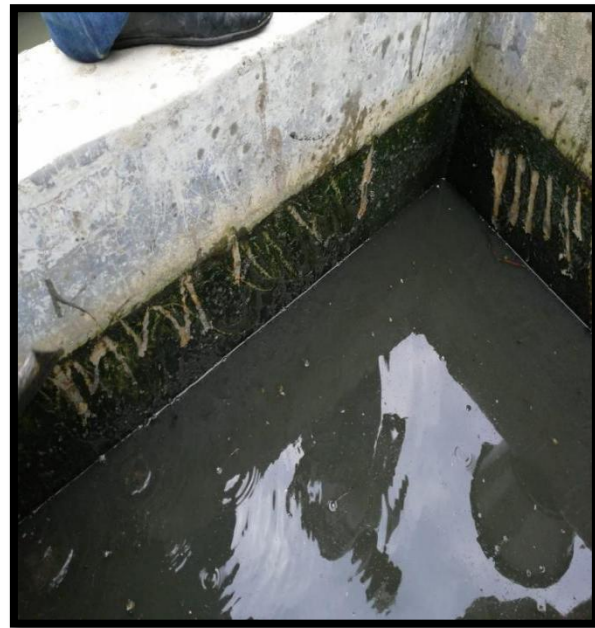
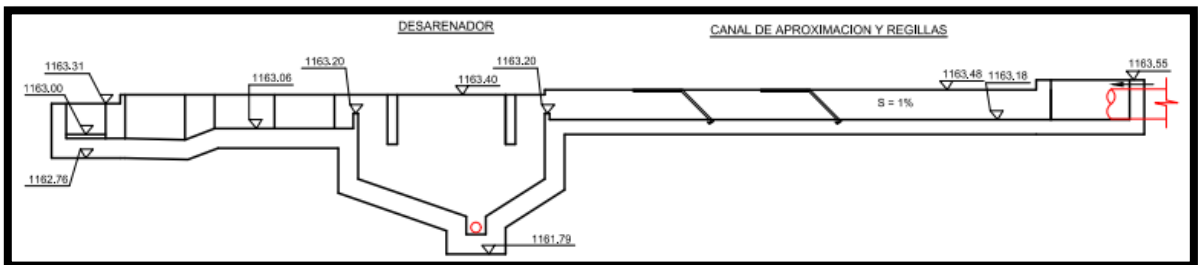


Figura 17. Pañete deteriorado del desarenador

Una de las dos válvulas de bola que conducen el agua residual al lecho de secado encontradas cada una a un lado del desarenador se halló colmatada, esto se pudo apreciar al momento de la abertura del flujo de agua. De acuerdo a este diagnóstico se debe ejecutar la compra y posterior instalación de esta válvula de bola.

En el diseño de la planta de tratamiento se incluye una tapa galvanizada de calibre 18 que protege al desarenador de la caída de vegetación, agua lluvia, permitiendo que cumpla una función correcta, sin embargo, en el momento de la visita no se encontró este elemento de gran importancia para llevar a cabo la decantación sin interrupciones por lo tanto se debe suministrar.



Empresas Públicas de Neiva, 2011. Plano del desarenador PTAR San Luis- Neiva
Figura 18. Plano perfil desarenador



6.1.1.3 Canaleta Parshall

Seguido del módulo de desarenador se encuentra la canaleta Parshall como medidor de flujo, la canaleta tiene las siguientes medidas:

Ancho de garganta $W=5,9'' = 0,149 \text{ m}$

Ancho en la entrada y salida: $0,4 \text{ m}$

La canaleta no se encuentra en condiciones adecuadas, su material en deterioro así que se debe colocar una nueva.

6.1.2 Tratamiento secundario

6.1.2.1 Reactor UASB

Como tratamiento anaerobio la planta de tratamiento de agua residual de San Luis – Neiva tiene un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB) en forma de tanque rectangular de concreto. El reactor UASB cuenta con dos módulos independientes o cámaras de distribución de $2,4 \text{ m}$ de ancho 5 m de largo y $4,6 \text{ m}$ de profundidad (Ver figura 19 y 20) donde se hace el ingreso del agua residual que viene del desarenador cada uno por una caja de distribución de caudal (Ver figura 21) que conecta a unas mangueras que van ancladas al piso por medio de unas platinas de amarre en fibra de vidrio (PRFV) que permiten el ingreso del agua distribuida de manera uniforme. Cuenta con dos separadores de gases, líquidos y sólidos (GLS) o también llamada campana en PRFV, cuenta con cuatro sistemas múltiple recolector de tubería de $\phi = 4''$ con orificios de $\phi = 1''$, dos tuberías de evacuación de gases de $\phi = 2''$ y dos válvulas de compuerta que dirigen al lecho de secado.

El reactor se encuentra todo con material vegetal, sedimentos y agua lluvia en él a causa de estar descubierto y sin uso, estructuralmente se halla en óptimas condiciones, el pañete de las paredes y pisos en deterioro por lo que se decide realizar el retiro del pañete y suministrarlo de nuevo. Es necesario el cambio de las dos cajas de distribución de caudal, las veinte mangueras que se conectan allí y las platinas de anclaje en PRFV, las dos campanas en fibra de vidrio (PRFV) (separador de las tres fases), la tubería baffle recolector en tubería PVC (Ver figura 19 y 20). Las dos válvulas de compuerta de la salida del reactor se encuentran en buen estado.

En el acta de recibo final se incluye la instalación de tratamiento de gases, como trampa de condensados con su soporte metálico, trampa de gases con su soporte metálico, medidor de gas, pero en el momento de la visita al lugar no se observa nada de esta instalación, según los habitantes del corregimiento que estuvieron presentes en el momento de la entrega de la obra nunca se suministró esa parte de



la planta, por lo tanto, nunca se realizó un tratamiento a la producción de gases que se daba en el reactor UASB durante sus años de funcionamiento, así que se emitía gas metano y dióxido de carbono producto del proceso de digestión anaerobia del agua residual directamente a la atmosfera (Lorenzo & Obaya, 2006). La emisión de gases al ambiente puede contribuir de manera positiva o negativa al ambiente. Una de las características de los gases es su capacidad de mezclarse completa y rápidamente entre sí, por lo que, aunque existan gases inofensivos, al estar en contacto con otros gases pueden convertirse en gases contaminantes (TORRES, 2011).

Según la resolución 0330 del 2017 debido alto potencial de efecto invernadero del metano (CH_4) contenido en el biogás producido en las plantas de tratamiento, ya sea proveniente de los reactores anaeróbicos o de los sistemas digestores de lodos, primarios o secundarios, se deberá como mínimo quemar la porción no aprovechada del biogás, con el fin de transformarlo en CO_2 . Es altamente recomendable su aprovechamiento dado a su alto poder calorífico, siempre y cuando el costo beneficio del proyecto de aprovechamiento sea favorable.

El dióxido de carbono como el metano son gases producidos de manera natural y son contribuyentes a el calentamiento global, el metano es mucho más preocupante como agente responsable del calentamiento global, que el dióxido de carbono, ya que tiene un potencial de calentamiento global de 62 veces mayor que este último. El metano contribuye actualmente con el 15% del Calentamiento Global, excluido el efecto del vapor de agua (Coto, 2013).

En el tratamiento de aguas residuales y adaptación a la variabilidad y cambio climático se debe tener en cuenta el mejoramiento de los procesos para la disminución de la eliminación de gases de efecto invernadero (CO_2 , CH_4 , N_2O , entre otros) y el aprovechamiento del biogás como opción energética en la operación en la operación y mantenimiento de las plantas (Ministerio Vivienda, 2017).



Figura 19. Reactor UASB sin tratamiento de gases



Figura 20. Reactor UASB



Figura 21. Caja de distribución del caudal

6.1.2.1.1 Proyección de la población para el centro poblado San Luis- Neiva

6.1.2.1.1.1 Tasa de crecimiento poblacional del área rural y población futura

La tasa de crecimiento se calcula teniendo en cuenta el periodo entre los dos censos realizados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística en Colombia tomando el número de habitantes en el área rural para el año 2005 y el siguiente en el 2018, por lo que $t = 13$ años.

$$P_t = P_0 (1 + r)^t.$$

$P_0 = 9'964.362$ según Censo Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) 2005

$P_t = 11'051.195$ Según Censo Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) 2018

$r = ?$ tasa de crecimiento

Por lo tanto, despejamos la tasa de crecimiento poblacional de la siguiente ecuación:

$$P_t = P_0 (1 + r)^t.$$

$P_{13} = P_0 (1 + r)^{13}$ despejando el factor $(1 + r)^{13}$ queda la ecuación,



$(1 + r)^{13} = P_{13} / P_0$ sustituyendo P_{13} y P_0 por sus respectivos valores se tiene,

$$(1 + r)^{13} = 11'051.195 / 9'964.362$$

$(1 + r)^{13} = 1,10907$ elevando ambos miembros de la ecuación a la $1/13$ se obtiene,

$$1 + r = (1,10907)^{1/13}$$

$$1 + r = 1,007 \quad \text{el 1 pasa restando y nos queda la ecuación,}$$

$$r = 1,007 - 1$$

$$r = 0.007$$

La tasa de crecimiento de la población del área rural es de 0,7% anual.

Para la proyección de la población se utilizará la siguiente fórmula:

$$P_F = P_a (1 + K)^{td}.$$

$$P_F = 300 (1 + 0,007)^{25} = 357 \text{ habitantes}$$

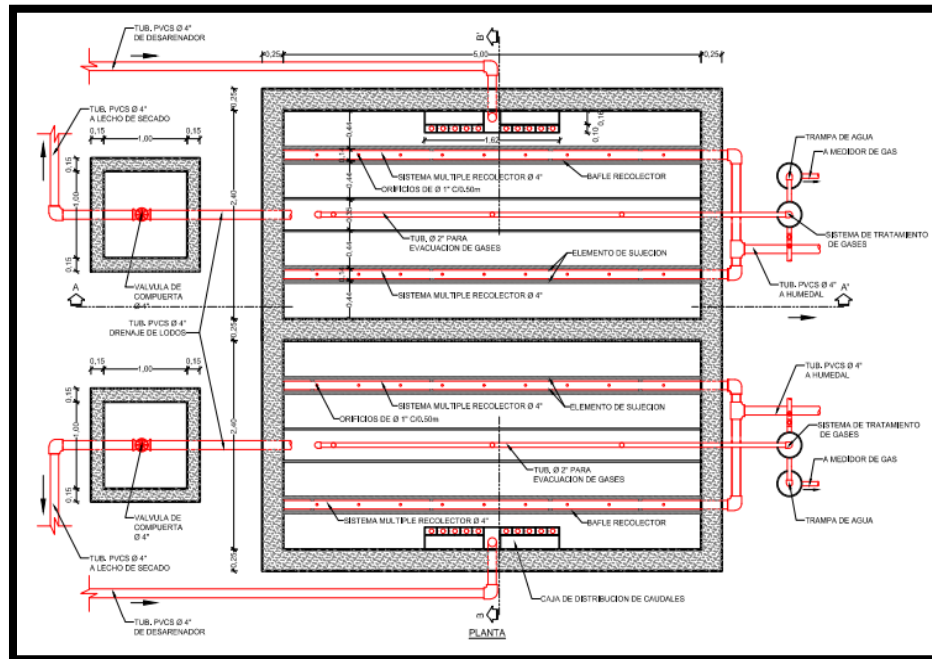
De acuerdo a los censos de la población de la zona rural de Colombia del año 2005 y 2018 se halló una tasa de crecimiento de la población de 0,7 % anual. Con esta tasa de crecimiento anual se realizó una proyección para el centro poblado San Luis- Neiva hacia el 2043 (periodo de diseño se determina a 25 años) obteniendo que la población futura es de 357 habitantes, teniendo actualmente una población de 300 habitantes.

6.1.2.1.2 Caracterización del agua residual doméstica (ARD)

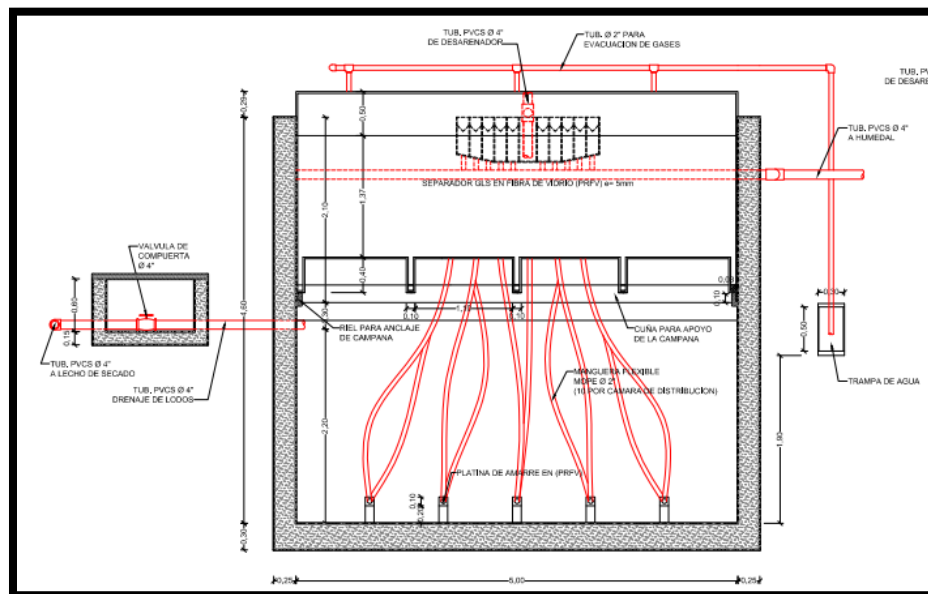
El ARD presenta valores de pH alrededor de la neutralidad, con una demanda bioquímica de oxígeno –DBO– constituida por 40 a 60 % de la demanda química de oxígeno –DQO–, la cual en general varía entre menos de 250 y 800 mg/L (Mendonça, 2000). Los sólidos suspendidos (SS) varían entre 100 y 400 mg/L y pueden contribuir con un 30 a 70 % de la DQO; los nutrientes varían entre 10 y 100 mg N/L, 5-25 mg P/L y 10-40 mg K/L (Mara y Cairncross, 1990).

6.1.2.1.3 Volumen del reactor (Vol)

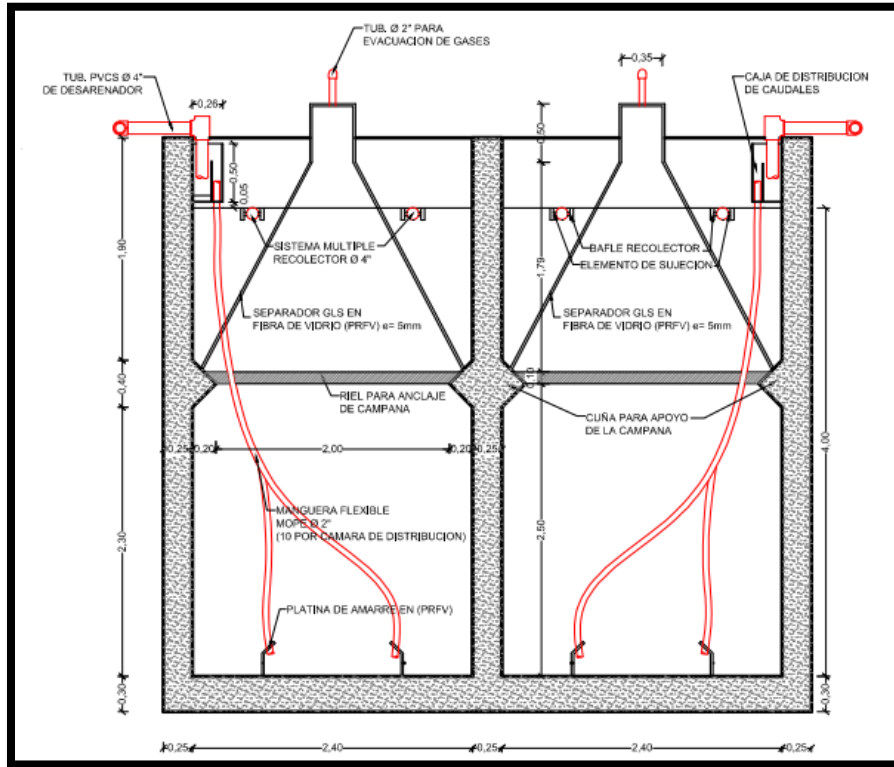
Se halla el volumen del reactor utilizando las medidas del plano (ver figura 15, 16 y 17), siendo este de 110,4 m³.



Empresas Públicas de Neiva,2011. Plano planta reactor UASB PTAR San Luis-Neiva (**Figura 22**). Plano planta del reactor UASB



Empresas Públicas de Neiva,2011. Plano corte A-A' reactor UASB PTAR San Luis-Neiva (**Figura 23**). Plano perfil corte A-A' reactor UASB



Empresas Públicas de Neiva, 2011. Plano B-B' reactor UASB PTAR San Luis- Neiva (Figura 24). Plano perfil corte B-B' reactor UASB

6.1.2.1.4 Tiempo de Retención hidráulica (TRH)

$$TRH = \frac{Vol}{Q_{med}}$$

$$Q_{med} = consumo * CR * P_F$$

Según (Orozco, 2005) el coeficiente de retorno que define la fracción de agua consumida en una vivienda que va al alcantarillado, usualmente está entre 0.8 y 0.9. Por lo que se toma el valor medio siendo este de 0,85. También define el consumo por vivienda (de 20 a 30 $\frac{m^3}{mes}$, o unos 200 a 250 $\frac{L}{hab*día}$). Por lo que un valor medio de consumo por vivienda es 225 L/hab día.

$$Q_{med} = 225 \frac{L}{hab\ dia} * 0,85 * 357 = 68276,2 \frac{L}{dia} = 2,84 \frac{m^3}{hr} = 68,27 \frac{m^3}{dia}$$

$$TRH = 110,4 m^3 / 2,84 (m^3/hr) = 38,87 hr$$



El tiempo de retención hidráulica del reactor UASB de la PTAR de San Luis Neiva es 38,87hr. Según el RAS 2000 para el tratamiento de aguas residuales municipales deben utilizarse tiempos mínimos de retención de seis horas, que pueden llevar a una remoción hasta del 80% en la DBO₅. Según Caldera et al, 2003 al evaluar el TRH de 36 hr, por 28 días, en un reactor UASB obtuvo un porcentaje de remoción de DQO promedio de 88%.

Debido a que es pequeña la población el caudal del agua residual que viene del centro poblado de San Luis Neiva también es pequeño, es decir, el tiempo de retención es largo, ya que no hay mucho flujo, lo que permiten el crecimiento de la biomasa dispersa, lo cual es menos favorable para la formación de gránulos (Torres, 2018). Para tiempos de retención largos la concentración de AGV es menor porque la velocidad a la que se producen los ácidos orgánicos es menor que la velocidad de consumo de éstos (Monroy, 1994).

Según el estudio Caldera et al., 2003 sobre los efectos del tiempo de retención hidráulica en el funcionamiento de un reactor UASB, evaluados en 36 hr, 24hr y 12hr; al disminuir el TRH se observa una tendencia a disminuir el porcentaje de remoción de DQO y aumentar la carga orgánica y la producción de biogás.

6.1.2.1.5 Carga Orgánica volumétrica (Cv)

Según (Orozco, 2005) en tabla 1.:

La temperatura promedio de la ciudad de Neiva es de 27,7 °C por lo que en la tabla anterior se interpola entre la temperatura 25 y 30 °C:

$$(X_1, Y_1) = (25, 6)$$

$$(X, Y) = (27, 7, Y)$$

$$(X_2, Y_2) = (30, 18)$$

$$Y = Y_1 + m(X - X_1) = 6 + 2,4(27,7 - 25) = 12,48$$

$$m = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)} = \frac{18 - 6}{30 - 25} = 2,4$$

Obteniendo así una carga volumétrica de 12,48 kgDQO/m³ día, es decir al reactor le entra una masa de materia orgánica de 12,48 kg en 1 m³ al día. Según Lorenzo & Rojas, 2010 para consideraciones de diseño para reactores UASB, la carga orgánica volumétrica máxima recomendada es de 20 kg DQO/m³día y con un tiempo de residencia prolongado es posible obtener una alta remoción de sustrato. Sin embargo, generalmente se establecen cargas orgánicas volumétricas entre 4 y 12 kgDQO/m³. día, aunque pueden llegar a obtenerse valores de 30 kgDQO/m³ día



para lograr menores tiempos de retención y disminuir el volumen del reactor (Terry, Fernandez & Zenia, 2008).

6.1.2.1.6 Velocidad ascensional y altura del reactor

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{Q * H}{Vol} = \frac{2,84 \frac{m^3}{hr} * 4,6m}{110,4 m^3} = 0,1183 \frac{m}{hr}$$

La velocidad ascensional es de 0,1183 m/hr. Según Chernicharo de Lemos, 2007 las velocidades de flujo ascendente recomendado para el diseño de reactores anaerobios de flujo ascendente que tratan aguas residuales domésticas con un flujo promedio (gasto del afluente) es de 0,5 a 0,9 m/hr, igualmente según Lorenzo & Rojas, 2010 para mantener el manto de lodo en suspensión y favorecer los procesos de granulación, es necesario que la velocidad de flujo ascendente tenga un valor entre 0,5 y 1 m/hr (Terry, Fernandez & Zenia, 2008), por lo que no se estaría cumpliendo dentro de esos rangos recomendados.

La altura de lodo es directamente proporcional a la velocidad ascensional que se aplica, la altura de lodo en un 96 % es afectado por la velocidad ascensional, el porcentaje que hace falta para el 100 %, se debe a el crecimiento biológico de biomasa en el reactor UASB. Entonces, la velocidad ascensional es un parámetro clave en la expansión de lodo del reactor UASB (Castro, Cecilio, Gonzales & Sumarriva, 2019). La aplicación de tiempos de retención cortos junto con velocidades ascensionales altas propicia el lavado de biomasa dispersa o ligera y promueve la granulación (Terry, Fernandez & Zenia, 2008).

La velocidad ascensional en el reactor será menor o igual a 1 m/h y su altura deberá estar entre 4 y 5 m (Orozco, 2005). Esto se cumple para el reactor UASB de la PTAR del corregimiento de San Luis Neiva.

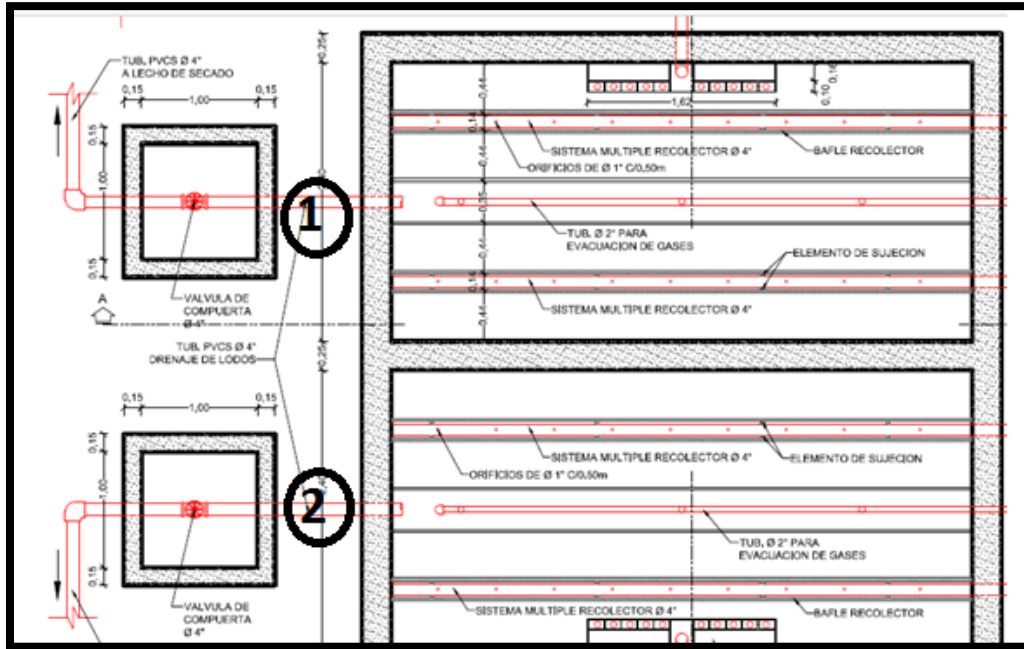
6.1.2.1.7 Purga

La producción de lodos en este tipo de reactores es menor, comparada con el volumen generado en un proceso aerobio, por lo que no se requiere una purga constante. La remoción de lodos se deberá hacer cuando estos ocupen un volumen mayor a un tercio de la capacidad del reactor (CONAGUA, 2015).

Se considera exceso de lodos desde una altura de 1,5 m de la profundidad del reactor, es conveniente evacuar o realizar purga desde el fondo del reactor, con el fin de evitar que se consolide lodo con poca actividad biológica. La purga debe ser realizada hacia un lecho de secado de lodos (Claros, 2017). El sistema de purga



que presenta el reactor está ubicado por la base del reactor con sistema de llaves y tubería por gravedad, ya que existe carga hidráulica (Ver figura 25).



Empresas Públicas de Neiva, 2011. Plano planta reactor UASB PTAR San Luis-Neiva (**Figura 25**). Ubicación del sistema de purga que presenta el reactor UASB de la PTAR de San Luis -Neiva.

6.1.2.1.8 Producción de lodo

$$P = YDQO_{aplicada}$$

Los valores de Y reportados para el tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas varían entre 0.1 y 0.20 kg SST/kg de DQO_{aplicada}.

La carga contaminante es:

$$DQO \left(\frac{Kg}{dia} \right) = 68270 \frac{L}{dia} * 0,000525 \frac{kg}{L} = 35,84 \frac{kg}{dia}$$

$$P = 0,15 \frac{SST}{Kg} * 35,84 \frac{Kg}{dia} = 5,37 Kg SST/día$$

Los tratamientos anaerobios presentan ventajas sobre los sistemas aerobios respecto a su sostenibilidad energética y su baja producción de lodos residuales, en este caso, la producción de lodos es de 5,37 KgSST/día (Alayón, 2020). Por lo



tanto, esta ventaja del proceso en un reactor UASB hace precisamente que los costos de tratamiento del lodo y su transportación posterior sean relativamente bajos (Lorenzo y Obaya, 2006).

6.1.2.1.9 Carga de DQO convertida a metano y producción de biogás

$$DQO_{CH_4} = Q(S_o - S) - Y_{obs}QS_o$$

Tenemos que la concentración de DQO en el afluente es de $S = 0,525 \frac{Kg}{m^3}$, según los límites normativos de Colombia la eficiencia de un reactor UASB para DQO es del (60%-80%) (Gómez, Salazar, Uribe & Zafra, 2019). Así que tomamos un promedio de la eficiencia siendo esta un 70% para obtener la concentración de DQO en el efluente $S_o = 0,3675 \frac{Kg}{m^3}$.

El coeficiente de producción de sólidos en el sistema Y_{obs} , en términos de DQO es de 0.11 a 0.23 kg DQOlodo/kg DQOaplicada así que tomamos el promedio siendo este 0,17 kg DQOlodo/kg DQOaplicada.

Conociendo estos valores lo reemplazamos en la ecuación siguiente:

$$DQO_{CH_4} = 2,84 \frac{m^3}{hr} \left(0,525 \frac{Kg}{m^3} - 0,3675 \frac{Kg}{m^3} \right) - 0,17 \frac{kgDQOlodo}{kgDQOaplicada} * 2,84 \frac{m^3}{hr} * 0,3675 \frac{Kg}{m^3}$$

$$DQO_{CH_4} = 0,2698 Kg DQO_{CH_4}/d$$

El proceso anaerobio se acepta para operación a temperaturas mayores a 10°C, pero preferiblemente a temperaturas mayores a 20°C, por lo que se toma una temperatura de operación del reactor de 25 °C (Gualteros & Rendón, 2007). Con esto calculamos el factor de corrección K(t) dependiendo de la temperatura de operación del reactor (kg DQO/m³):

$$K(t) = \frac{1 atm * 64gDQO/mol}{0.08206 atm L/mol K(273 + 25)}$$

$$K(t) = 2,66$$



Ya teniendo este factor se calcula la producción volumétrica de metano:

$$DQO_{CH_4} = \frac{0,2698 \text{ Kg } DQO_{CH_4}/d}{2,66}$$

$$DQO_{CH_4} = 0,1014 \text{ m}^3/d$$

Según el estudio de Pacco et.al (2018) la producción volumétrica de metano es mayor a menores tiempos de retención y mayor carga volumétrica obteniendo para TRH de 4 días y VCO de 1,6 KgDQO/m³ día y un TRH de 2 días y VCO de 3,7 KgDQO/m³ día producciones volumétricas de metano de 0,21 m³/día y 0.86 m³/día respectivamente. Igualmente ocurrió en el estudio de dos reactores UASB en serie de Santana y Oliveira (2005) se registró la misma tendencia creciente, con producciones volumétricas promedio de metano de 0,594 y 0,899 m³/día, para VCO aplicadas de 3,4 y 7,43 kg DQO/m³día, respectivamente. Por lo que se observó que la producción de metano en el reactor UASB de la PTAR de San Luis Neiva, es pequeña, siendo esta de 0,1014 m³/día.

Es posible calcular la producción del biogás a partir del porcentaje de metano en el biogás. Si se adopta un contenido de metano de 75 por ciento.

$$Q_g = \frac{Q_{CH_4}}{0,75}$$

$$Q_g = \frac{0,1014 \text{ m}^3/d}{0,75}$$

$$Q_g = 0,1352 \text{ m}^3/d$$

Por lo que la producción volumétrica del biogás es $Q_g = 0,1352 \text{ m}^3/d$ ia. La producción de biogás en un reactor anaerobio que trata agua residual es pequeña porque la concentración de materia orgánica biodegradable es baja y una considerable parte de la producción de biogás se disuelve en la fase líquida (Burbano, 2006). La producción de biogás es importante, ya que con el incremento de su producción hace que la concentración del lodo en la zona dispersa aumenta y mientras mayor sea la cantidad de lodos en la zona de dispersión, mayor será la capacidad de biodegradación, por lo tanto, la producción de biogás será máxima (Lorenzo & Obaya, 2006).

6.1.2.2 Tratamiento de lodos

En la PTAR de San Luis la producción de los lodos es pequeña. Los lodos del tratamiento primario y el agua residual del reactor UASB es dirigida al lecho de secado.

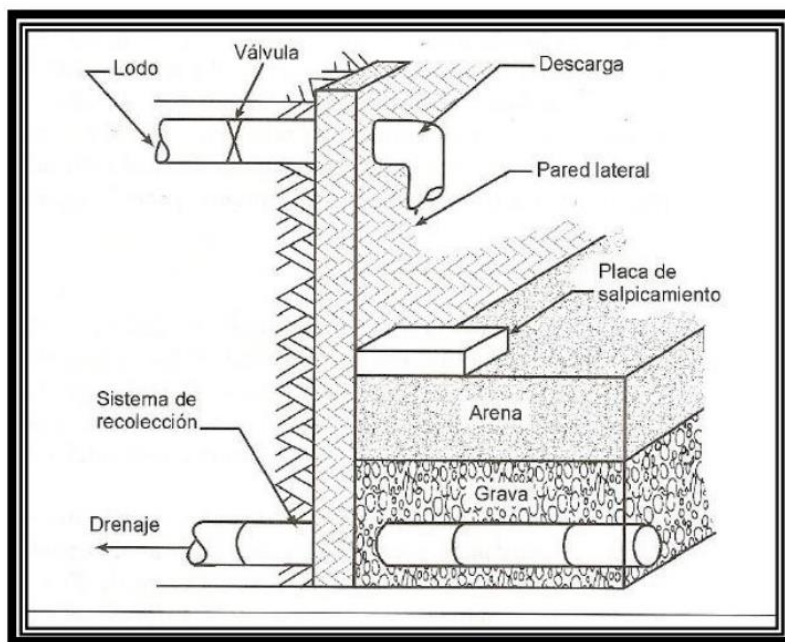


6.1.2.2.1 Lecho de secado

El lecho de secado consiste en un lecho de arena que recibe los lodos estabilizados del reactor y los lodos del desarenador que, por filtración y evaporación, se produce la deshidratación (Ver figura 26 y 27).

El ingreso de los lodos se da por la tubería en PVC de 4 pulgadas de diámetro que viene del reactor UASB y del desarenador a los dos compartimientos del lecho de secado de sección rectangular de 3 metros de ancho y 4 metros largo cada uno, con muros perimetrales de 0,15 m de espesor y 1,0 m de altura, en la entrada se encuentra dos válvulas de compuerta que permiten su ingreso. Los lodos caen en una pequeña placa de concreto y se esparcen sobre el ladrillo común, luego pasan por un filtro que inicia con arena fina (ϕ 0,03 mm) de 0,15 m de espesor, luego arena gruesa (ϕ 0,75 mm) de 0,10 m de espesor, grava fina (ϕ 10 mm) de 0,15 m de espesor y grava media (ϕ 25 mm) 0,10 m de espesor. Después del filtro, se encuentra una tubería PVC perforada de 4 pulgadas de diámetro que permite la recolección de los lixiviados y debajo de esta tubería se ubica la grava fina (Ver figura 18 y 19). Estos lixiviados se dirigen a una caja de inspección que luego se dirige al humedal.

La estructura de los lechos de secado está cubierta con tejas traslúcidas soportadas sobre vigas, correas metálicas y columnas.



Galeano, L y Rojas V. 2016 propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Velez-Santander. (**Figura 26**). Ilustración perfil del lecho de secado

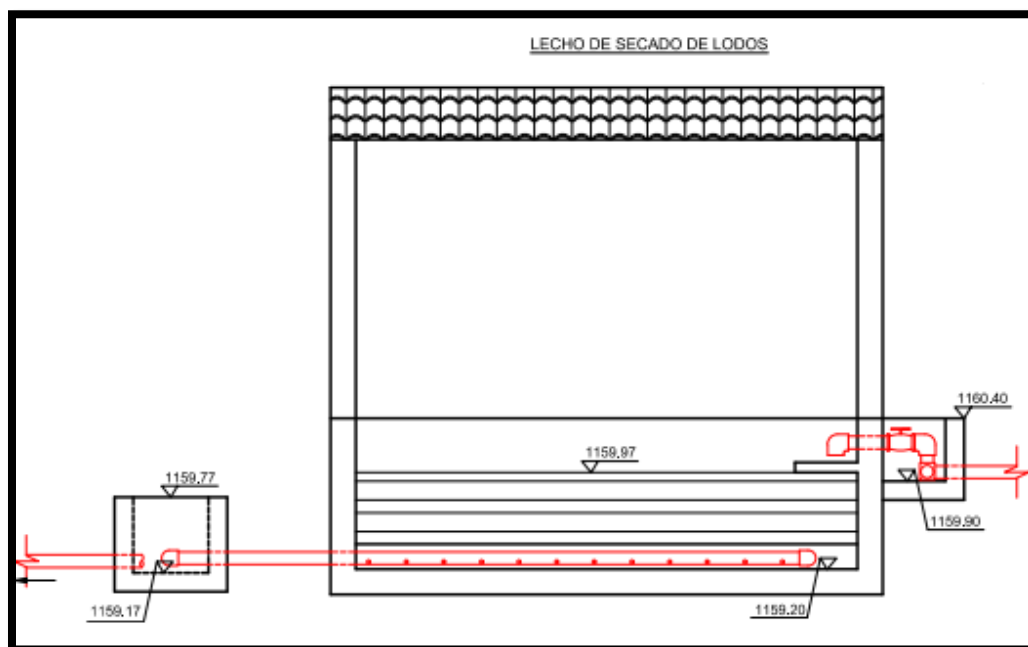


El lecho de secado estructuralmente se encontró bien, su cubierta con tejas translúcidas, correas metálicas y columnas en buen estado, igualmente las válvulas de compuerta y el filtro de arena y grava, observando que el flujo ingresó y se esparció sobre el ladrillo común infiltrándose de manera correcta.

Se observó ruptura en la tubería que conduce el agua residual del reactor al lecho de secado por invasión de raíces en la zona (Ver figura 28 y 29).

No se encontró en la PTAR algún manejo de la disposición final de los lodos. Una de las principales formas de aprovechamiento de los lodos es como fuente de energía o mejoradores de suelo en la agricultura. Como mejoradores del suelo se incorporan a este, abasteciéndolo de nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal (nitrógeno y fósforo), micronutrientes (níquel, zinc y cobre), renovando la materia orgánica, mejorando la textura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. Se pueden utilizar en terrenos agrícolas, bosques, campos de pastoreo, o en terrenos alterados que necesitan recuperación. Los lodos pueden servir también como una alternativa o sustituto al menos parcial de los costosos fertilizantes químicos (Limón, 2013).

También se ha mostrado que, debido a la composición de los lodos aminoacídica, calidad sanitaria, concentraciones de nitrógeno y proteína bruta, puede ser utilizado como alimento animal (Figuerola, 1993) (Perez, 1998).



Empresas Públicas de Neiva, 2011. Plano perfil lecho de secado PTAR San Luis-Neiva (**Figura 27**). Plano perfil lecho de secado



Figura 28. Lecho de Secado



Figura 29. Tubería rota del reactor al lecho de secado



6.1.2.3 Tratamiento terciario

6.1.2.3.1 Humedal artificial

En la PTAR de San Luis como tratamiento terciario se tiene un humedal artificial con el propósito de disminuir las cargas contaminantes que afectan el recurso hídrico las cuales no fueron eliminadas en tratamientos anteriores. Las aguas residuales al entrar en contacto con las raíces de las macrófitas realizan el proceso de fitodepuración en cuanto a capturar y retener contaminantes presentes, también permiten eliminar una fracción elevada de los virus y las bacterias presentes en el afluente. Adicionalmente, en el tratamiento terciario se reduce la turbiedad del agua residual hasta niveles muy bajos.

El humedal cuenta en el fondo con una geomembrana, seguido de esta se ubica una arena gravosa de ϕ 0.93 cm y sobre ella la plantación de macrófitas. El ingreso del agua residual al humedal que viene del lecho de secado se realiza por el lado derecho (Ver figura 30) por medio de una tubería en PVCS ϕ 4", esta llega a la cámara de entrada y pasa por la pantalla de distribución con 174 orificios de ϕ 2" distribuidos en 4 filas y separados 0,25 m entre ejes, de ahí pasa el agua residual sobre las plantas. Al lado derecho se encuentra otra pantalla de distribución por donde se realiza la salida del agua y finalmente a una caja de distribución y a la quebrada Órganos.

Como la PTAR se dejó en abandono, el humedal se encontró igualmente seco, invadido de vegetación (maleza), en mal estado las dos válvulas de globo ϕ 4" que dan ingreso al humedal, la geomembrana, la arena gravosa, el sistema múltiple colector (tubería PVCS ϕ 4" con orificios $d=0.01m$) de la salida del humedal (Ver figura 31). Es decir, se debe realizar un cambio e instalar de nuevo. Además de esto realizar plantación de macrófitas (Ver figura 30). Los tratamientos de aguas residuales que involucran macrófitas flotantes han demostrado ser eficientes en la remediación de aguas con contenidos de nutrientes, materia orgánica y sustancias tóxicas como arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo, y mercurio. Su importancia radica en su aptitud para ser empleados en núcleos rurales debido a su bajo consumo de energía convencional y la practicidad en el montaje y operación de los sistemas de tratamiento (Lara & Martelo). En un estudio realizado por Ramos, Rodríguez, Martínez (2007) del uso de macrófitas en un humedal artificial lograron reducir todos los parámetros, pH, DQO, el ion calcio, el ion cloruro, el nitrito, el amonio y fosfato.

El tratamiento terciario supone generalmente, la necesidad de remover nutrientes para prevenir la eutrofización de las fuentes receptoras o de mejorar la calidad de un efluente secundario con el fin de adecuar el agua para su uso (Pineda,2017).

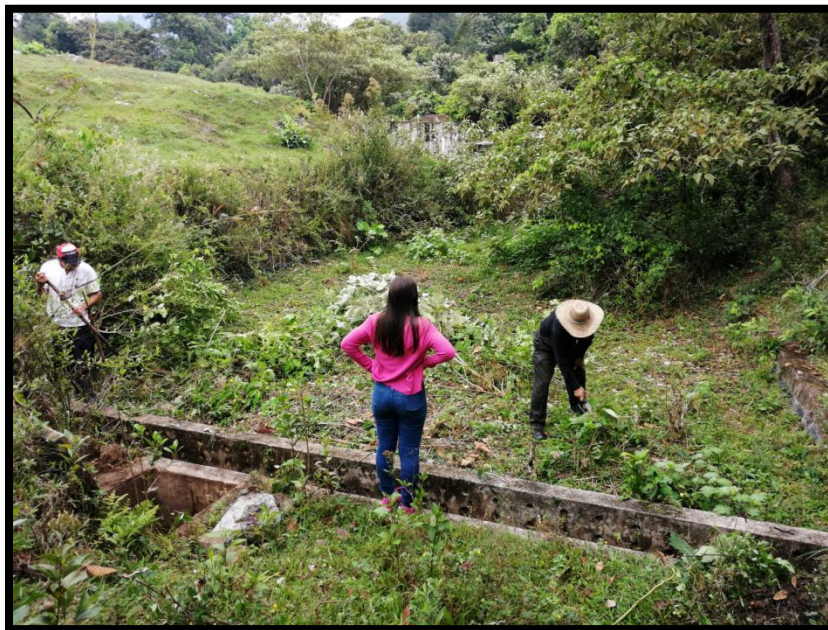
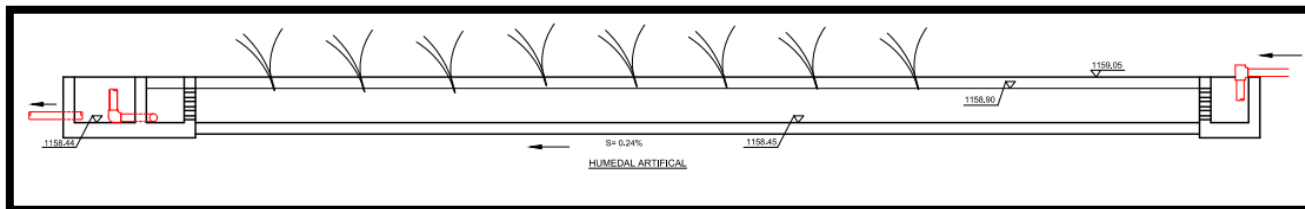


Figura 30. Humedal cubierto de material vegetal



Figura 31. Sistema múltiple colector de la salida del humedal



76

7 PRESUPUESTO

Tabla 2. Resumen presupuesto planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con reactor UASB centro poblado San Luis Neiva

DIAGNOSTICO DEL ESTADO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) CON REACTOR UASB DEL CENTRO POBLADO SAN LUIS MUNICIPIO NEIVA, DEPARTAMENTO DEL HUILA					
				FECHA:	MAYO 2019
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	V/UNIT	V/TOTAL
1	PRETRATAMIENTO				
1.1	Limpieza área de pretratamiento (Desarenador). Incluye transporte.	UND	1,00	\$435.212,0	\$435.212,0
1.2	Demolición de pañete (e = 0.015 m) incluye retiro	M2	28,00	\$23.769,0	\$665.532,0
1.3	Retiro de canaleta parshall	UND	1,00	\$18.825,0	\$18.825,0
1.4	Retiro, suministro e instalación vertedero acrílico entrada desarenador 5mm, según diseño.	UND	1,00	\$243.233,0	\$243.233,0
1.5	Retiro, suministro e instalación vertedero acrílico salida desarenador 5mm, según diseño.	UND	1,00	\$243.233,0	\$243.233,0
1.6	Retiro, suministro e instalación rejilla acero inoxidable gruesa, según diseño.	UND	1,00	\$208.257,0	\$208.257,0
1.7	Pañete impermeabilizado para muros con mortero 1:3. espesor 1.5 cm.	M2	22,00	\$18.694,0	\$411.268,0
1.8	Pañete impermeabilizado con mortero 1:4. espesor 1.5 cm.	M2	6,00	\$15.988,0	\$95.928,0
1.9	Filos y dilatación de pañete.	ml	95,00	\$7.444,0	\$707.180,0
1.10	Suministro e instalación canaleta parshall, según diseño.	UND	1,00	\$2.260.170,0	\$2.260.170,0
1.11	Suministro e instalación válvula de bola d=4", Incluye Retiro de válvulas existentes y accesorios para el óptimo funcionamiento.	UND	2,00	\$848.321,0	\$1.696.642,0
1.12	Suministro e instalacion tapa laminada galvanizada cal 18, según diseño.	UND	1,00	\$76.749,0	\$76.749,0
1.13	Elaboración (en obra) y Suministro de concreto simple 3000psi	M3	0,10	\$408.345,0	\$40.834,5
TOTAL CAPITULO					\$7.103.063,5
2	REACTOR UASB				
2.1	Limpieza reactor UASB. Incluye extracción del material sedimentado y transporte.	UND	1,00	\$10.095.927,0	\$10.095.927,0
2.2	Demolición de pañete (e = 0.015 m) incluye retiro	M2	210,00	\$23.769,0	\$4.991.490,0
2.3	Suministro e instalacion manguera PN 10 d=2", según diseño. Incluye Retiro de mangueras presentes.	UND	20,00	\$53.777,0	\$1.075.540,0
2.4	Retiro, suministro e instalación caja distribución caudal PRFV, 3mm, según diseño.	UND	2,00	\$1.921.498,0	\$3.842.996,0
2.5	Retiro, suministro e instalación campana en PRFV, cerrada 5mm, según diseño. Incluye accesorios y todo lo necesario para su correcto funcionamiento.	UND	2,00	\$6.808.315,0	\$13.616.630,0
2.6	Retiro, suministro e instalación de baffle recolector en tubería PVC Ø= 4", incluye perforaciones según diseño.	UND	4,00	\$44.591,0	\$178.364,0
2.7	Pañete impermeabilizado para muros con mortero 1:3. espesor 1.5 cm.	M2	140,00	\$18.694,0	\$2.617.160,0
2.8	Pañete impermeabilizado con mortero 1:4. espesor 1.5 cm.	M2	70,00	\$15.988,0	\$1.119.160,0
2.9	Filos y dilatación de pañete.	ML	95,00	\$7.444,0	\$707.180,0
2.10	Retiro, suministro e instalación platina en PRFV, anclaje de manguera 2", 4mm, según diseño.	UND	20,00	\$42.078,0	\$841.560,0
TOTAL CAPITULO					\$39.086.007,0
3	LECHOS DE SECADO				
3.1	Limpieza lecho de secado PTAR	UND	1,00	\$40.482,0	\$40.482,0
3.2	Suministro e instalacion de tubería d=4" de reactor a lecho de secado, incluye excavacion, retiro de tuberia averiada, relleno con material seleccionado, accesorios y todo lo necesario para su correcto funcionamiento.	ML	6,00	\$54.590,0	\$327.540,0
TOTAL CAPITULO					\$368.022,0
4	HUMEDAL				
4.1	Desmonte y limpieza humedal PTAR, Incluye transporte.	UND	1,00	\$1.100.915,0	\$1.100.915,0
4.2	Retiro de grava =0,93 cm y 3/4". Incluye clasificación y reutilización del 50%.	M3	79,52	\$31.986,0	\$2.543.526,7
4.3	Disposición final de grava no aprovechable. incluye trasporte.	M3	39,76	\$186.399,0	\$7.411.224,2
4.4	Suministro e instalacion de valvulas de globo d=4" , incluye accesorios.	UND	2,00	\$846.727,0	\$1.693.454,0
4.5	Suministro e instalacion sistema multiple recolector PVC (orificios d=0,01m). Segun Diseños.	ML	10,00	\$68.396,0	\$683.960,0
4.6	Suministro e instalacion de grava seleccionada y relavada d=0,93 cm y 3/4", según diseños.	M3	39,76	\$308.536,0	\$12.267.391,4
4.7	Retiro de geotextil	M2	280,00	\$4.965,0	\$1.390.200,0
4.8	Suministro e instalación geotextil PAVCO geomembrana cal 20 =0,5mm, según diseños.	M2	280,00	\$15.000,0	\$4.200.000,0
TOTAL CAPITULO					\$31.290.671,3
TOTAL COSTOS DIRECTOS					\$77.847.763,8
COSTOS INDIRECTOS (AIU 25%)					\$19.461.941,0
TRANSPORTE DE MATERIALES		Viaje	2,00	\$ 900.000	\$ 1.800.000
TOTAL PROYECTO					\$ 99.109.705
	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA				
	Contratista				
	SADRS				



8 CONCLUSIONES

- La evaluación en cada una de las partes de la PTAR San Luis- Neiva, permite establecer una caracterización del estado actual y hallar las irregularidades que se presentan consecuentes al deterioro por el abandono y la exposición al aire libre, requiriendo de un cambio total de algunos de sus componentes. Adicional permití inferir que el encontrarse sin funcionamiento es causa de no contar con el personal ni un manual o unas instrucciones que guíen al operario con conocimientos técnicos y de seguridad mínimos que se requieren para desempeñar las funciones de operación y de mantenimiento de la PTAR.
- En el reactor UASB de la planta de tratamiento de San Luis-Neiva se presenta un alto tiempo de retención hidráulica, lo que indica según varios estudios, que genera una mayor eficiencia de remoción de DQO, la carga volumétrica hallada se encuentra por debajo de la máxima recomendada, sin embargo, la velocidad ascensional no se encuentra en el rango recomendado para el diseño, encontrándose inferior a este rango, esta va directamente proporcional a la altura del lodo, lo que no permite un buen contacto del afluente con el lodo. En cuanto a la producción de biogás es baja haciendo que la concentración del lodo en la zona dispersa sea poca, por ende, menor la capacidad de biodegradación.
- De acuerdo a las problemáticas encontradas, se propuso y se presupuestó todas las optimizaciones necesarias que pondrán a la PTAR en condiciones de funcionando al servicio de la comunidad de San Luis Neiva, calculando así un presupuesto de 99'109.705 COP. Estas optimizaciones permitirán reducir la contaminación ambiental y la carga contaminante que se presenta hacia la quebrada Órganos y posteriormente al río Aipe por lo que se garantiza el desarrollo de los ecosistemas que lo rodean.
- Se logra presentar las instrucciones guías como anexo 2 para el proceso de operación y mantenimiento, donde se le brinda al operario las acciones con sus frecuencias a realizar que certifican el buen uso y mantenimiento de cada una de las estructuras de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) San Luis -Neiva.



9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriana María Quinchía, Dora María Carmona. (2004). FACTIBILIDAD DE DISPOSICIÓN DE LOS BIOSÓLIDOS GENERADOS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES COMBINADA. *Scielo*.
- Agarwal, N., Agarwal, P. y Gupta, R. (2019). Advances in synthesis and applications of microalgal nanoparticles for wastewater treatment. *Journal of Nanotechnology*, 2019, 1- 9. doi: 10.1155/2019/7392713
- Alayón Salmerón Waleska. (2020). *EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO CON UN REACTOR DE MANTO DE LODOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB) DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A TEMPERATURA MESOFÍLICA*. San Cristobal de La Laguna.
- Alexander Rodrigo Melo Cerón, Alejandra Rodríguez González y Juan Manuel González Guzmán. (2016). *Manejo de Biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay*. Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1851/2070>
- Andres Leonardo Muñoz Rodriguez, Erika Alejandra Cruz Camacho . (2019). *DIAGNÓSTICO Y REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA SEDE PITALITO Y EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LA QUEBRADA EL PITAL* . Pitalito.
- Anisley Amador-Díaz, Eliet Veliz-Lorenzo, Mayra Bataller-Venta. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *CENIC*.
- Arce, M. D. (2011). *Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media- alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo*.
- Arnandis, E. B. (2010). *Estudio de la influencia del tiempo de retención hidráulico en un reactor biológico secuencial (SBR) de depuración de aguas residuales procedentes de una tenería y optimización de la fase de sedimentación* .
- Barsanti, L. y Gualtieri, P. (2014). *Algae. Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*, Second Edition. doi: 10.1201/b16544
- Burbano Cendales Ary Mauricio. (2006). *UTILIZACIÓN DEL METANO GENERADO EN UN REACTOR ANAEROBIO COMO FUENTE DE ENERGÍA EN UNA INDUSTRIA DE GASEOSAS* . Bogotá.
- Cabezas Sánchez David. (2013). *DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (PTARD) DEL AEROPUERTO EL EDÉN DE ARMENIA* . Valle del Cauca.



- Caldera M.Yaxcelys A., Madueño M Pedro I., Griborio D. Alonso G., Gutiérrez G. Edixon C., y Fernández A.Nola M. (2003). *Efecto del tiempo de retención hidráulica en el funcionamiento de un reactor UASB tratando efluentes cárnicos*. Maracaibo, Venezuela.
- Caro Velasco, Orlando. (2014). *DIAGNOSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE AGUA RESIDUAL DE PUENTE NACIONAL SANTANDER*. Bogotá.
- Castro Olarte Jerson, Cecilio Cabrera Yon, Gonzales Huamán Teresa Jesús, Sumarriva Bustinza Liliana. (2019). Remoción de materia orgánica en reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente en el tratamiento de aguas residuales del camal de Huancavelica. *Revista de la Sociedad Química del Perú*.
- Chavarro, L. M. (2010). *DIAGNOSTICO Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA OPERATIVO Y DE MANTENIMIENTO DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO "LOS ARELLANO" EN EL ESTADO DE AGUASCALIENTES, MÉXICO*. Bogotá.
- Chernicharo de Lemos, C. A. (2007). *Anaerobic Reactors en Biological Wastewater Treatment Series*, vol. 4. Londres: IWA Publishing
- CONAGUA. (2015). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*.
- Coto, J. D. (2013). Alternativas para la reducción de emisiones de metano. *CEGESTI*, 4.
- DANE. (2005). *Bolentín Censo General 2005*. Colombia.
- DANE. (2018). *DANE informacion para todos*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/donde-estamos>
- Dapena J. L. y Ronzano E (1995). *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. Madrid: Díaz y Santos,; p. 89-171.
- Deyanira Ardila, Lina Aguirre, Sandra Mora, Herney Rodriguez. (2018). *Análisis para la implementación de un tratamiento de aguas residuales en el municipio de Guicán*.
- Eduardo P. Jordão y Pedro Além Sobrinho. (Noviembre-Diciembre de 2004). *Investigación y experiencia con el post-tratamiento para reactores UASB en Brasil*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/uasbbrasil.pdf>
- Empresas Publicas de Neiva (2011). *Planos PTAR San Luis- Neiva*



- Energía), I. (. (Octubre de 2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. Obtenido de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_Digestores_Anaerobios_A2007_0d62926d.pdf
- Eylen Yaritza Lopez Linares, M. J. (2016). *EVALUACIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL COMO TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN LA VEREDA BAJOS DE YERBABUENA EN EL MUNICIPIO DE CHÍA, CUNDINAMARCA*. Obtenido de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20473/41111000_2016.pdf?sequence=1
- FAO. (2011). *Manual de Biogas*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Fernanda Cristina Morillo León, Eliana Fajardo Fajardo. (2005). *ESTUDIO DE LOS REACTORES UASB PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1980/1/fernandacristinamorilloleon.2005.pdf>
- Figuerola, V. (1993). La producción porcina en Cuba. *ACPA*, 31-33.
- Gilsanz Juan Carlos, Leoni Carolina, Schelotto Felipe, Acuña Ana. (2013). Uso potencial de los lodos urbanos en la producción agrícola. *SciELO Analytics*.
- González Maribel, Saldarriaga Julio Cesar. (2008). REMOCIÓN BIOLÓGICA DE MATERIA ORGÁNICA, NITRÓGENO Y FÓSFORO EN UN SISTEMA TIPO ANAEROBIO-ANÓXICO-AEROBIO. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237, Número 10, p. 45-53.
- Gualteros Martínez Sergio Camilo, Rendón Gallego John Fredy. (2007). *Diseño de un prototipo de control de temperatura para reactor UASB mediante la utilización del biogás que se produce en este reactor en la empresa Gaseosas Lux S.A. Bogotá*. Bogotá.
- Haro, S. y Perales, J. (2015). Cinética de consumo de nutrientes y crecimiento de un bloom de microalgas en un fotobiorreactor High Rate Algae Pond (HRAP). *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(3), 15-31. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v6n3/v6n3a2.pdf>
- Hazen y Sawyer. (2011). *Producto Final – Anexo No. 7 Lodos Activados*.
- Hazen y Sawyer. (2011). *Información Compilada de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Disponibles y Aplicables al Proyecto*
- INDITEX. (septiembre de 2015). *REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)*.
- Jaramillo, A. O. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. Acodal.



- Jenny Milena Lizarazo Becerra, Martha Isabel Orjuela Gutierrez. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>
- Jimenez, G. R. (2019). *Métodos para calcular la poblacion futura*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/147294050/METODOS-PARA-CALCULAR-LA-POBLACION-FUTURA>
- Lara Borrero Jaime A. , Martelo Jorge. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, Volumen 8, número 15, páginas 221-243.
- LADY JOHANA GALEANO NIETO,VIVIAN DANIELA ROJAS IBARRA . (2016). *PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL POR ZANJÓN DE OXIDACIÓN PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VELEZ -SANTANDER*. . Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13930/4/PROPUESTA%20DE%20DISEÑO%20DE%20UNA%20PTAR%20PARA%20EL%20%20MUNICIPIO%20DE%20VELEZ%20-SANTANDER..pdf>
- M. ESPIGARES GARCÍA, J. A. PÉREZ LÓPEZ. (1985). *Aguas residuales. Composición* . Obtenido de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Maldonado, D. K. (2018). Determinación del estado trófico de la Laguna de San Miguel Almaya. Capulhuac, Estado de México (tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México, Estado de México, México. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/95338>
- Macías, J. G. (8 de julio de 2013). *LOS LODOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ¿PROBLEMA O RECURSO?* . Obtenido de http://www.ai.org.mx/ai/images/sitio/201309/ingresos/jglm/doc_ingreso_gualberto_limon_trabajo_de_ingreso.pdf
- Mario Ávila,Pablo Bahamondes,Cristián De La Cerda,Brunslley Elliot,Andrea Moraga,Hernán Quiroz,Patricio Soto. (2018). *Guía para el instalador de plantas de biogás de mediana y gran escala*. Santiago de Chile.
- Martinez María P., Morales Walter A., Villamizar Yisneidi. (2018). *Tratamiento terciario en aguas residuales* . Obtenido de <https://es.calameo.com/read/006037071ed93218aa3f3>
- MINISTERIO DE VIVIENDA, C. y. (2014). *DECRETO 1287 "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales"*. Colombia.



Ministerio de Vivienda, C. y. (8 de junio de 2017). Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS Resolución número 0330. Colombia.

Moeller Gabriela, Tomasini Ortiz Ana Cecilia . (2001). *MICROBIOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS*.

Monroy, O. (1992). Control de la digestión anaerobia. En: Curso de bioprocesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales industriales. UAM Iztapalapa.

MONROY, O. (1994). Control de la digestión anaerobia. III Taller y Seminario Latinoamericano sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Uruguay. pp. 185-194.

Morel y Diener. (2006). *Tratamientos Secundarios: Humedal Sub superficial de Flujo Horizontal*. Lima.

MORILLO LEÓN FERNANDA CRISTINA, FAJARDO FAJARDO ELIANA. (2005). *ESTUDIO DE LOS REACTORES UASB PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO LA ESMERALDA*. Manizales.

Noyola A. (1995). Diseño, inoculación y arranque de reactores UASB. En: Memorias del III Taller y seminario Latinoamericano de Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Universidad de la República (Editor). Montevideo Uruguay.

Núñez, G. d. (2013). *Panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en la Costa Atlántica Colombiana*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/49437/1/panorama%20del%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20con%20tecnologia%20anaerobia%20en%20la%20costa%20atlantica%20colombiana.pdf>

Núñez, G. d. (2013). *Panorama del tratamiento de aguas residuales con tecnología anaerobia en la Costa Atlántica Colombiana*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/49437/1/panorama%20del%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20con%20tecnologia%20anaerobia%20en%20la%20costa%20atlantica%20colombiana.pdf>

Oropeza García, Norma. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia* , 51-58.

OPS, O. P. (2005). *GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES*. Obtenido de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>

Pacco Anyi; Rosemary Vela; Rosa Miglio; Lawrence Quipuzco; Juan Juscamaita; Carmen Álvarez; Fernando Fernández – Polanco. (2018). Propuesta de parámetros



de diseño de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Scielo*, vol.9 no.3

Pacheco J., Magaña, A. (2003). Arranque de un Reactor Anaerobio. Ingeniería Académica, UADY, (7), 21-25.

Pérez, J. (1998). Análisis de la viabilidad del uso de lodos anaerobios como alimento animal. *Tesis de maestría*. Cuba.

Pierre-Henri Dodane y Mariska Ronteltap. (2012). *Lechos de Secado sin Plantas*.

Pineda Buitrago Luisa. Lorena. (2017). *DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL*. Bogotá.

Quitián, M. B. (2018). Estudio técnico ambiental comparativo del tratamiento de aguas residuales domésticas para su descarga mediante emisarios en medio acuático marítimo y continental. Caso Cartagena y Barranquilla (tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10185/28853>

RAMÍREZ, J. E. (2016). *Estudio del tratamiento del efluente de un reactor anaerobio de membranas sumergidas (SAnMBR) mediante un sistema de fangos activados*. Obtenido de http://roderic.uv.es/bitstream/handle/10550/52792/Tesis%20Javier%20E%20Sanchez_Febrero_final_08022016_100%25.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ramos-Espinosa María Guadalupe, Rodríguez-Sánchez Luis Manuel y Martínez-Cruz Patricia (2007). Uso de macrófitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo. *Scielo*, Volumen 17.

Ramos Torres Keisy Vanessa. (2018). *ESTUDIO DE LA FORMACIÓN DE BIOMASA GRANULAR EN EL TRATAMIENTO ANAEROBIO DE DISOLVENTES ORGÁNICOS EN REACTORES DE ALTA CARGA*. Valencia, España.

Reutelshöfer, T. (2015). *Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. La Paz, Bolivia.

Reutelschoefer Tina, Ballón Postigo Juan, Palma Villegas Paola A., Guzmán Bejarano Luis F., Sivila Alurralde Luis I. (2019). *Operación y Mantenimiento para el Tratamiento de Aguas Residuales mediante Lagunas de Estabilización*. La Paz, Bolivia.

REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES . (s.f.). Obtenido de <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/jaume-baeza.pdf>



Rodriguez, J. A. (2021). *TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES*. Cali.

Salas, J. J. (2018). *Introducción a los Humedales Artificiales como tratamiento de las aguas residuales*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/introduccion-humedales-artificiales-como-tratamiento-aguas-residuales>

Sandra Crombet, Arelis Rodriguez, Suyén Rodriguez, Norma Pérez. (Agosto de 2015). *Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v18n1/v18n1a05.pdf>

Santana, M.A.; Oliveira, R.A.; 2005. Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura. Eng. Agríc. Jaboticabal 25(3): 817-830.

Terry Broun Adis, I Fernández Boizán Maike, Zenia Almeida Delys. (2008). CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DESARROLLO DE UNA ESTRATEGIA DE GRANULACIÓN EN REACTORES UASB. *Tec Química*, pp. 70-79.

TORRES, E. H. (2011). *CONTAMINACION AMBIENTAL GENERADA POR LA EMISIÓN DE GASES*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/3166/AlvarezTorresEdwinHernan2011.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Torres J. (2007). Diseño de una planta de Tratamiento de Agua residual, empleando tratamiento anaerobio (UASB) y tratamiento aerobio (lodos activados). *Revista de divulgación*.

Troconis, A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf

Valdivielso, Alberto. (2016). *¿Qué es un tratamiento terciario de aguas residuales?* Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-tratamiento-terciario-aguas-residuales>

VARGAS, E. H. (2016). *EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR), DE LA INSPECCIÓN DE PUEBLO NUEVO DEL MUNICIPIO DE NILO CUNDINAMARCA*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13901/4/EVALUACION%20TECNICA%20DE%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL.pdf>



Villamarín, D. X. (2017). Estudio de un filtro biológico para el control de efluentes generados en una quesera en la parroquia Mulaló-cantón Latacunga, a base de piedra caliza, canutillos de cerámica, zeolita y carbón activado granular de cáscara de coco (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25959>

Yaniris Lorenzo, Obaya Maria Cristina. (2006). *La digestión anaerobia y los reactores UASB*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223121549002.pdf>

Yaniris Lorenzo, Lixis Rojas. (2010). *Tratamiento de residuales anaeróbicos. Aspectos constructivos y de diseño*. La Habana, Cuba.

10 ANEXOS

ANEXO 1. Tablas de APU (análisis de precios unitarios)

APU

PRETRATAMIENTO



neiva

LA RAZÓN DE TODOS

- Gobierno Transparente -



Municipio de Neiva

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:	Limpieza área de pretratamiento (Desarenador). Incluye transporte.					
UNIDAD:	UND	FECHA:	MAYO 2019			

I- EQUIPO

DESCRIPCION	TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR	%	27.539,00	5,00	1.377	
				SUB-TOTAL	\$1.377

II- MATERIALES EN OBRAS

DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
				SUB-TOTAL	\$

III- TRANSPORTE

DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.	
VOLQUETA 5 M3			2,2572	180000	406296	
					SUB-TOTAL	\$406.296

IV- MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1 Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	7,0	11.559,00	
2 Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	7,0	15.980,00	
					SUB-TOTAL	\$27.539
					TOTAL COSTO DIRECTO	\$435.212

V- COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCION	PORCENT	VAL. TOTAL	
Administración	15%	\$ 65.281,00	
Imprevistos	5%	\$ 21.760,00	
Utilidad	5%	\$ 21.760,00	
		SUB-TOTAL	\$108.801
		PRECIO UNITARIO TOTAL	\$544.013



 		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
OBRA:		MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.				
LOCALIZACION:		NEIVA - HUILA				
PROYECTISTA		ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA				
ITEM:		Demolición de pañete (e = 0.015 m) incluye retiro				
UNIDAD:		M2	FECHA:	MAYO 2019		
I- EQUIPO						
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR		%	6.426,00	10,00	642,60	
COMPRESOR CON MARTILLO NEUMATICO		Hora	112.000,00	8,00	14.000,00	
					SUB-TOTAL	\$14.642,60
II- MATERIALES EN OBRAS						
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
					SUB-TOTAL	\$
III- TRANSPORTE						
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.
VOLQUETA 5 M3				0,015	\$ 180.000	2700
						SUB-TOTAL
						\$2.700
IV- MANO DE OBRA						
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	30,0	2.697,00
2	Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	30,0	3.729,00
						SUB-TOTAL
						\$6.426
TOTAL COSTO DIRECTO						\$23.769
V- COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION				PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración				15%	\$ 3.565,00	
Imprevistos				5%	\$ 1.188,00	
Utilidad				5%	\$ 1.188,00	
					SUB-TOTAL	\$5.941,00
PRECIO UNITARIO TOTAL						\$32.410,00

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:	Retiro de canaleta parshall					
UNIDAD:	UND	FECHA:	MAYO 2019			
I- EQUIPO						
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR		%	17.929,00	5,00	896,45	
					SUB-TOTAL	\$896
II- MATERIALES EN OBRAS						
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
					SUB-TOTAL	\$
III- TRANSPORTE						
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.
					SUB-TOTAL	\$
IV- MANO DE OBRA						
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	12,0	6.743,00
2	Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	12,0	11.186,00
					SUB-TOTAL	\$17.929
TOTAL COSTO DIRECTO						\$18.825
V- COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION				PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración				15%	2.823,00	
Imprevistos				5%	941,00	
Utilidad				5%	941,00	
					SUB-TOTAL	\$4.705,00
PRECIO UNITARIO TOTAL						\$23.530,00



neiva
LA RAZÓN DE TODOS
- Gobierno Transparente -



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.				
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA				
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA				
ITEM:	Retiro, suministro e instalación vertedero acrílico entrada desarenador 5mm, según diseño.				
UNIDAD:	UND	FECHA:	MAYO 2019		

I- EQUIPO					
DESCRIPCION	TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR	%	6.426,00	5,00	321,30	
				SUB-TOTAL	\$321

II- MATERIALES EN OBRAS					
DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
Vertedero acrílico entrada 5mm, según diseño	UND	236.485,50	1,000	236.485,50	
				SUB-TOTAL	\$236.486

III- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.
					SUB-TOTAL
					\$

IV- MANO DE OBRA						
	DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	30,0	2.697,00
2	Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	30,0	3.729,00
						SUB-TOTAL
						\$6.426
TOTAL COSTO DIRECTO						\$243.233

V- COSTOS INDIRECTOS			
DESCRIPCION		PORCENT	VAL. TOTAL
Administración		15%	\$ 36.484,00
Imprevistos		5%	\$ 12.161,00
Utilidad		5%	\$ 12.161,00
			SUB-TOTAL
			\$60.806,00
PRECIO UNITARIO TOTAL			\$304.039,00

 neiva LA RAZÓN DE TODOS - Gobierno Transparente -		 Municipio de Neiva	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
OBRA:		MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:		NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA		ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:		Retiro, suministro e instalación vertedero acrílico salida desarenador 5mm, según diseño.					
UNIDAD:		UND		FECHA:		MAYO 2019	
I- EQUIPO							
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.		
HERRAMIENTA MENOR		%	6.426,00	5,00	321,30		
					SUB-TOTAL	\$321	
II- MATERIALES EN OBRAS							
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.		
Vertedero acrílico salida 5mm, según diseño		UND	236.485,50	1,0	236.485,50		
					SUB-TOTAL	\$236.486	
III- TRANSPORTE							
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.	
						SUB-TOTAL	\$
IV- MANO DE OBRA							
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	30,0	2.697,00	
2	Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	30,0	3.729,00	
						SUB-TOTAL	\$6.426
						TOTAL COSTO DIRECTO	\$243.233
V- COSTOS INDIRECTOS							
DESCRIPCION					PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración					15%	\$ 36.484,00	
Imprevistos					5%	\$ 12.161,00	
Utilidad					5%	\$ 12.161,00	
						SUB-TOTAL	\$60.806,00
					PRECIO UNITARIO TOTAL		\$304.039,00



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.				
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA				
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA				
ITEM:	Retiro, suministro e instalación rejilla acero inoxidable gruesa, según diseño.				
UNIDAD:	UND	FECHA:	MAYO 2019		
I- EQUIPO					
DESCRIPCION	TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR	%	9.639,00	5,00	481,95	
				SUB-TOTAL	\$481,95
II- MATERIALES EN OBRAS					
DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
REJILLA ACERO INOXIDABLE SEGÚN DISEÑO	UND	198.136,50	1,00	198.136,50	
				SUB-TOTAL	\$198.136,50
III- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3 Ton/Km	TARIFA	VALOR UNIT.
					SUB-TOTAL
IV- MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1 Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	20,00	4.046,00
2 Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	20,00	5.593,00
					SUB-TOTAL
					\$9.639,00
TOTAL COSTO DIRECTO					\$208.257,00
V- COSTOS INDIRECTOS					
DESCRIPCION	PORCENT			VAL. TOTAL	
Administración	15%			\$ 31.238,00	
Imprevistos	5%			\$ 10.412,00	
Utilidad	5%			\$ 10.412,00	
				SUB-TOTAL	\$52.062,00
PRECIO UNITARIO TOTAL					\$260.319,00



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:	Elaboración (en obra) mortero 1:3					
UNIDAD:	M3	FECHA:	MAYO 2019			
I- EQUIPO						
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR		%	96.383,00	5,00	4.819,15	
MEZCLADORA DE CONCRETO 6 P3.		DIA	91.695,50	3,00	30.566,00	
					SUB-TOTAL	\$35.385
II- MATERIALES EN OBRAS						
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
CEMENTO GRIS		KG	440	454,00	199.760,00	
ARENA FINA		M3	70.000,00	1,09	76.300,00	
AGUA		LT	15,76	240,00	3.784,00	
					SUB-TOTAL	\$279.844
III- TRANSPORTE						
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.
						0
						SUB-TOTAL
						\$
IV- MANO DE OBRA						
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	2,0	40.454,00
2	Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	2,0	55.929,00
						SUB-TOTAL
						\$96.383
					TOTAL COSTO DIRECTO	\$411.612
V- COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION				PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración				15%	\$ 3.314,00	
Imprevistos				5%	\$ 934,00	
Utilidad				5%	\$ 934,00	
					SUB-TOTAL	\$5.182,00
					PRECIO UNITARIO TOTAL	\$416.794



 		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
OBRA:		MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:		NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA		ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:		Pañete impermeabilizado para muros con mortero 1:3. espesor 1.5 cm.					
UNIDAD:		M2		FECHA:	MAYO 2019		
I- EQUIPO							
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.		
HERRAMIENTA MENOR		%	9.775,00	5,00	488,75		
					SUB-TOTAL	\$488,75	
II- MATERIALES EN OBRAS							
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.		
Elaboración (en obra) mortero 1:3		M3	411.612	0,0165	6.791,60		
SIKA- 1 (20 Kg)		KG	9.999,50	0,1638	1.637,92		
					0,00		
					0,00		
					SUB-TOTAL	\$8.430,00	
III- TRANSPORTE							
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.	
						0	
					SUB-TOTAL	\$,00	
IV- MANO DE OBRA							
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	14,000	5.780,00	
2	Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	28,000	3.995,00	
					SUB-TOTAL	\$9.775,00	
TOTAL COSTO DIRECTO						\$18.694,00	
V- COSTOS INDIRECTOS							
DESCRIPCION					PORCENT	VAL. TOTAL	
Administración					15%	\$ 2.804,00	
Imprevistos					5%	\$ 934,00	
Utilidad					5%	\$ 934,00	
					SUB-TOTAL	\$4.672,00	
PRECIO UNITARIO TOTAL						\$23.366,00	



neiva

LA RAZÓN DE TODOS

- Gobierno Transparente -



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:	Elaboración (en obra) mortero 1:4					
UNIDAD:	M3	FECHA:	MAYO 2019			

I- EQUIPO

DESCRIPCION	TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR	%	48.192,00	5,00	2.409,60	
MEZCLADORA DE CONCRETO 6 P3.	Dia	91.695,50	3,00	30.566,00	
				SUB-TOTAL	\$32.975,60

II- MATERIALES EN OBRAS

DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
CEMENTO GRIS	KG	440	364,00	160.160,00	
ARENA FINA	M3	70.000,00	1,16	81.200,00	
AGUA	LT	15,76	183,00	2.885,00	
				SUB-TOTAL	\$244.245,00

III- TRANSPORTE

DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.	
					0	
					SUB-TOTAL	\$,00

IV- MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1 Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	4,0	20.227,00	
2 Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	4,0	27.965,00	
					SUB-TOTAL	\$48.192
TOTAL COSTO DIRECTO						\$325.413

V- COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCION	PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración	15%	\$ 48.811,00	
Imprevistos	5%	\$ 16.270,00	
Utilidad	5%	\$ 16.270,00	
		SUB-TOTAL	\$81.351,00
PRECIO UNITARIO TOTAL			\$406.764,00



 		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
OBRA:		MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:		NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA		ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:		Pañete impermeabilizado con mortero 1:4. espesor 1.5 cm.					
UNIDAD:		M2		FECHA:	MAYO 2019		
I- EQUIPO							
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.		
HERRAMIENTA MENOR		%	8.553,00	5,00	427,65		
					SUB-TOTAL	\$428	
II- MATERIALES EN OBRAS							
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.		
Elaboración (en obra) mortero 1:4		M3	325.413,00	0,0165	5.369,31		
SIKA- 1 (20 Kg)		KG	9.999,50	0,16	1.637,92		
					SUB-TOTAL	\$7.007	
III- TRANSPORTE							
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3 Ton/Km	TARIFA	VALOR UNIT.	
					SUB-TOTAL		
IV- MANO DE OBRA							
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	16,00	5.057,00	
1	Ayudante	30.900,00	25.029,00	55.929,00	16,00	3.496,00	
					SUB-TOTAL	\$8.553,00	
						TOTAL COSTO DIRECTO	\$15.988,00
V- COSTOS INDIRECTOS							
DESCRIPCION					PORCENT	VAL. TOTAL	
Administración					15%	\$ 0,00	
Imprevistos					5%	\$ 0,00	
Utilidad					5%	\$ 0,00	
					SUB-TOTAL	\$,00	
						PRECIO UNITARIO TOTAL	\$15.988,00



neiva
LA RAZÓN DE TODOS
- Gobierno Transparente -



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.				
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA				
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA				
ITEM:	Filos y dilatación de pañete.				
UNIDAD:	ML	FECHA:	MAYO 2019		
I- EQUIPO					
DESCRIPCION	TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR	%	4.820,00	5,00	241,00	
				SUB-TOTAL	\$241,00
II- MATERIALES EN OBRAS					
DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
CEMENTO GRIS	KG	440,00	3,58	1.575,20	
ARENA FINA	M3	70.000,00	0,01	805,00	
AGUA	LT	15,76	0,18	2,84	
				SUB-TOTAL	\$2.383,04
III- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3 Ton/Km	TARIFA	VALOR UNIT.
					SUB-TOTAL
IV- MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1 Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	40,00	2.023,00
2 Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	40,00	2.797,00
					SUB-TOTAL
					\$4.820,00
TOTAL COSTO DIRECTO					\$7.444,00
V- COSTOS INDIRECTOS					
DESCRIPCION				PORCENT	VAL. TOTAL
Administración				15%	\$ 1.116,00
Imprevistos				5%	\$ 372,00
Utilidad				5%	\$ 372,00
				SUB-TOTAL	\$1.860,00
PRECIO UNITARIO TOTAL					\$9.304,00



Neiva
LA RAZÓN DE TODOS
- Gobierno Transparente -



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:	Suministro e instalación canaleta parshall, según diseño.					
UNIDAD:	UND	FECHA:	MAYO 2019			
I- EQUIPO						
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR		%	28.757,00		2.875,70	
					SUB-TOTAL	\$2.875,70
II- MATERIALES EN OBRAS						
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
CANALETA PARSHALL		UND	2.063.460,00	1,00	2.063.460,00	
Pegante multiple aplicación		GL	165.076,80	1,00	165.076,80	
					SUB-TOTAL	\$2.228.536,80
III- TRANSPORTE						
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3 Ton/Km	TARIFA	VALOR UNIT.
					SUB-TOTAL	
IV- MANO DE OBRA						
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	8,00	10.114,00
2	Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	8,00	18.643,00
					SUB-TOTAL	\$28.757
TOTAL COSTO DIRECTO						\$2.260.170
V- COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION				PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración				15%	\$ 339.025,00	
Imprevistos				5%	\$ 113.008,00	
Utilidad				5%	\$ 113.008,00	
					SUB-TOTAL	\$565.041,00
				PRECIO UNITARIO TOTAL		\$2.825.211,00



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.				
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA				
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA				
ITEM:	Suministro e instalación válvula de bola d=4", Incluye Retiro de válvulas existentes y accesorios para el óptimo funcionamiento.				
UNIDAD:	UND	FECHA:	MAYO 2019		
I- EQUIPO					
DESCRIPCION	TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR	%	19.277,00	5,00	963,85	
				SUB-TOTAL	\$964
II- MATERIALES EN OBRAS					
DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
Valvula de bola Ø 4" HG	UND	816.400	1,0	816.400,00	
Union PVC Ø 4" Sanitario	UND	7.609	1,0	7.609,00	
SOLDADURA LIQUIDA PVC. (1/4 Gal)	UND	84.914	0,02	1.698,28	
Adpatador Macho de Ø 4"	UND	36.456	2,0	2,00	
CINTA TEFLON ptfe basic 3/4 pulgada x 10 metros Topex	M	790,00	3,00	2.370	
				SUB-TOTAL	\$828.080
III- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.
					SUB-TOTAL
					\$
IV- MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1 Oficial	44.700,00	36.207	80.907	10,0	8.091,00
2 Ayudante	61.800,00	50.058	111.858	10,0	11.186,00
					SUB-TOTAL
					\$19.277
TOTAL COSTO DIRECTO					\$848.321
V- COSTOS INDIRECTOS					
DESCRIPCION	PORCENT		VAL. TOTAL		
Adminstración	15%		\$ 127.248,00		
Imprevistos	5%		\$ 42.416,00		
Utilidad	5%		\$ 42.416,00		
			SUB-TOTAL		
			\$212.080,00		
			PRECIO UNITARIO TOTAL		
			\$1.060.401,00		



neiva
LA RAZÓN DE TODOS
- Gobierno Transparente -



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.				
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA				
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA				
ITEM:	Elaboración (en obra) y Suministro de concreto simple 3000psi				
UNIDAD:	M3	FECHA:	MAYO 2019		
I- EQUIPO					
DESCRIPCION	TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
MEZCLADORA	1 BTO	91.695,50	5,00	18.339,10	
HERRAMIENTA MENOR	%	101.541,00	10,00	10.154,10	
				SUB-TOTAL	\$28.493
II- MATERIALES EN OBRAS					
DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
CEMENTO GRIS	KG	440,00	350,00	154.000,00	
ARENA LAVADA	M3	70.000,00	0,57	39.900,00	
GRAVILLA TRITURADA 3/4"	M3	96.549,27	0,84	81.101,00	
AGUA	LT	15,76	210,00	3.310,00	
				SUB-TOTAL	\$278.311
III- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.
					SUB-TOTAL
					\$
IV- MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1 Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907	3,00	26.969,00
4 Ayudante	123.600,00	100.116,00	223.716	3,00	74.572,00
					SUB-TOTAL
					\$101.541
TOTAL COSTO DIRECTO					\$408.345,00
V- COSTOS INDIRECTOS					
DESCRIPCION	PORCENT			VAL. TOTAL	
Adminstración	15%			\$ 61.251,00	
Imprevistos	5%			\$ 20.417,00	
Utilidad	5%			\$ 20.417,00	
				SUB-TOTAL	\$102.085,00
PRECIO UNITARIO TOTAL					\$510.430,00



REACTOR UASB

				ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
OBRA:		MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.							
LOCALIZACION:		NEIVA - HUILA							
PROYECTISTA		ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA							
ITEM:		Limpieza reactor UASB. Incluye extracción del material sedimentado y transporte.							
UNIDAD:		UND			FECHA:		MAYO 2019		
I- EQUIPO									
DESCRIPCION		TIPO		TARIF/DIA		REN.UN/DIA		VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR		%		152.312,00		5,00		\$7.615,0	
								SUB-TOTAL	
								\$7.615	
II- MATERIALES EN OBRAS									
DESCRIPCION		UNIDAD		PREC-UNIT.		CANTIDAD		VALOR UNIT.	
								SUB-TOTAL	
								\$,00	
III- TRANSPORTE									
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT		DISTANCIA		M3		TARIFA	
Transporte de material sedimentado						55,2		\$180.000	
VOLQUETA 5 M3								\$9.936.000	
								SUB-TOTAL	
								\$9.936.000,00	
IV- MANO DE OBRA									
DESCRIPCION		JORNAL		PRESTACIO.		JOR. TOTAL		REND/TO	
1 Oficial		44.700,00		36.207,00		80.907,00		2,0	
4 Ayudante		123.600,00		100.116,00		223.716,00		2,0	
								SUB-TOTAL	
								\$152.312	
TOTAL COSTO DIRECTO								\$10.095.927	
V- COSTOS INDIRECTOS									
DESCRIPCION						PORCENT		VAL. TOTAL	
Adminstración						15%		\$ 1.514.389,00	
Imprevistos						5%		\$ 504.796,00	
Utilidad						5%		\$ 504.796,00	
								SUB-TOTAL	
								\$2.523.981,00	
PRECIO UNITARIO TOTAL								\$12.619.908,00	



neiva

LA RAZÓN DE TODOS

- Gobierno Transparente -



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.									
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA									
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA									
ITEM:	Suministro e instalacion manguera PN 10 d=2", según diseño. Incluye Retiro de mangueras presentes.									
UNIDAD:	UND					FECHA:		MAYO 2019		

I- EQUIPO

DESCRIPCION	TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR	%	3.212,75	5,00	160,64	
				SUB-TOTAL	\$160,64

II- MATERIALES EN OBRAS

DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
Tubo PVC Ø 2" Sanitario	UND	10.237,50	1,00	10.237,50	
Manguera PN 10 d=2"	ML	6.803,00	5,50	37.416,50	
Inserto Poliet 2"	und	2.750,00	1,00	2.750,00	
				SUB-TOTAL	\$50.404,00

TRANSPORTE

DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.	
					SUB-TOTAL	\$,00

IV- MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1 Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907	60,00	1.348,45	
2 Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858	60,00	1.864,30	
					SUB-TOTAL	\$3.212,75
TOTAL COSTO DIRECTO						\$53.777,00

V- COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCION	PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración	15%	\$ 8.066,00	
Imprevistos	5%	\$ 2.688,00	
Utilidad	5%	\$ 2.688,00	
		SUB-TOTAL	\$13.442,00
PRECIO UNITARIO TOTAL			\$67.219,00



neiva

LA RAZÓN DE TODOS

- Gobierno Transparente -



Municipio de Neiva

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACIÓN:	NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:	Retiro, suministro e instalación caja distribución caudal PRFV, 3mm, según diseño.					
UNIDAD:	UND	FECHA:	MAYO 2019			

I- EQUIPO

DESCRIPCION	TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR	%	3.855,30	5,00	192,77	
				SUB-TOTAL	\$193

II- MATERIALES EN OBRAS

DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
Caja distribucion caudal PRFV, 3mm, según diseño.	UND	1.917.450,00	1,00	1.917.450,00	
				SUB-TOTAL	\$1.917.450

TRANSPORTE

DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.	
					SUB-TOTAL	\$,00

IV- MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1 Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907	50,00	1.618,14	
2 Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858	50,00	2.237,16	
					SUB-TOTAL	\$3.855
TOTAL COSTO DIRECTO						\$1.921.498

V- COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCION	PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración	15%	\$ 288.224,00	
Imprevistos	5%	\$ 96.074,00	
Utilidad	5%	\$ 96.074,00	
		SUB-TOTAL	\$480.372,00
PRECIO UNITARIO TOTAL			\$2.401.870,00

 neiva LA RAZÓN DE TODOS - Gobierno Transparente -		 Municipio de Neiva		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
OBRA:		MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:		NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA		ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:		Retiro, suministro e instalación campana en PRFV, cerrada 5mm, según diseño. Incluye accesorios y todo lo necesario para su correcto funcionamiento.					
UNIDAD:		UND		FECHA:		MAYO 2019	
I- EQUIPO							
DESCRIPCION		TIPO	TARIF /DIA	REN.UN /DIA	VALOR UNIT.		
HERRAMIENTA MENOR		%	62.174,00	5,00	3.108,70		
					SUB-TOTAL	\$3.109	
II- MATERIALES EN OBRAS							
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.		
Campana en PRFV cerrada, calibre 5mm. Segun diseño.		UND	6.743.032,50	1,00	6.743.032,50		
					SUB-TOTAL	\$6.743.033	
III- TRANSPORTE							
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3 Ton/Km	TARIFA	VALOR UNIT.	
						SUB-TOTAL	
IV- MANO DE OBRA							
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	4,00	20.227,00	
3	Ayudante	92.700,00	75.087,00	167.787,00	4,00	41.947,00	
						SUB-TOTAL	\$62.174
						TOTAL COSTO DIRECTO	\$6.808.315
V- COSTOS INDIRECTOS							
DESCRIPCION					PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración					15%	\$ 1.021.247,00	
Imprevistos					5%	\$ 340.415,00	
Utilidad					5%	\$ 340.415,00	
					SUB-TOTAL	\$1.702.077,00	
					PRECIO UNITARIO TOTAL	\$8.510.392,00	



neiva
LA RAZÓN DE TODOS
- Gobierno Transparente -



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:

LOCALIZACION:

PROYECTISTA

ITEM:

UNIDAD:

MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.
NEIVA - HUILA
ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA
Retiro, suministro e instalación de baffle recolector en tubería PVC Ø= 4", incluye perforaciones según diseño.
Ml

FECHA:

MAYO 2019

I- EQUIPO

DESCRIPCION	TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR	%	22.172,50	5,00	1.108,63	
				SUB-TOTAL	\$1.108,63

II- MATERIALES EN OBRAS

DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
Tubo PVC Ø 4" Sanitario	ml	21.310,17	1,00	21.310,17	
				SUB-TOTAL	\$21.310,17

TRANSPORTE

DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.	
					SUB-TOTAL	\$,00

IV- MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1 Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907	15,00	5.393,80	
3 Ayudante	92.700,00	75.087,00	167.787	10,00	16.778,70	
					SUB-TOTAL	\$22.172,50
TOTAL COSTO DIRECTO						\$44.591,00
DESCRIPCION	PORCENT	VAL. TOTAL				
Adminstración	15%	\$ 6.688,00				
Imprevistos	5%	\$ 2.229,00				
Utilidad	5%	\$ 2.229,00				
		SUB-TOTAL	\$11.146,00			
PRECIO UNITARIO TOTAL			\$55.737,00			



neiva

LA RAZÓN DE TODOS

- Gobierno Transparente -



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:		MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.						
LOCALIZACION:		NEIVA - HUILA						
PROYECTISTA		ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA						
ITEM:		Retiro, suministro e instalación platina en PRFV, anclaje de manguera 2", 4mm, según diseño.						
UNIDAD:		UND			FECHA:		MAYO 2019	

I- EQUIPO

DESCRIPCION	TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR	%	9.639,00	5,00	481,95	
				SUB-TOTAL	\$482

II- MATERIALES EN OBRAS

DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
Platina PRFV, según Diseño.	UND	31.957,50	1,00	31.957,50	
				SUB-TOTAL	\$31.958

III- TRANSPORTE

DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3 Ton/Km	TARIFA	VALOR UNIT.	
					SUB-TOTAL	

IV- MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1 Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	20,00	4.046,00	
2 Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	20,00	5.593,00	
					SUB-TOTAL	\$9.639
TOTAL COSTO DIRECTO						\$42.078

V- COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCION	PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración	15%	\$ 6.311,00	
Imprevistos	5%	\$ 2.103,00	
Utilidad	5%	\$ 2.103,00	
		SUB-TOTAL	\$10.517,00
PRECIO UNITARIO TOTAL			\$52.595,00

108



				ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS		
OBRA:		MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.				
LOCALIZACION:		NEIVA - HUILA				
PROYECTISTA		ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA				
ITEM:		Suministro e instalacion de tuberia d=4" de reactor a lecho de secado, incluye excavacion, retiro de tuberia averiada, relleno con material seleccionado, accesorios y todo lo necesario para su correcto funcionamiento.				
UNIDAD:		MI		FECHA:		MAYO 2019
I- EQUIPO						
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR		%	6.426,00	5,00	321	
					SUB-TOTAL	\$321
II- MATERIALES EN OBRAS						
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
Tuberia pvc Sanitario d=4"		MI	21.310,17	1,00	21.310,17	
Codo PVC Ø 4" X 90 Sanitario CXE		UND	13.552	1,00	13.552,00	
Union PVC Ø 4" Sanitario		UND	7.609	1,00	7.609,00	
Relleno en material seleccionado de la excavación y compactado.		M3	20.241,00	0,12	2.479,52	
Excavación manual en material sin clasificar (m3)		M3	24.096,00	0,12	2.891,52	
					SUB-TOTAL	\$47.843
III- TRANSPORTE						
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.
						SUB-TOTAL
						\$
IV- MANO DE OBRA						
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	30,0	2.697,00
2	Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	30,0	3.729,00
						SUB-TOTAL
						\$6.426
TOTAL COSTO DIRECTO					\$54.590	
V- COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION				PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración				15%	\$ 8.188,00	
Imprevistos				5%	\$ 2.729,00	
Utilidad				5%	\$ 2.729,00	
					SUB-TOTAL	
					\$13.646,00	
				PRECIO UNITARIO TOTAL		\$68.236,00



HUMEDAL

				ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
OBRA:		MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:		NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA		ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:		Desmonte y limpieza humedal PTAR, Incluye transporte.					
UNIDAD:		UND		FECHA:		MAYO 2019	
I- EQUIPO							
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.		
HERRAMIENTA MENOR		%	101.541,00	5,00	5.077		
MOTOSIERRA.		HR	26.485,51	10,00	2.648,55		
GUADAÑADORA.		HR	16.487,04	10,00	1.648,70		
					SUB-TOTAL	\$9.374	
II- MATERIALES EN OBRAS							
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.		
					SUB-TOTAL	\$	
III- TRANSPORTE							
DESCRIPCION		PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.	
Transporte de material desmontado, VOLQUETA 5 M3.				5,5	\$180.000	\$990.000	
					SUB-TOTAL	\$990.000	
IV- MANO DE OBRA							
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	3,0	26.969,00	
4	Ayudante	123.600,00	100.116,00	223.716,00	3,0	74.572,00	
					SUB-TOTAL	\$101.541	
					TOTAL COSTO DIRECTO		
					\$1.100.915		
V- COSTOS INDIRECTOS							
DESCRIPCION					PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración					15%	\$ 165.137,00	
Imprevistos					5%	\$ 55.045,00	
Utilidad					5%	\$ 55.045,00	
					SUB-TOTAL	\$275.227,00	
					PRECIO UNITARIO TOTAL		
					\$1.376.142,00		

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:	Retiro de grava =0,93 cm y 3/4". Incluye clasificación y reutilización del 50%.					
UNIDAD:	M3			FECHA:	MAYO 2019	
I- EQUIPO						
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR		%	30.463,00	5,00	1.523	
					SUB-TOTAL	\$1.523
II- MATERIALES EN OBRAS						
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
					SUB-TOTAL	\$,00
III- TRANSPORTE						
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.
VOLQUETA CHEVROLET C-70 (4.2 - 5)M3.					180000	0
						SUB-TOTAL
						\$
IV- MANO DE OBRA						
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	10,0	8.091,00
4	Ayudante	123.600,00	100.116,00	223.716,00	10,0	22.372,00
						SUB-TOTAL
						\$30.463
TOTAL COSTO DIRECTO						\$31.986
V- COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION				PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración				15%	\$ 4.797,00	
Imprevistos				5%	\$ 1.599,00	
Utilidad				5%	\$ 1.599,00	
					SUB-TOTAL	\$7.995,00
PRECIO UNITARIO TOTAL						\$39.981,00



Neiva
LA RAZÓN DE TODOS
- Gobierno Transparente -

Municipio de Neiva

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:	Disposición final de grava no aprovechable. incluye transporte.					
UNIDAD:	M3			FECHA:	MAYO 2019	
I- EQUIPO						
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR		%	6.094,00	5,00	305	
					SUB-TOTAL	\$305
II- MATERIALES EN OBRAS						
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
					SUB-TOTAL	\$,00
III- TRANSPORTE						
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.
VOLQUETA CHEVROLET C-70 (4.2 - 5)M3.				1	180000	180000
					SUB-TOTAL	\$180.000
IV- MANO DE OBRA						
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	50,0	1.619,00
4	Ayudante	123.600,00	100.116,00	223.716,00	50,0	4.475,00
					SUB-TOTAL	\$6.094
TOTAL COSTO DIRECTO						\$186.399
V- COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION				PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración				15%	\$ 27.959,00	
Imprevistos				5%	\$ 9.319,00	
Utilidad				5%	\$ 9.319,00	
					SUB-TOTAL	\$46.597,00
					PRECIO UNITARIO TOTAL	\$232.996,00



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:	Suministro e instalacion de valvulas de globo d=4" , incluye accesorios.					
UNIDAD:	UND			FECHA:	MAYO 2019	
I- EQUIPO						
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.	
HERRAMIENTA MENOR		%	20.414,00	5,00	1.021	
					SUB-TOTAL	\$1.021
II- MATERIALES EN OBRAS						
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.	
Valvulas de globo d=4" HG		UND	744.345,00	1,0	744.345,00	
Union PVC Ø 4" Sanitario		UND	7.609	1,0	7.609,00	
84914		Gal	84.914,00	0,005	424,57	
Adaptador macho sanitario de 4"		UND	36.456,22	2,00	72.912,43	
					SUB-TOTAL	\$825.292
III- TRANSPORTE						
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.
					0	0
					SUB-TOTAL	\$
IV- MANO DE OBRA						
DESCRIPCION		JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	8,0	10.114,00
4	Ayudante	123.600,00	100.116,00	223.716,00	8,0	10.300,00
					SUB-TOTAL	\$20.414
TOTAL COSTO DIRECTO						\$846.727
V- COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION				PORCENT	VAL. TOTAL	
Adminstración				15%	\$ 127.009,00	
Imprevistos				5%	\$ 42.336,00	
Utilidad				5%	\$ 42.336,00	
					SUB-TOTAL	\$211.681,00
PRECIO UNITARIO TOTAL						\$1.058.408,00



Neiva
LA RAZÓN DE TODOS
- Gobierno Transparente -



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:	Suministro e instalacion sistema multiple recolector PVC (orificios d=0,01m). Segun Diseños.					
UNIDAD:	ML	FECHA:	MAYO 2019			
I- EQUIPO						
DESCRIPCION	TIPO	TARIF /DIA	REN.UN /DIA	VALOR UNIT.		
HERRAMIENTA MENOR	%	38.079,00	5,00	1.904		
				SUB-TOTAL	\$1.904	
II- MATERIALES EN OBRAS						
DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.		
Tuberia PVC sanitaria d=4"	ML	21.310,17	1,0	21.310,17		
Tapon soldado PVC sanitaria d= 4"	UND	35.516	0,2	7.103,20		
				SUB-TOTAL	\$28.413	
III- TRANSPORTE						
DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.	
					SUB-TOTAL	\$,00
IV- MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1 Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	8,0	10.114,00	
4 Ayudante	123.600,00	100.116,00	223.716,00	8,0	27.965,00	
					SUB-TOTAL	\$38.079
TOTAL COSTO DIRECTO						\$68.396,00
V- COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION	PORCENT			VAL. TOTAL		
Adminstración	15%			\$ 10.259,00		
Imprevistos	5%			\$ 3.419,00		
Utilidad	5%			\$ 3.419,00		
				SUB-TOTAL	\$17.097,00	
PRECIO UNITARIO TOTAL						\$85.493,00



Municipio de Neiva

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:		MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:		NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA		ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:		Retiro de geotextil					
UNIDAD:		M2			FECHA:	MAYO 2019	
I- EQUIPO							
DESCRIPCION		TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.		
HERRAMIENTA MENOR		%	4.820,00	3,00	145		
					SUB-TOTAL	\$145	
II- MATERIALES EN OBRAS							
DESCRIPCION		UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.		
					SUB-TOTAL	\$	
III- TRANSPORTE							
DESCRIPCION		VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.	
					SUB-TOTAL	\$	
IV- MANO DE OBRA							
	DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1	Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	40,0	2.023,00	
2	Ayudante	61.800,00	50.058,00	111.858,00	40,0	2.797,00	
					SUB-TOTAL	\$4.820	
						TOTAL COSTO DIRECTO	\$4.965
V- COSTOS INDIRECTOS							
DESCRIPCION					PORCENT	VAL. TOTAL	
Administración					15%	\$ 744,00	
Imprevistos					5%	\$ 248,00	
Utilidad					5%	\$ 248,00	
					SUB-TOTAL	\$1.240	
						PRECIO UNITARIO TOTAL	\$6.205



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	MEJORAMIENTO, OPTIMIZACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES "PTAR" CENTRO POBLADO SAN LUIS, MUNICIPIO DE NEIVA.					
LOCALIZACION:	NEIVA - HUILA					
PROYECTISTA	ING. CARLOS ANDRES SERRANO ALBA					
ITEM:	Suministro e instalación geotextil PAVCO geomembrana cal 20 =0,5mm, según diseños.					
UNIDAD:	M2	FECHA:	MAYO 2019			
I- EQUIPO						
DESCRIPCION	TIPO	TARIF/DIA	REN.UN/DIA	VALOR UNIT.		
HERRAMIENTA MENOR	%	8.704,00	5,00	435		
				SUB-TOTAL	\$435	
II- MATERIALES EN OBRAS						
DESCRIPCION	UNIDAD	PREC-UNIT.	CANTIDAD	VALOR UNIT.		
Geotextil erfolg tejido 600x de 2400	m2	5.861,00	1,0	5.861,00		
				SUB-TOTAL	\$5.861	
III- TRANSPORTE						
DESCRIPCION	VOL-PESO CANT	DISTANCIA	M3	TARIFA	VALOR UNIT.	
					SUB-TOTAL	\$
IV- MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACIO.	JOR. TOTAL	REND/TO	VALOR UNIT.	
1 Oficial	44.700,00	36.207,00	80.907,00	35,0	\$2.312	
4 Ayudante	123.600,00	100.116,00	223.716,00	35,0	\$6.392	
					SUB-TOTAL	\$8.704
TOTAL COSTO DIRECTO						\$15.000,00
V- COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION	PORCENT			VAL. TOTAL		
Adminstración	15%			\$ 2.250,00		
Imprevistos	5%			\$ 750,00		
Utilidad	5%			\$ 750,00		
				SUB-TOTAL	\$3.750,00	
PRECIO UNITARIO TOTAL					\$18.750,00	



ANEXO 2. INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) CON REACTOR UASB

1. INTRODUCCIÓN

El manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua residual con reactor UASB del corregimiento de San Luis, Municipio de Neiva, presenta los procedimientos a seguir para operar y mantener las siguientes unidades de tratamiento: canal de entrada, rejilla, desarenador, canaleta Parshall, reactor UASB, lecho de secado y humedal artificial; este documento está propuesto como guía para la capacitación en operación y mantenimiento de la planta en general y en el arranque del reactor UASB, al responsable y operario de la planta.

El tratamiento de aguas residuales es una medida de mitigación que ayuda a disminuir y controlar la contaminación vertida en los cuerpos de agua; sin embargo, para que esta medida tenga éxito se debe contar con obras de infraestructura correspondientes al tipo de aguas a tratar y con el personal capacitado para llevar a cabo labores de operación y mantenimiento. Se espera que este documento constituya un instrumento útil en el desafío de mantener la planta de tratamiento de aguas residuales en condiciones óptimas en su capacidad para lograr satisfacer las expectativas y necesidades de sus usuarios y población, que se ve beneficiada con la prestación de este servicio.

2. OBJETIVOS

2.1 General

El principal objetivo de este manual es ser tomado como un documento de consulta y orientación para las personas encargadas de realizar la operación y el mantenimiento de la planta de tratamiento agua residual con reactor UASB del corregimiento de San Luis, Municipio de Neiva.

2.2 Específicos

- Orientar a los operadores en la solución de problemas específicos que se presenten en la operación y mantenimiento de todas las unidades que componen la planta de tratamiento de agua residual del corregimiento de San Luis Municipio Neiva.
- Facilitar las acciones básicas para los encargados de operar la planta de tratamiento de agua residual del corregimiento de San Luis Municipio Neiva.



3. CONCEPTUALIZACIÓN

Antes se presentan unos conceptos básicos necesarios para el entendimiento del funcionamiento de la PTAR:

Rejillas: son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas las cuales se ubican transversalmente al flujo, y se colocan antes del desarenador, sin alterar el flujo normal. Las barras pueden ser rectas o curvadas. Su finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente grandes, que estén en suspensión o flotantes. Las rejillas por lo general son la primera unidad de una planta de tratamiento.

Válvula: todo fluido, al ser transportado por medio de tuberías, requiere un control de flujo, un método que impida su retorno y que libere el exceso de presión cuando esta sobrepase ciertos límites de seguridad. Para cumplir estas funciones se utilizan las válvulas.

Desarenador: es una cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena) y otros materiales no orgánicos tales como guijarros, huesos, etc. Este se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 2 mm. Los desarenadores pueden ser rectangulares o circulares; de flujo horizontal o helicoidal; aireados o no; de limpieza manual o mecánica. Tienen como función prevenir la abrasión de equipos mecánicos, evitar la sedimentación de arenas en tuberías, canales y tanques ubicados aguas abajo.

Canaleta Parshall: es un tipo de medidor perfeccionado del de Venturi. Es un dispositivo de aforo bastante exacto con la ventaja de que su costo es menor. Ha resultado un medio de aforo satisfactorio y también muy útil para verificar la velocidad en los desarenadores. Siendo también útil porque su forma no permite la acumulación de sólidos en ninguna parte del canal.

Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB): estructura que permite la digestión anaerobia, siendo un proceso microbiológico complejo que se realiza en ausencia de oxígeno, donde la materia orgánica se transforma a biomasa y compuestos orgánicos, la mayoría de ellos volátiles.

4. REQUERIMIENTOS PREVIOS AL ARRANQUE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para la puesta en marcha de una planta de tratamiento, el operador deberá tener presente los siguientes alcances y requisitos para un adecuado desarrollo de las actividades que conformarán el arranque, operación y mantenimiento:



4.1 ASPECTOS DE CONTROL

Las condiciones hidráulicas y biológicas que forman parte del proceso de depuración de las aguas residuales, pueden verse afectadas por una serie de factores. Algunos de éstos son fácilmente controlables y adaptables al proyecto, pero otros, por su propia naturaleza, no se pueden controlar y deben ser considerados con buen criterio, de modo que su interferencia no afecte el proceso.

4.1.1 Parámetros no controlables

Son los factores fuera del control del hombre y están representados básicamente por parámetros meteorológicos, así como por algunos de tipo local. Entre éstos se tienen:

4.1.1.1 Factores meteorológicos

Evaporación: La evaporación del agua altera la concentración de sólidos, de materia orgánica y de los elementos presentes en el agua, pudiendo modificar el equilibrio biológico.

Temperatura: Es el parámetro más importante, dado que es una medida indirecta de otros factores importantes, como, por ejemplo, la radiación solar, velocidad de fotosíntesis y la velocidad de metabolismo de los microorganismos.

Vientos: Tienen importancia para las lagunas de estabilización y para los estanques de acuicultura, ya que favorecen la homogenización de la masa líquida.

Nubes: Interfieren como elemento capaz de interponerse al paso de la luz solar.

Factores locales

Son factores propios de cada zona, tales como temperatura del agua, características de las aguas servidas e infiltración.

4.1.2 Parámetros de control operacional

Tienen relación directa con el funcionamiento de los procesos y su control periódico permite observar el comportamiento de cada unidad de tratamiento. Para esto, se deberá contar con instrumentación de análisis y equipo de muestreo adecuado. Se deben controlar los siguientes parámetros básicos: caudal, temperatura, pH, remoción de DBO, remoción de sólidos, remoción de coliformes y concentración de nutrientes.

Si las unidades de tratamiento funcionan de acuerdo con la carga orgánica y bacteriológica considerada en el proyecto, la operación se reducirá a un control periódico de la eficiencia del proceso.

En cuanto al monitoreo de la calidad de los efluentes de las distintas unidades de tratamiento, el laboratorio encargado de efectuar los análisis deberá estar equipado



y contar con el personal y reactivos necesarios para implementar como mínimo las siguientes pruebas:

DBO total y soluble, DQO total y soluble, sólidos totales, sólidos en suspensión y volátiles, ácidos grasos volátiles, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, oxígeno disuelto, temperatura, pH, coliformes totales, coliformes fecales, parásitos y detección de trazadores colorantes.

Si el laboratorio encargado de realizar dichos análisis no cuenta con la infraestructura o no tiene implementadas las técnicas requeridas, deberá realizar a la mayor brevedad las gestiones que permitan dar fiel cumplimiento a lo establecido en el presente manual.

4.1.3 Monitoreo de la calidad del afluente y efluente

Es necesario que la planta de tratamiento siga una serie de parámetros, entre los controles ambientales, por lo menos, el monitoreo de la calidad del afluente y efluente, y así puedan detectarse rápidamente las fallas operacionales para poder tomar las medidas pertinentes. La persona encargada de recoger las muestras debe dar indagación acerca de las condiciones del lugar y la manera en que se lleva a cabo el muestreo. El registro debe incluir una descripción sobre el aspecto del agua residual, su color, presencia de sólidos y material flotante, características olorosas. Se hace necesario medir la temperatura y el pH del agua in situ.

4.1.3.1 El muestreo

Se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones antes efectuar el muestreo tanto en el afluente como en el efluente:

- Debe evitarse todo tipo de contaminación secundaria de la muestra, ya sea debido al método empleado, a los recipientes de muestreo, etc.
- Generalmente bastará con refrigerar la muestra de inmediato y trasladarla lo más rápido posible al laboratorio. Generalmente de 1 a 2 litros de agua son suficientes para realizar los análisis convencionales del agua residual.
- Cuando se necesitan análisis especiales, por ejemplo, para determinar grasas y aceites, la persona que tome las muestras debe estar debidamente informada que el recipiente de almacenamiento debe ser en material de vidrio, boca ancha y de 500 a 1000 mililitros de capacidad.
- En todo caso el supervisor debe dar las indicaciones necesarias a la persona que va a recoger las muestras antes de que esta inicie sus funciones.

El muestreo de afluente y efluente es la única forma para establecer las eficiencias de remoción y el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.



- El muestreo aleatorio, que consiste en la obtención de muestras individuales cada cierto tiempo, proporciona únicamente la composición del agua residual en el momento del muestreo. Se recomienda tomar una muestra aleatoria simple solo cuando se espera un cambio muy lento en la composición del agua a ser analizada.
- El muestreo de acuerdo con el tiempo o en proporción al tiempo, que se conoce también como muestreo semicontinuo, consiste en la toma de muestras de volúmenes iguales de agua residual a intervalos específicos en un período determinado, por ejemplo, cada 15 o 30 minutos, cuya combinación y mezcla conforma la muestra compuesta.
- La técnica de muestreo de acuerdo con la caudal resulta especialmente adecuada para determinar cargas de contaminación, sobre todo cuando varían las cantidades y concentraciones del agua residual. Esta técnica exige conocer el volumen del efluente de agua residual por unidad de tiempo

4.2 Personal de la planta

Debe estar conformado por un área administrativa y otra de operación y mantenimiento.

Un jefe de planta, supervisor o coordinador. (Un cuarto de jornada). Tendrá a su cargo la planta de tratamiento, así como la coordinación de los operarios encargados de la operación y mantenimiento. Este debe desarrollar entre otras las siguientes actividades:

- Elaborar un reglamento de trabajo en la PTAR.
- Elaborar una guía de funciones y responsabilidades.
- Diseñar una guía para el muestreo en las diferentes unidades y puntos, con tipos de muestreo, parámetros de control, horarios determinados, número de muestreos, etc.
- Coordinar el programa de muestreo y transporte de muestras de parámetros que por su especificidad no se puedan procesar en el laboratorio de la planta.
- Velar por la operación normal de la PTAR.
- Controlar el cumplimiento de las funciones, horarios y reglamento interno de trabajo.
- Diseñar los diferentes formularios y formatos para el registro y archivo de la información.
- Mantener en la planta, en un lugar visible para el personal con funciones operativas, la información sobre la misma como planos, manuales, memorias de diseño, además de bibliografía útil para el personal en lo que tiene que ver con soluciones a posibles problemas (documentos, catálogos, libros, revistas, etc.).
- Velar por la seguridad laboral del personal.
- Mantener actualizado el inventario de reactivos y equipos.



-Implementar un programa preventivo de mantenimiento continuo de las instalaciones, estructuras y equipos.

- Realizar reuniones periódicas con todo el personal a fin de estandarizar los procedimientos que se llevan a cabo en la planta.

- Capacitarse continuamente en el campo del tratamiento de las ARU, con el fin de realizar investigaciones, utilizando las instalaciones e información de la operación que conlleva a la optimización de la PTAR.

Tres operadores. - (Jornada de 8 horas/día). Serán los encargados de realizar las tareas de control de la planta de tratamiento. Deberán tener conocimientos sobre mantenimiento y operación, para lo cual requerirán de cursos de capacitación.

Las responsabilidades que les serán asignadas son:

-Informar periódicamente al jefe sobre el funcionamiento y estado de las unidades en general.

-Realizar los controles necesarios para la normal operación de las plantas, entre ellos:

- Medición de caudales o Controles fisicoquímicos: lectura de parámetros, toma de muestras de agua.

- Llevar a cabo los programas de mantenimiento físico de todas las unidades.

Dos obreros. - (Jornada de 8 horas/día). Deberán preocuparse del mantenimiento de las unidades de tratamiento, fundamentalmente mantener los taludes libres de vegetación; limpiar las canaletas, vertederos, desarenador y cámara de rejillas; remover grasas y materia orgánica flotante (con la frecuencia propuesta en los puntos posteriores); y mantener las áreas verdes.

Personal de administración

Una secretaria. Deberá trasladar los datos obtenidos a los registros de control de la planta y procesar la información que se enviará a los demás niveles.

4.3 Equipo de trabajo y seguridad

A fin de lograr el óptimo desarrollo de la puesta en marcha, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, es necesario que el personal cuente con herramientas básicas para su trabajo, así como el equipo de protección necesario para realizar las funciones en condiciones seguras.

Equipo de trabajo En una planta de tratamiento el equipo de trabajo se reduce a herramientas necesarias para mantenimiento. Es aconsejable que la planta cuente con el mínimo de herramientas de trabajo descritas en la tabla No.1 (el número de ellas variará conforme a las necesidades):



Tabla No.1 Herramientas necesarias para el mantenimiento de la PTAR

HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS	CANTIDAD NECESARIA
Carretillas de mano	Una por cada 2 obreros
Pala	Una por cada obrero
Cuchara de 12" de diámetro de malla metálica, con asa metálica (tubería de fierro galvanizado de 1") de 2 m. de largo	Una por cada obrero
Caja de herramientas con martillo, alicate, clavos, llave de expansión ó expansiva, llave de tubo, etc.	Un juego por cada 2 obreros
Manguera para lavado de unidades de pretratamiento	Una
Rastrillo	Uno por cada obrero
pHmetro para medir en profundidad	Uno
Oxímetro para medir en profundidad	Uno
Comparador de pH con rango de 1 a 11	Uno
Termómetro para medición de temperatura en °C (rango 0 – 100 °C)	Dos

4.3.1 Elementos de protección persona, está compuesto por:

El Equipo de Protección Personal (EPP) recomendable para todo el personal de la planta (jefe, operarios y trabajadores) es el siguiente:

1. Gorra
2. Mascarilla
3. Guantes
4. Uniforme completo
5. Botas de hule



Reutelschoefer et al. (2019) Mantenimiento para el Tratamiento de Aguas Residuales mediante Lagunas de Estabilización (**Figura 1**). Elementos de protección personal



Se hace énfasis en que los operadores deben verificar el buen estado del Equipo de Protección Personal (EPP) antes de usarlo e informar al jefe o supervisor si este está dañado o deteriorado.

Para el resguardo y mantenimiento adecuado del equipo de trabajo es necesario disponer de un almacén. Para tal efecto, se deberá asignar alguna de las instalaciones existentes para dicho fin. Una vez concluidas las actividades diarias el personal de operación deberá limpiar y guardar cuidadosamente el equipo usado. El almacén permanecerá cerrado y con llave para asegurar las herramientas y equipos de medición propios de la planta. La responsabilidad del cuidado será del operador de turno.

De igual forma, se deberá contemplar un almacén adicional para los productos químicos tales como NaOH, CaCO₃, hipoclorito de sodio, etc. En caso de no poder contar con alguna de las instalaciones existentes se podrá usar el mismo almacén destinado al equipo de trabajo, mientras se prevea la construcción de una bodega específica para dichos fines. Se deberá tener especial precaución de mantener apartados dichos productos del resto de los equipos.

4.3.2 Seguridad

Los riesgos a los que está expuesto un empleado en instalaciones de este tipo son principalmente las lesiones físicas e infecciones. Estos se eliminan fácilmente si se toman las medidas de prevención adecuadas. A continuación, se recomiendan algunas medidas de seguridad:

- **Para prevenir accidentes**

- Aseo y orden: La primera medida de prevención de accidentes y enfermedades es el aseo y orden correcto de las instalaciones. En lugares apropiados, se deben colocar letreros grandes a la vista de los operadores con los signos de advertencia y señales de peligro para tener en cuenta. Colocar barandas en los lugares de peligro (pasarelas, canaletas) para evitar posibles caídas. Colocar:

- Uso adecuado de herramientas: Para evitar accidentes de trabajo o el deterioro o pérdida de las mismas.

- Peligros de la electricidad: Este es un factor de riesgo si no se toman las precauciones debidas.

- Prevención y control de incendios: Dada la práctica común de quemar las basuras y desechos.

- Señalización: Como una medida de seguridad, se recomienda emplear señales en las plantas de tratamiento.

- **Para prevenir infecciones**



Los operadores deben usar guantes de cuero al manejar objetos grandes, por ejemplo, tapas y compuertas. Asimismo, se debe portar guantes de goma cuando se ejecuten labores que requieran contacto con aguas residuales o material retenido en las rejillas. Las aguas residuales son un riesgo para los trabajadores, debido a las enfermedades que se transmiten a través del agua, tales como la fiebre tifoidea, disentería, fiebre paratifoidea, ictericia infecciosa y tétano. Se recomienda tener presente las siguientes medidas preventivas:

1. **Primeros auxilios:** Proveer un botiquín de primeros auxilios para el tratamiento inmediato de pequeñas cortaduras y heridas. Las lesiones de pequeña consideración pueden ser tratadas con primeros auxilios. En caso de heridas de mayor importancia, debe requerirse los servicios de un médico o del personal del centro asistencial.
2. **Inmunizaciones:** Los empleados deben ser inmunizados periódicamente, mediante vacunas contra la fiebre tifoidea y el tétano.
3. **Precauciones personales:** Mientras se trabaja, no se debe tocar con las manos la cara o la cabeza. No se debe fumar mientras se manipula materia orgánica. Antes de comer, se deben lavar las manos con abundante agua y jabón antiséptico o yodado.
4. **Desinfectantes:** En los servicios higiénicos se debe proveer material de aseo, tales como jabón antiséptico o yodado y alcohol, etc. Además, se deberá contar con hipoclorito de sodio para la limpieza del equipo de trabajo y material de seguridad.

4.3.3 Funciones y responsabilidades del personal operativo

Primero que todo, los operadores deben ser personas arraigadas y conscientes de la importancia del trabajo que realizan, ya que, de la buena operación y el mantenimiento continuo de la PTAR, depende el buen funcionamiento y por consiguiente la obtención de las eficiencias esperadas por el sistema.

Los operadores deben llevar un cuaderno o bitácora de operaciones, donde se debe registrar diariamente, todo lo que hace durante la jornada de trabajo, así como los sucesos o anomalías específicas presentadas, las visitas realizadas a la planta por personas externas (cuantas y a qué entidad representan), entre otros.

Cada operario debe eliminar de inmediato las obstrucciones, fugas y reparar daños que se presenten en las estructuras, o en los procesos de la PTAR.

Cualquier anomalía encontrada que no pueda ser solucionada, deberá comunicarla al supervisor o jefe inmediato, lo más pronto posible.

Al final de cada jornada el operario responsable debe dejar la planta perfectamente aseada y ordenada, tal como debe conservarla durante la jornada.



Cada operario debe cumplir rigurosamente con el horario que se establezca para la operación de la PTAR. Cada operador deberá responder por las herramientas, equipos y demás logística utilizada para la operación de la PTAR. Igualmente debe responder por el aseo y conservación de la caseta de operaciones que le sirve para guarnecerse de la lluvia, cambiarse de ropa en cada turno y como depósito de herramientas.

5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA PRELIMINAR

Las siguientes instrucciones son una guía para el operario encargado de la planta de tratamiento de agua residual.

5.1 Operación y mantenimiento del canal de entrada

5.1.1 Canal de entrada

En esta unidad se depositan piedras, gravilla, algunas arenas y elementos con gran peso que son transportados por el alcantarillado. El mantenimiento de esta unidad, se limita solamente a retirar el material depositado, para evitar que el agua residual se remanse y salga por el vertedero de excesos sin ningún tratamiento. Para realizar la operación de limpieza, el operador debe proceder de la siguiente manera:

- Con una pala retirar la gravilla, piedras y demás materiales depositados en el canal, y anotar en la tabla de reporte la cantidad y las características del material extraído.

- En un coche o un balde transportar el material, exceptuando la arena, hasta el lugar de disposición (cerca de los trinchos), para después echarlo encima del material orgánico extraído de los desarenadores.

- La arena retirada de esta unidad debe ser almacenada, para posteriormente usarla como material filtrante en los lechos de secado.

- Con un cepillo remover la lama que esté adherida a los muros del canal. La frecuencia de limpieza debe ser dos veces al día (en la mañana y en la tarde), y después que se presenten lluvias intensas.

- Debe hacerse una medición semanal de caudales y niveles en los canales, con el fin de establecer la pendiente de la línea de gradiente hidráulico y verificar si están ocurriendo cambios en la rugosidad del canal o en el área mojada, debidos a problemas de sedimentación o erosión.

5.1.2 Cribado

Para esta unidad es necesario asegurar que la rejilla se encuentre en un ángulo de inclinación de 45°, ya que de otra forma podrían presentarse inconvenientes en la remoción de sólidos en suspensión de gran y mediano tamaño.

Pasos a seguir para realizar las labores de mantenimiento:



- Levantar la reja y retirar manualmente el material acumulado en esta con la ayuda de un rastrillo y disponerlo provisionalmente en la bandeja de escurrimiento, para trasladarlo posteriormente a la ramada de secado y empacado, donde luego se dispondrá como residuo peligroso (la empresa prestadora de servicio deberá gestionar la empresa que realizará la recolección de los residuos peligrosos). Anotar la cantidad de material extraído en las tablas de reporte.

- Con una pala sacar todo el material depositado en el fondo del canal y llevarlo provisionalmente en la bandeja de escurrimiento, para después trasladarlo a la ramada de secado y empacado.

- Remover con un cepillo la lama y demás materiales que se adhieren a las paredes del canal y a la reja de cribado.

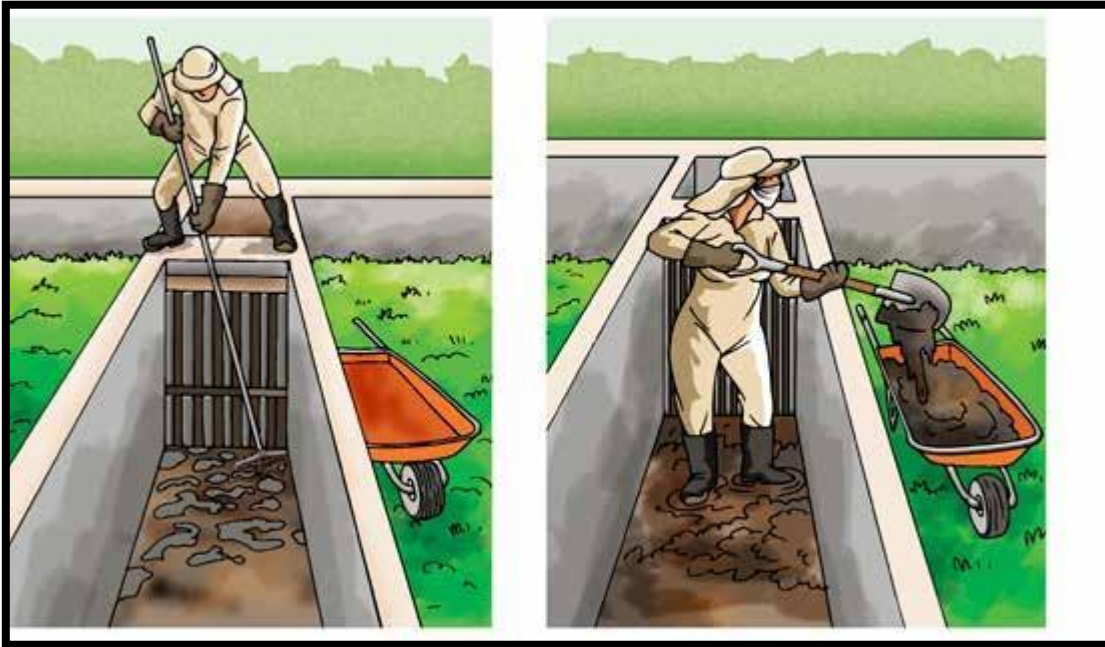
-Para el buen mantenimiento de las rejillas se debe limpiar todos los días con agua a presión.

- El obrero será responsable de depositar diariamente los residuos y de recubrirlos al menos una vez con una pequeña capa de cal (CaCO_3) y posteriormente agregar una capa de arcilla disponible en el recinto. Se prevé un espesor de recubrimiento de un centímetro de cal y de unos dos a tres centímetros de arcilla. De esta manera, se evitará que el material esté expuesto al ambiente, los malos olores (por la descomposición de la materia orgánica) y la proliferación de insectos.

- La arena extraída de esta unidad, debe ser almacenada para ser lavada, seleccionada y posteriormente reutilizada en los lechos de secado de lodos.

Las rejillas manuales tienen que ser limpiadas dos veces por día, por la mañana y por la tarde. Si esto no se realiza se puede provocar un refluo, no se debe aceptar que el porcentaje de obstrucción supere el 60% de la superficie útil de la reja. En periodos de lluvias la limpieza de la planta de tratamiento debería de repetirse cada hora.

Cabe destacar que es de mucha importancia que cada persona que realiza la limpieza debe usar guantes de protección de hule, para retirar los objetos retenidos en la rejilla evitando el riesgo de infección.



Reutelschoefer et al. (2019) Mantenimiento para el Tratamiento de Aguas Residuales mediante Lagunas de Estabilización **Figura 2.** Ejemplo de limpieza y retiro de material sobrante de la rejilla

5.1.3 Desarenador

1. Es necesario verificar el nivel de sedimentos en el fondo para que su operación se dé sin inconvenientes y realizar una inspección de los soportes de las compuertas.
2. Al desarenador se le debe hacer limpieza dos veces por semana. Aunque esto puede variar dependiendo de la calidad del agua y del estado del tiempo eso lo debe evaluar el operador. Esta labor también será controlada durante la puesta en marcha de la planta, a fin de determinar con más precisión la frecuencia óptima de limpieza. Cuando se va a hacer mantenimiento a un desarenador se colocan las compuertas de entrada y salida, para sacarlo de servicio, y se abren o quitan para colocarlo en funcionamiento. El desarenador se deja escurriendo aproximadamente dos horas para poder sacar los sólidos con menos contenido de agua.
3. Como la unidad ya está vacía, se lavan paredes y piso con cepillo. Los recipientes plásticos, palas y otros elementos utilizados también se lavan, dejando todo limpio.
4. Cuando el desarenador no esté en función debe quedar limpio de sedimentos y de aguas estancadas.
5. Se necesita la inspección diaria de la cámara del desarenador, para verificar la cantidad de arena decantada. Los residuos orgánicos que son extraídos producto de la limpieza se pueden vaciar en el foso de succión y de allí ser transportados a



los reactores UASB, ya que estos requieren de grandes cantidades de carga orgánica para garantizar el buen funcionamiento del mismo.

6. Con pala se saca el material y se deposita en recipientes plásticos perforados para dejarlo escurrir hasta el día siguiente. Cuando se termina la jornada estos recipientes deben cubrirse con un plástico para evitar que se saturen de agua en caso de lluvia.

La arena extraída de esta unidad, debe ser almacenada conjuntamente con la extraída de cribado, para ser lavada, seleccionada y posteriormente reutilizada en los lechos de secado de lodos.



Reutelshöfer Tina (2015) Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales **(Figura 3)**. Ejemplo de desagote y retiro de sedimentos a bandeja de escurrimiento con ayuda de motobomba.





Reutelshöfer Tina (2015) Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (**Figura 4**). Ejemplo retiro de material de lecho de drenaje a fosa sanitaria.

5.1.4 Canaleta Parshall

1. Con ayuda de una regleta aforada de 0 a 58 cm, medir la altura de la lámina de agua cada hora para que así se establezca posteriormente el caudal de la PTAR.
2. Limpieza cada dos días como mínimo o cuando no sea fácil la lectura de la regleta con una escoba de cerdas gruesas sobre las paredes, para facilitar la lectura de los niveles para el cálculo de caudales.

5.2 Válvulas

1. Semestralmente, el operario en compañía del supervisor realiza una inspección de válvulas y tuberías de llenado, rectificando que se encuentre en buen estado.
2. El operario mensualmente lubrica cada una de las válvulas, para facilitar su labor.

5.3 Operación del reactor UASB

Durante la operación del reactor, se debe garantizar el funcionamiento continuo y adecuado del sistema hidráulico y del proceso biológico respectivo. El control operativo debe centrarse en tres puntos:

- a) Distribución uniforme del afluente en el fondo del reactor.
- b) Lodo anaerobio con buena capacidad de sedimentación y de digestión.
- c) Efectiva separación del biogás, del líquido y del lodo.

La operación deberá contemplar un trabajo rutinario diario o semanal, y trabajos ocasionales. En general, el trabajo diario consistirá en:

1. Limpieza de las estructuras que determinan el funcionamiento hidráulico de la planta y la determinación de parámetros (control operativo).
2. Observaciones al afluente y efluente para la correcta evaluación del funcionamiento biológico del reactor. El trabajo ocasional se referirá más a la evaluación del comportamiento del lodo.

- Vertederos de repartición y tuberías de alimentación

Su función es repartir en forma equitativa el caudal afluente y provocar una mejor distribución de la masa de agua en el reactor.



El buen funcionamiento del reactor dependerá de la adecuada distribución sobre el fondo del reactor. Por tal razón, se deberá mantener limpios los vertederos en las cajas de repartición de caudales. Esta limpieza se hará por lo menos una vez al día.

Además, diariamente se debe observar el funcionamiento de los tubos de alimentación en el fondo del reactor. Esto se puede observar en la diferencia del nivel estático que se produce entre la columna de agua en el tubo y el nivel del agua en el reactor. Cuando el nivel estático en un tubo aumenta, se debe limpiar el tubo. Esta faena se realizará introduciendo una manguera por la tubería e inyectando agua a presión. Bajo ninguna circunstancia se introducirán varillas, palos o elementos rígidos.

- Canaletas de recolección

Para que la recolección del efluente sea uniforme, es importante que todos los vertederos de las canaletas tengan un flujo libre. Para garantizar este buen funcionamiento, se deben limpiar los vertederos de las canaletas, mínimo una vez al día. Una vez por semana las canaletas deberán barrerse.

- Sistema de muestreo y purga de lodo

En estos sistemas de muestreo y purga de lodos, la tubería tiende a taparse cuando no se usa frecuentemente, sobre todo en el punto más bajo en donde se puede formar un tapón.

Esto puede ser producto de la longitud de la tubería y de la densidad que tenga el lodo. Ante esta situación, se debe limpiar la tubería desde arriba con una manguera, tal como se señaló anteriormente.

- Tubería de conducción de lodo

La tubería que conduce el lodo hacia el lecho de secado debe lavarse con agua después de cada uso, ya que esta puede obstruirse y provocar malos olores debido a la sedimentación de lodo en la tubería. El agua de lavado descargará en el lecho de secado.

- Comportamiento hidráulico del reactor

Durante la operación del reactor, se deberá verificar el tiempo de retención hidráulica dentro del reactor. Esta actividad se realizará trimestralmente. La metodología a emplear es a través del uso de trazadores.

- Medición de caudal

Para garantizar un funcionamiento apropiado el caudal con la cual la planta está funcionando debe ser de acuerdo con los criterios con los cuales la planta fue diseñada. Como medida de control el aforo del caudal se emplea ocasionalmente,



durante diferentes horas del día para determinar el tiempo de retención hidráulico (TRH) promedio, mínimo y pico.

- Muestreo del afluente y efluente líquido

La capacidad de un RAFA que trata aguas residuales domésticas para la remoción de materia orgánica y la formación de metano, depende de los siguientes factores:

- Carga orgánica máxima diaria total (kg DQO/día).
- Carga superficial líquida permitida ($\text{m}^3 / \text{m}^2 \text{día}$).
- Concentración del agua residual (g DQO/ m^3).
- Carga volumétrica permisible (kg DQO/ $\text{m}^3 \text{día}$).

Para conocer el funcionamiento y por ende las eficiencias de remoción y funcionamiento biológico de la unidad de tratamiento, es necesario el muestreo rutinario del afluente y efluente del reactor.

Un resultado confiable del funcionamiento del reactor se puede obtener a partir de una muestra puntual. Sin embargo, se deja abierta la posibilidad de prever esporádicamente un análisis de muestra compuesta cada 4 horas durante un día.

La factibilidad de llevar a cabo este monitoreo, dependerá de la disponibilidad de medios y de la infraestructura del laboratorio.

En cuanto a los muestreos del afluente (aguas residuales), los parámetros a controlar serán:

- Temperatura, pH, caudal, los cuales se medirán diariamente.
- DQO, DBO, ST, SST, SSV, sulfatos, los que serán controlados semanalmente.
- Nutrientes (nitrógeno total y amoniacal, fosfatos), ácidos grasos volátiles, analizados una vez por mes.

Los parámetros importantes para la evaluación del comportamiento del reactor son los siguientes:

DQO, DBO, ST, SST, SSV, alcalinidad, pH, temperatura, nitrógeno total y amoniacal, fosfatos, sulfatos y ácidos grasos volátiles.

En cuanto a la frecuencia de estos muestreos, se prevé lo siguiente:

- La medida de la temperatura y pH se hará todos los días.
- El monitoreo de los parámetros, alcalinidad, DQO, DBO, ST, SST, SSV y ácidos grasos volátiles, se hará por lo menos una vez por semana (lo más recomendable es dos veces por semana).



- El monitoreo de los parámetros, nitrógeno total y amoniacal, fosfatos, sulfatos, grasas y aceites, se hará una vez por mes (lo más recomendable es una vez por semana).

En términos de DQO, se espera que el efluente líquido del reactor tenga una concentración del orden de 20 a 40% respecto del afluente.

Temperatura

La temperatura es una de las variables que más influyen en el proceso, cuya eficacia decrece por debajo de 15°C ya que la depuración se debe fundamentalmente a la sedimentación, mientras que por encima de 15 °C la biodegradación se incrementa. La temperatura afecta la actividad de los microorganismos, determina la cantidad de energía neta producida e influye en la relación pH-alcalinidad. Los ambientes anaeróbicos en relación con la temperatura pueden subdividirse en tres categorías: psicrófilico (0 a 20°C), mesófilico (20 a 40°C) y termófilico (45 a 65°C). Si el intervalo de temperatura en el reactor cambia, es necesario arrancar el reactor de nuevo. En el rango mesófilico, la actividad y el crecimiento de las bacterias disminuye a la mitad por cada 10°C de descenso por debajo de 35°C.

Los cambios de temperatura en el intervalo mesófilico pueden tolerarse normalmente, pero cuando la temperatura desciende la carga también debe disminuirse de acuerdo con el descenso de la actividad esperada.

DQO

El DQO mide la materia orgánica usando un oxidante químico. Es fundamental que se utilice un oxidante lo bastante fuerte para reaccionar con prácticamente todo el material orgánico en la muestra. Tradicionalmente, el permanganato de potasio ha cumplido esta función, pero se descubrió que su capacidad de oxidar toda la materia orgánica en una amplia variedad de muestras de residuos es inconsistente.

Actualmente, la mayoría de las pruebas de DQO usan dicromato de potasio como oxidante. Esta es una sal de cromo hexavalente de color naranja brillante y un oxidante muy fuerte. Entre 95% a 100 % del material orgánico se puede oxidar con dicromato. Una vez este oxida una sustancia, esta se convierte a una forma trivalente de cromo, que es de un color verde opaco.

El proceso de digestión se realiza en las muestras con una cantidad determinada del oxidante, ácido sulfúrico y calor (150 °C). Generalmente, las sales metálicas se incorporan para suprimir cualquier interferencia y catalizar el proceso de digestión, la cual usualmente se lleva a cabo en 2 horas.

Durante el proceso de digestión se necesita tener un exceso de oxidante; esto asegura la oxidación completa de la muestra. Por consiguiente, es importante



determinar la cantidad del excedente de oxidante. Los dos métodos más comunes para esto son la titulación y colorimetría.

pH

La influencia del pH sobre la producción de metano está relacionada con la concentración de AGV. Los diferentes grupos bacterianos presentan niveles de actividad satisfactorios a pH próximos pero un poco diferentes; los hidrolíticos entre 7,2 y 7,4, los acetogénicos entre 6,5 y 7,5. Las bacterias metanogénicas disminuyen su actividad si el pH aumenta por encima de 7,8. Cuando la capacidad metanogénica está continuamente sobrecargada y no se añade la base necesaria para neutralizar los AGV presentes, el sistema de tratamiento se convertirá en un reactor de acidificación, el pH de este efluente estará entre 4,5 y 5.

DBO₅

Es una prueba analítica que permite determinar el contenido de materia orgánica biodegradable en una muestra de aguas residuales midiendo el consumo de oxígeno por una población microbiana heterogénea (durante 5 días generalmente), a una temperatura de incubación de 20 °C y en presencia de nutrientes. La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación. Se utiliza para el cobro de la tasa retributiva. Medida en el afluente y efluente del reactor permite calcular la remoción del mismo.

Ácidos Grasos Volátiles (AGV)

Son la mayoría de los productos intermedios de la digestión anaeróbica del material degradable a metano: ácidos acético, propiónico, butírico y valérico. Se mide en mg Ac. Acético/L. La concentración de AGV en el efluente debe ser muy baja y debe mantenerse en estos niveles, ya que los incrementos de estos por encima de la capacidad buffer del sistema tiene un efecto inhibitor de los compuestos intermedios que se produce en función de su grado de ionización. La actividad metanogénica está, así mismo, relacionada con la capacidad de tiempo que el lodo tiene para adaptarse a los AGV del sustrato usado. Los AGV son degradados por bacterias acetogénicas hasta ácido acético, que constituye el mayor sustrato de las bacterias metanogénicas.

Alcalinidad

Cuantifica la capacidad del agua residual de neutralizar ácidos. Se mide en mg de CaCO₃/L. Es debida principalmente a la presencia de iones bicarbonato, carbonato e hidroxilo. Se ha demostrado que cuando la relación entre AGV y la alcalinidad del medio supera 0,3-0,4 es indicador de fallo inminente en el sistema de digestión anaerobia.



Sólidos

La materia suspendida o disuelta que se encuentra en un agua residual recibe el nombre de sólidos. Se divide en tres categorías:

Sólidos Totales: sedimentables, suspendidos y disueltos.

Sólidos Suspendidos: porción retenida por el papel filtro de 1,3 μm de tamaño de poro.

Sólidos Disueltos: porción que pasa por el papel filtro de 1,3 μm de tamaño de poro. Estos a su vez se dividen en fijos (quedan después de la ignición de la muestra) y volátiles (pérdida de peso de la muestra durante la ignición). La determinación de los sólidos es una prueba indispensable para la operación de reactores biológicos, que, junto con otros parámetros, proporciona información de la eficiencia de remoción del proceso, e indirectamente, de la concentración de biomasa bacteriana en el reactor. Los sólidos suspendidos volátiles (SSV) representan la porción orgánica de los sólidos suspendidos totales (SST); estos últimos representan el parámetro ambiental para el cobro de tasa retributiva.

- Medición de la producción de gas

Para el control óptimo de la producción de gas, es necesario disponer de un medidor en la tubería de gas donde se efectuará la lectura diaria.

La producción de gas podrá evaluarse teóricamente a partir de la DQO removida, utilizando una relación aproximada de 0.15 a 0.25 m^3 metano/kg DQO removido.

Como proyecto futuro, la planta deberá contemplar un sistema de medición y eventual aprovechamiento del gas, para así poder ratificar los valores reportados por la bibliografía. Será necesario diseñar facilidades para almacenar, purificar el gas y usarlo con un propósito útil o sencillamente quemarlo.

El gas producido induce una mezcla y un contacto más estrecho entre el agua residual y el lodo, de tal forma que mientras mayor sea la producción de gas, mayor será la mezcla en el reactor y menor será el riesgo de provocar canalizaciones a través del manto de lodos. En la medida que pueda ser evaluada la producción de gas, el operador deberá verificar que esta producción sea del orden de 1.0 m^3/m^3 - día o superior, a fin de asegurar la mezcla en el reactor.

Por otro lado, una reducción en la producción de gas revela la presencia de condiciones desfavorables para las bacterias metanogénicas (pH alto o bajo) o la presencia de tóxicos en el afluente.

- Observación del efluente

La observación visual de la calidad del efluente debe ser una labor de rutina diaria, ya que nos dará una indicación del funcionamiento de la planta. En condiciones



normales de operación, el efluente debe tener aspecto claro, con bajo contenido de lodo. Una sobrecarga del reactor se manifiesta en una alta turbiedad del efluente y la presencia de sólidos sin digerir (gris), producto del arrastre de lodos. Esta última situación se presenta generalmente durante el período de arranque del reactor.

Cuando se observen síntomas de sobrecarga se debe buscar la causa en la producción de gas, aforos de caudal y muestreos de afluente y efluente.

Cuando exista una alta concentración de lodos en el efluente, es posible también que el reactor contenga demasiado lodo, en cuyo caso se debe purgar o extraer lodo hacia el lecho de secado.

- Muestreo y extracción de lodo

El muestreo de lodos se debe realizar para estimar la cantidad de lodo en el reactor y para evaluar su calidad. Esta se expresa como actividad metanogénica, estabilidad y sedimentabilidad, representados por la determinación de ácidos volátiles, alcalinidad, potencial redox, sólidos totales y volátiles, nitrógeno total y amoniacal, DQO, DBO, pH y temperatura, cuyas pruebas de laboratorio deben ser consideradas rutinariamente una vez por mes.

Además, se debe observar la forma o distribución del lecho de lodo dentro del reactor, a través de muestreos en distintos niveles. Para tal efecto, se sugiere muestrear a 1 y 2 m, medidos desde el fondo del reactor, siguiendo la misma metodología propuesta expuesta anteriormente.

Como referencia, se puede establecer que en condiciones normales la forma del lodo en cuanto a concentración será de 100 mg/l en el fondo del lecho. En la mitad del comportamiento de digestión esta será de 50 mg/l y justamente debajo de las campanas es muy baja. Si la concentración de lodo es parecida en los distintos niveles del reactor, el lodo es de mala calidad.

La extracción se debe efectuar cuando el lodo alcance el nivel inferior de la campana. Se recomienda hacer perfiles de lodos en altura con una rutina, semanal o quincenal, de tal forma que se mantenga constante la cantidad de lodo en el reactor. De todas formas, se espera que la cantidad de lodo producido en este tipo de tratamiento sea pequeña.



En la tabla No. 3 se dan las pautas para la obtención de datos operacionales del RAFA.

Tabla No. 3. Obtención de datos operacionales del RAFA

ITEM	PARAMETRO	UNIDAD	FORMULA
1	Eficiencia DBO ₅ (total y soluble)	%	$Eficiencia = \frac{A - E}{A}$
2	Eficiencia DQO (total y soluble)	%	$Eficiencia = \frac{A - E}{A}$
3	Eficiencia ST	%	$Eficiencia = \frac{A - E}{A}$
4	Eficiencia SST	%	$Eficiencia = \frac{A - E}{A}$
5	Eficiencia SSV	%	$Eficiencia = \frac{A - E}{A}$
6	Eficiencia nitrógeno amoniacal	%	$Eficiencia = \frac{A - E}{A}$
7	Tasa hidráulica superficial	m ³ /m ² día (ó m/h)	$Tasa = \frac{Q}{Área}$
8	Tasa hidráulica volumétrica	m ³ /m ³ día	$Tasa = \frac{Q}{V}$
9	Tasa de aplicación de carga	kg DQO/m ³ día	$Tasa = \frac{DQO_A * Q}{V_{Lodo\ digestor}}$
10	Tasa de aplicación de carga	kg DQO / kg SSV/ día	$Tasa = \frac{DQO_A * Q}{SSV_{Lodo\ digestor}}$
11	Tiempo de retención hidráulica teórico	horas	$TR = \frac{V}{Q}$
12	Tiempo de retención hidráulica real	horas	$T = \frac{\sum t_i * C_i}{\sum C_i}$
13	Tiempo de retención del lodo	días	$\theta_c = \frac{V_{lodo\ digestor}}{V_{lodo\ descartado}} * \frac{1}{30}$
14	Velocidad ascensional	m/h	$v = H/t = Q/Área$
15	Producción de biogás (% CH ₄)	L/kg ST _{rem}	$prod. biogás = L(CH_4) / (ST_A - ST_E)$
16	Producción de biogás (% CH ₄)	L/kg SSV _{rem}	$prod. biogás = L(CH_4) / (DQO_A - DQO_E)$



17	Producción de biogás (% CH ₄)	L/kg DQO _{rem}	prod. biogas = $\frac{L(CH_4)}{(ST_A - ST_E)}$
18	Producción de biomasa (exceso de lodos)	kg ST/PE (ó m ³ lodo/PE) (ó kg SST/m ³ desagüe)	$PE = \frac{DQO_A \cdot Q}{población}$

Donde: A: Afluente E: Efluente V: Volumen Q: Caudal

5.3.1 Mantenimiento del reactor UASB

El mantenimiento se define como la actividad que permite el sostenimiento de las estructuras (obras civiles) y equipos de la planta. Incluye la limpieza de las instalaciones, lubricación de equipos, revisión de piezas especiales (válvulas de corte), sustitución total o parcial o reparación de piezas deterioradas. Todo lo anterior debe quedar registrado ya sea en el libro o bitácora del operador, como en tarjetas de control donde se registre el mantenimiento realizado, la fecha, y quién ejecutó el trabajo.

En lo que respecta a las estructuras, el mantenimiento está orientado a maximizar la vida de servicio de estas.

En el caso del mantenimiento del reactor, este se reduce a vaciar parcialmente el reactor y remover el material sólido del fondo del reactor cuando se obstruyen las salidas de la tubería de alimentación. Se estima que esta labor debe hacerse una vez cada cinco años, dependiendo de la eficiencia del desarenador. En ningún caso se puede producir el vaciado total, ya que de ser así se requeriría una nueva puesta en marcha o arranque del sistema, lo cual involucraría mayor tiempo de lo requerido.

Para poder realizar el mantenimiento del reactor se debe considerar una obra de desviación o by-pass. Si no se puede proveer esta solución, entonces la planta deberá quedar fuera de operación durante el período de limpieza.

En cuanto a la limpieza misma del fondo del reactor, el procedimiento es el siguiente:

- Cortar el suministro de agua residual afluente.
- Utilizar una bomba para lodos, que puede ser del tipo portátil (a petróleo o eléctrica) autocebante, de 5 l/s o más de capacidad, además de dos mangueras flexibles (una de succión y otra de impulsión), ambas de diámetro igual o superior a 4", a fin de evitar obstrucciones en la tubería. La tubería de impulsión deberá tener una longitud mínima de 10 m, en tanto que la tubería de succión deberá tener una longitud no inferior a 20 m a fin de alcanzar, en lo posible, toda la superficie de fondo. Al respecto, cabe señalar que esta operación de limpieza será muy difícil debido a que se trabajará con el reactor lleno. Para ello, se tendrá especial cuidado



en dirigir la tubería al lugar deseado. La tubería se introducirá hacia el interior del reactor por el compartimiento de acceso al interior del reactor y a lo largo del separador de fases.

Con ayuda del equipo, bombear el lodo hacia el lecho de secado. Se debe vaciar la cantidad estrictamente necesaria, a fin de no afectar las condiciones de biomasa del digestor.

- Finalizada la extracción de lodos, se procede a reiniciar la alimentación del caudal de aguas residuales a la planta. Si es necesario remover una mayor cantidad de lodos, la frecuencia de limpieza en el fondo del reactor dependerá básicamente del tiempo que demore el lecho en deshidratar el lodo.

5.3.2 Puesta en marcha

El arranque de reactores anaerobios puede ser definido como el periodo transitorio inicial, marcado por inestabilidades operacionales. Puede lograr de tres formas distintas:

- Utilizando lodo de inóculo adaptado al agua residual a tratar (forma rápida).
- Utilizando lodo de inóculo no adaptado al agua residual a tratar periodo de aclimatación).
- Sin la utilización del lodo de inóculo (de 4-6 meses).

Volumen de inóculo para el arranque del proceso: Determinado en función de la carga biológica inicial aplicada al sistema de tratamiento. La carga biológica (kgDQO/kgSTV.d) es el parámetro que caracteriza la carga orgánica aplicada al sistema, en relación con la cantidad de biomasa presente en el reactor 0.10 a 0.50 (kgDQO/kgSTV.d).

Carga biológica o carga de lodo

Se refiere a la cantidad (masa) de materia orgánica aplicada diariamente al reactor, por unidad de biomasa presente en el mismo.

$$Cb = \frac{Q * S_o}{M} = \frac{\frac{m^3}{d} * \frac{Kg DQO}{m^3}}{KgSTV} = \frac{Kg DQO}{Kg STV * d}$$

Donde:

Cb = carga biológica o carga de lodo, kgDQO/kgSTV*d

Q = caudal afluente, m³/d

So=concentración de substrato afluente (kgDQO/m³)



M = masa de microorganismos presentes en el reactor, kgSTV

Experiencias con reactores de manto de lodos, tratando aguas negras indican que, durante la partida del reactor, se pueden aplicar cargas biológicas del orden de 0.30 a 0.50 kgDQO/kgSTV*d. y durante el régimen permanente puede alcanzar los 2.0 kgDQO/kgSTV*d.

Para una partida óptima del sistema, es deseable que los factores ambientales cumplan con las siguientes condiciones:

- La temperatura en el interior del tanque debe estar entre 30 y 35°C.
- El pH debe ser mantenido siempre arriba de 6.2 y preferiblemente entre el rango de 6.8 y 7.2.
- Los compuestos tóxicos deben estar ausentes o en concentraciones que no sean inhibitorias caso contrario debe darse un tiempo para la aclimatación de los microorganismos.
- La carga hidráulica que es la cantidad (volumen) de aguas negras aplicados diariamente al reactor, por unidad del volumen del mismo. Debe ser menor a 5.0 m³/m³*día

$$CHV = \frac{Q}{V} = \frac{\frac{m^3}{d}}{m^3} = \frac{m^3}{m^3 * dia}$$

Donde:

CVH = carga hidráulica volumétrica en m³/m³*d

Q = caudal en m³/d

V = volumen del reactor m³

Remover la biomasa con características de sedimentación precaria

Procedimientos que anteceden al arranque de un reactor:

- Caracterización del lodo de inóculo;
- Caracterización del agua residual cruda;
- Estimación del volumen de lodo de inóculo necesario para el arranque del reactor.

Caracterización del lodo de Inóculo

Se debe realizar un análisis para su caracterización cualitativa y cuantitativa, incluyendo los parámetros siguientes:

pH;



Alcalinidad de bicarbonatos;

Ácidos orgánicos volátiles;

Sólidos Totales (ST);

Sólidos Totales Volátiles (STV);

Actividad Metanogénica Específica (AME)

Caracterización del agua residual

Con el fin de establecer la rutina de partida del reactor anaerobio se debe realizar también una campaña de caracterización cualitativa y cuantitativa del agua residual cruda, afluente al sistema.

Cálculo del volumen de lodo inóculo requerido

En base con los resultados de los análisis de caracterización del lodo inóculo y de las aguas residuales crudas afluentes al sistema, se puede estimar el volumen de inóculo requerido para la puesta en marcha del reactor.

Procedimientos durante el arranque de un reactor:

- Inoculación del reactor
- Alimentación del reactor con agua residual
- Monitoreo del proceso de tratamiento

Inoculación del reactor

La inoculación se puede realizar con un reactor lleno o vacío, pero es preferible con el reactor vacío, para disminuir la pérdida de lodo durante su transferencia. Los pasos a seguir son los siguientes:

Transferir el lodo de inóculo para el reactor, teniendo el cuidado de descargarlo en el fondo del reactor;

Evitar turbulencias y contacto excesivo con el aire.

Dejar el lodo en reposo por un período entre 12 y 24 horas, posibilitando su adaptación gradual a la temperatura ambiente.

Alimentación del reactor con agua residual

Después del período de reposo, iniciar la alimentación del reactor con aguas negras hasta que alcance aproximadamente la mitad de su volumen útil;

Dejar sin alimentación el reactor por un período de 24 horas;



Tomar muestras del sobrenadante del reactor y efectuar los análisis de los parámetros siguientes: Temperatura, pH Alcalinidad, ácidos volátiles y DQO;

Verificar que estos parámetros estén dentro del rango de valores estables.

En caso de que los valores sean aceptables continuar con el proceso de llenado de aguas negras, hasta que alcance su volumen total o sea el nivel de vertederos en el decantador;

Dejar nuevamente el reactor sin alimentación durante un período de 24 horas;

Después de este período tomar nuevas muestras y proceder según se explicó anteriormente;

En caso de que los parámetros estén en el rango establecido realizar la alimentación continua del reactor, de acuerdo con la cantidad de inóculo y con el porcentaje de caudal a ser aplicado;

Implantar y proceder con el monitoreo de rutina del proceso de tratamiento;

Proceder al aumento gradual de caudal, inicialmente a cada 15 días, de acuerdo con la respuesta del sistema. Este intervalo podrá ser ampliado o reducido dependiendo de la respuesta del sistema.

Monitoreo del proceso de tratamiento

Durante la puesta en marcha es necesario llevar un monitoreo de los parámetros de diseño de tal manera que se puedan ajustar gradualmente esas variables operacionales hasta llegar a los valores deseados y así finalizar la puesta en marcha del reactor.

Los parámetros que deben ser monitoreados son:

pH, temperatura, caudal (ml/min), DQO (mg/l), Carga orgánica (kg DQO/m³ d), tiempo de residencia (TRH) (d), ácidos grasos volátiles (AGV), la alcalinidad, sólidos suspendidos totales.

AWWA, los cuales se realizaron en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales con la colaboración del DIMA.

5.4 Lecho de secado de lodos

En general, el lecho de secado corresponde a un proceso natural, en que el agua contenida intersticialmente entre las partículas de lodos es removida por evaporación y filtración a través del medio de drenaje de fondo. En este sistema no es necesario adicionar reactivos ni elementos mecánicos, ya que está previsto un secado lento. Los lechos de secado son el lugar de disposición de exceso de lodos que se retiran periódicamente de las diferentes unidades de tratamiento, ya sea



parcial o totalmente digeridos, para su deshidratación y reducción de volumen a niveles de concentración adecuados para el posterior manejo en su disposición final. Esta unidad cuenta con un medio filtrante conformado por arena y grava, además de un sistema de drenaje por donde desaguan los líquidos. En ningún caso se podrá aplicar sobre el lecho, lodo crudo o fresco debido a que estos pueden presentar serios problemas como malos olores y proliferación de insectos.

El operador deberá controlar que a través de la tubería de desagüe fluya el efluente percolado del dren, debido a que la mayor parte del agua libre puede removerse en menos de un día. Pasado este primer período de drenaje, el secado seguirá básicamente por medio de la evaporación. Se formará una camada cada vez más pobre en agua, con lo cual se observará una reducción del volumen, tanto en dirección vertical como horizontal.

A partir de este momento, en la superficie se comenzará a ver la formación de grietas.

Este proceso, sumado a la remoción manual con el rastrillo, permitirá acelerar el proceso de evaporación porque aumenta la superficie expuesta al aire.

El tiempo para el secado completo del lodo variará con las condiciones climáticas y meteorológicas imperantes al momento de llevar a cabo la extracción de lodos. Por tal razón, es aconsejable programar la extracción en época de altas temperaturas. Se prevé que, para dicho período, el tiempo de secado puede considerarse entre 20 y 30 días. Se estima que el secado del lodo permitirá reducir la humedad de 90 a 95% (contenida en el lodo) a valores entre 55 y 65%.

Por lo expuesto anteriormente, el control operativo a llevar a cabo en el lecho de secado se centra en las siguientes actividades:

- Control de drenaje del fondo del lecho: consistente en una verificación visual del escurrimiento del líquido percolado hacia la red de desagüe de la planta de tratamiento. En caso de que el escurrimiento sea mínimo o no se produzca, se concluirá que el medio filtrante, básicamente la camada de arena, se ha colmatado. Por consiguiente, el proceso de deshidratación se llevará a cabo solo por evaporación, en cuyo caso el tiempo de secado será mayor.
- Control de seguimiento y medida del descenso de la capa de lodo: El operador llevará un registro diario del nivel de descenso, a fin de determinar posteriormente el tiempo que demora el lodo en deshidratarse. Simultáneamente, se llevará un control de su composición en cuanto al contenido de humedad, concentración de sólidos volátiles y calidad bacteriológica.

Disposición del material sobrante:

- Los lodos que se retiren de los lechos de secado, se deben almacenar en la ramada destinada para estos y disponerlos en pilas para que terminen su proceso



de estabilización, para reutilizarlos luego como mejoradores de suelos o transportarlos al relleno sanitario para su disposición final.

- Para que no se presenten malos olores en los lechos de secado o en las pilas de estabilización, se debe regar cal sobre la superficie de estos.

No se deberá esparcir lodo en el lecho cuando este ya contenga una carga anterior en fase de secado.

La frecuencia de muestreo será la siguiente:

a. Contenido de humedad y concentración sólidos volátiles. Cada dos días durante los primeros 10 días. Posteriormente, se aumentará la frecuencia a una vez por semana, hasta que se establezca el porcentaje de humedad.

b. Calidad bacteriológica. Una vez por semana.

Con los resultados obtenidos de estos seguimientos, se podrá determinar la frecuencia mínima de extracción de lodos de las diferentes unidades de tratamiento para su posterior deshidratación.

Finalmente, cuando el lodo haya alcanzado el porcentaje de humedad establecido por las pruebas de seguimiento, se retirará del lecho y se depositará en algún lugar de acopio o de disposición final previamente asignado por el jefe de la planta. El apilamiento de los lodos no deberá alcanzar una altura mayor de 2 m.

En cuanto al mantenimiento del lecho, este consistirá en reemplazar la arena perdida durante la remoción del lodo seco, por arena nueva de igual calidad a la señalada en el proyecto. Igualmente, se debe prevenir el crecimiento de vegetales de todo tipo. En el caso eventual de que el lecho muestre una tendencia a colmatarse, toda la capa de arena debe reemplazarse por arena de una granulometría mayor en cuanto a la gradación y tamaño efectivo.

5.5 Humedal artificial

Se debe tener un monitoreo permanente de que el agua se esté moviendo a través de todo el humedal, que los residuos generados no bloqueen el flujo de agua a través de este, y no se esté estancando el agua, ya que esto trae consigo algunos problemas como los mosquitos. Siempre monitorear los flujos y niveles del agua, el caudal del agua. Otro papel importante para el mantenimiento y control es la profundidad del agua, puesto que esta puede necesitar de ajustes dependiendo del clima, o ya sea por obstrucciones generados por los residuos, la clave es tener un control sobre el agua por lo que el agua es el éxito para las plantas sobrevivan y algunas veces las plantas pueden acomodarse a la profundidad, pero algunas veces no se pueden sobrepasar los límites que pueden tolerar las plantas.

Vegetación



Como se venía comentando el nivel del agua tiene un papel clave para la conservación de la vegetación del humedal, para esto la vegetación debe ser monitoreada regularmente, se debe de eliminar posibles especies que puedan afectar la vegetación y residuos que puedan obstruir el espacio entre plantas o el agua. A veces es necesario la recolección de estas plantas, la poda o incluso la replantación para la eficiencia del tratamiento o a veces en algunas ocasiones es mejor que la densidad de la vegetación sea mayor y que tenga más residuos vegetales, ya que puede realizar un mejor proceso para tratar el agua, mejorando la eficiencia del tratamiento; esto también ayuda a que a veces se tiene clima frío y ayuda al aislamiento térmico, para prevenir temperaturas muy bajas en el humedal. Casos en los cuales los humedales no reciban altas cargas contaminantes, el monitoreo de la vegetación no debe ser necesariamente cuantitativa, se podrán hacer monitoreos cualitativos.

Cuando el humedal artificial presente alta carga contaminante la supervisión si debe ser más periódica, se sugiere que sea durante los primeros 5 años después de haber construido el humedal. La vegetación presente del humedal puede tener cambios a través de los años, tal cual los humedales naturales. Puede que algunas especies mueran, siendo reemplazados por otras. Por eso se debe de tener monitoreo constante para ver que va pasando mientras pasa el tiempo.

Control del rendimiento del sistema

Lo que hace el constante control del humedal, es mirar si se están logrando los objetivos y para mirar la eficiencia del proceso. Además de esto logra detectar problemas de manera más rápida, para tener así una respuesta al problema con igual rapidez. Las fotografías pueden ser de gran ayuda, todo esto dependerá de que tan grande sea el proyecto. También la toma de muestras en el afluente y en el efluente para mirar en qué condiciones se encuentran y si se cumple con los permisos y los de la norma.

Todo esto con el propósito de mirar la efectividad de remoción de los contaminantes presentes en el agua. Los parámetros de interés como:

- DBO
- DQO
- Nitrógeno
- Sólidos Suspendidos Totales
- Otros

En caso tal de que el agua tenga contaminantes tóxicos, se debe analizar los sedimentos presentes en el humedal una o dos veces al año para mirar si se tienen un aumento de estos contaminantes.



Limpieza de las tuberías de distribución de agua

Es necesario extraer los sólidos acumulados en los sistemas de distribución de agua para mantenerlo limpio, se recomiendan los siguientes pasos:

1. Desbloquear los orificios del tubo tan pronto como se observen bloqueos o la interrupción total o parcial del flujo
2. Limpiar el interior del tubo, por lo general con un chorro de agua a presión para eliminar los materiales que pueden haberse acumulado en su interior. La acumulación de sólidos retirados de los tubos o material de desecho puede atraer roedores. La limpieza de los canales de distribución de agua consiste en la eliminación de los sólidos acumulados en ellos. Esta medida se puede realizar manualmente con rastrillos o palas. La obstrucción puede ser considerada como el principal problema de un humedal.