



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 29 de noviembre 2019

Señores
CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN
UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Erika Alejandra Cruz Camacho, con C.C. No. **1083913449**,

Andrés Leonardo Muñoz Rodríguez, con C.C. No. **1061778156**,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o **Erika Alejandra Cruz Camacho; Andrés Leonardo Muñoz,**

Titulado **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.** Presentado y aprobado en el año **2019** como requisito para optar al título de **INGENIERA 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:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Erika Alejandra Cruz Camacho

Firma: Andrés Muñoz Rodríguez

Vigilada Mineducación



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: 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

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cruz Camacho	Erika Alejandra
Muñoz Rodríguez	Andrés Leonardo

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Mujica Rodríguez	Edinson

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: ingeniería agrícola

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2019 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 122

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías_x Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_x Grabados___ Láminas___
Litografías___ Mapas_x Música impresa___ Planos_x Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros_x

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

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

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.



PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español

Inglés

- | | |
|------------------|------------|
| 1. Agua residual | Wastewater |
| 2. UASB | UASB |
| 3. RAFA | RAFA__ |
| 4. ICO | ICO |
| 5. Diagnostico | Diagnosis |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En Colombia al igual que en otros lugares las fuentes de agua son receptoras de todo tipo de aguas residuales, las cuales reducen su calidad, ponen en riesgo la salud de los habitantes, disminuyen la productividad agrícola y aumentan los costos de potabilización. Bajo este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo presentar los aspectos de diseño, operación, y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residual (PTAR) de la USCO-Pitalito que consta de un tanque séptico de acción múltiple. También se evaluó su eficiencia, por medio de análisis físico químicos del agua residual. Demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales, fósforo total, nitrógeno total, sodio, potasio, temperatura y Ph, tanto a la salida de la PTAR como a la salida de dos filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) complementarios en guadua, y se calculó la contaminación de la quebrada El Pital mediante los índices ICO. Basándose en esta información se planteó un rediseño con un reactor anaerobio de flujo ascendente con lecho de lodos (UASB) a partir de la población futura a 20 años, empleando para los cálculos la metodología de Granada (1997). Con el propósito de implementar un sistema que mejore la calidad del vertimiento del agua residual, junto con el diseño del UASB se propusieron dos FAFA, los cuales tendrán como lecho filtrante discos de guadua combinado con discos de café, para la implementación de los discos de café se determinaron sus propiedades físicas dando como resultado una porosidad de 49% valor menor a la porosidad de la guadua como lecho filtrante (Rojas & Ortiz, 2017). Como etapa final se realizó un estudio de impacto ambiental utilizando la matriz de Leopold y diagrama de redes para identificar los impactos de mayor importancia que generan con el funcionamiento de la planta de tratamiento actual.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In Colombia, as in other places, water sources are recipients of all types of wastewater, which reduce their quality, endanger the health of the inhabitants, reduce agricultural productivity and increase drinking water



costs. Under this context, this study aimed to present the design, operation, and maintenance aspects of the USCO-Pitalito wastewater treatment plant (PTAR) consisting of a multi-action septic tank. Its efficiency was also evaluated, through chemical physical analysis of the wastewater: Chemical Oxygen Demand, Electrical Conductivity, Total Suspended Solids, Total Phosphorus, Total Nitrogen, Sodium, Potassium, Temperature, pH, both at the outlet of the WWTP and at the exit of two complementary Anaerobic Upstream Filters (FAFA) in guadua and contamination of the El Pital creek was calculated using the ICO indices. Based on this information, a redesign with an anaerobic upflow reactor with sludge bed (UASB) from the 20-year-old population was proposed, using the methodology of Granada (1997) for the calculations. With the purpose of implementing a system that improves the quality of wastewater discharge, along with the UASB design, two FAFAs were proposed, which will have guadua discs combined with coffee discs as a filter bed, for the implementation of the disks of coffee its physical properties were determined resulting in a porosity of 49% less than the porosity of guadua as a filter bed (Rojas & Ortiz, 2017). As a final stage, an environmental impact study was carried out using the Leopold matrix and network diagram to identify the most important impacts generated by the operation of the current treatment plant.

APROBACION DE LA TESIS:



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

4 de 4



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

Firma:

Nombre Jurado: Jaime Izquierdo Bautista.

Firma:

Nombre Jurado: Nadia Brigitte Sanabria Góndez.

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 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

ANDRES LEONARDO MUÑOZ RODRIGUEZ
ERIKA ALEJANDRA CRUZ CAMACHO

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
PITALITO HUILA
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

ANDRES LEONARDO MUÑOZ RODRIGUEZ

ERIKA ALEJANDRA CRUZ CAMACHO

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

Director
EDINSON MUJICA RODRÍGUEZ
Magíster en Ingeniería Agrícola y uso Integral del Agua

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
PITALITO HUILA
2019

Nota de aceptación

Firmar del director
EDINSON MUJICA RODRÍGUEZ
Magíster en Ingeniería Agrícola y uso Integral del Agua

Firmar del jurado
NADIA BIRGITTE SANABRIA MENDEZ
Magíster en Ingeniería Agrícola y uso Integral del Agua

Firmar del jurado
JAIME IZQUIERDO BAUTISTA

DEDICATORIA

Andrés Leonardo Muñoz Rodríguez

Primero a Dios por darme la fuerza y la sabiduría para culminar esta etapa académica.

A mi madre Alexandra Rodríguez, mis abuelos Roberto Rodríguez Murcia y María Inés Gasca quienes han sido un apoyo fundamental para mí a lo largo de este proceso, brindándome su afecto, dedicación y enseñándome valores para formarme como una mejor persona.

A mis tíos Roberth Rodríguez Gasca, Edna Rodríguez Gasca y Norida Rodríguez Gasca, quienes siempre me apoyaron incondicionalmente.

A mi novia Daniela Vargas Cuellar, quien me acompañó en los momentos más difíciles de formación como profesional.

A mi compañera de trabajo de grado Alejandra Cruz con quien forme el mejor equipo de trabajo para culminar con éxito nuestro proyecto de grado.

A todos muchas gracias, los llevo en mi corazón.

Erika Alejandra Cruz Camacho

Dedico este trabajo principalmente a Dios por ser la luz incondicional que ha guiado mi camino por darme la fortaleza y sabiduría para lograr mis objetivos.

A mis hermanos Julián cruz, Fernando cruz y Carlos cruz por llenarme de alegría día a día y brindarme siempre su apoyo

A mis padres Nelly Camacho y Jesús Antonio cruz quienes han sido un pilar fundamental en mi formación a través de su amor, paciencia, buenos valores, oportunidades y recursos que me ayudan a trazar mi camino.

A mi amigo Alexis Salazar por aportar considerablemente en este objetivo profesional que tenía

A mi compañero de trabajo Leonardo Rodríguez por el gran equipo que formamos para cumplir con el propósito de este trabajo.

Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Andrés Leonardo Rodríguez y Erika Alejandra Cruz

A la institución que nos brindó el conocimiento y las herramientas necesarias para cumplir con los objetivos de nuestro trabajo de grado, además de gratas experiencias obtenidas a lo largo del ciclo de aprendizaje.

A cada uno de los profesores que en el transcurso de la carrera nos brindaron su sabiduría en cada uno de los campos del conocimiento formándonos como ingenieros íntegros, en especial al ingeniero Engelberto Rodríguez, el ingeniero Víctor Manuel Martínez, el MSc Yony Arley Chávez, la MSc Diana Carolina Macías, al ingeniero Eivar Fabián Ortiz, les damos gracias por el apoyo no solo como docentes del plantel educativo sino como amigos a lo largo del proceso formativo.

A los funcionarios administrativos del plantel educativo, a los celadores, a las señoras del aseo y a la Universidad por su apoyo y colaboración en las diferentes actividades que se realizaron para el óptimo desarrollo del nuestro trabajo de formación.

A Familiares y amigos, quienes nos apoyaron, gozaron y sufrieron con nosotras esta etapa de formación profesional, a todas las personas que de una u otra forma hicieron parte de la realización y culminación de este proyecto.

A nuestro director de proyecto de grado MSc Edinson Mujica Rodríguez, quien nos dirigió y nos asesoró con su gran conocimiento en el tema, los cuales fueron de gran importancia a lo largo de la realización de nuestro trabajo de grado

Gracias a todos

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
ABREVIATURAS.....	13
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	16
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. MARCO CONCEPTUAL	17
2.1. AGUAS RESIDUALES	17
2.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	17
2.1.2. CAUDALES DE LAS AGUAS RESIDUALES RURALES	17
2.1.3. COMPONENTES BIOLÓGICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES	18
2.2. TRATAMIENTO ANAEROBIO	19
2.3. TRATAMIENTO AEROBIO.....	19
2.4. NIVELES DE TRATAMIENTO.....	20
2.5. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	21
2.5.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR	22
2.5.2. TRATAMIENTO PRIMARIO	22
2.5.3. TRATAMIENTOS SECUNDARIOS.....	22
2.5.4. TRATAMIENTOS TERCARIOS	23
2.6. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR)	24
2.7. REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS DE FLUJO ASCENDENTE	25
2.8. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE.....	27
2.9. PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS	28
2.10. ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO).....	30
2.10.1. ICOMI O PARÁMETRO DE MINERALIZACIÓN.....	30
2.10.2. ICOMO O ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA.....	31
2.10.3. ICOSUS O PARÁMETRO DE CONTAMINACIÓN POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS. 31	
2.10.4. ICOTRO O ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN TRÓFICA	31
3. METODOLOGÍA	32
3.1. LOCALIZACIÓN.....	32
3.2. DESCRIPCIÓN Y DIAGNOSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR	32
3.3. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL.....	33

3.3.1.	CAUDAL DE LA PTAR	33
3.3.2.	CAUDAL DE LA QUEBRADA EL PITAL	34
3.4.	CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA QUEBRADA EL PITAL.	34
3.4.1.	MUESTREO.....	34
3.4.2.	EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN	36
3.5.	CÁLCULOS DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO).....	36
3.5.1.	Formulación para el índice de contaminación por mineralización trófico (ICOMI)	37
3.5.2.	Formulación para el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).....	37
3.5.3.	Formulación para el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS).....	38
3.5.4.	Formulación para el índice de contaminación trófico (ICOTRO)	38
3.6.	EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA PTAR ACTUAL EN LOS PERIODOS 2010-2019 Y REDISEÑO CON TANQUE SÉPTICO PARA 20 AÑOS.....	38
3.7.	REDISEÑO DE LA (PTAR)	39
3.7.1.	CARACTERIZACIÓN DE DISCOS DE CAFÉ.....	39
3.8.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	44
3.8.1.	Elaboración de DOFA.....	44
3.8.2.	Diagrama de redes	44
3.8.3.	Matriz de Leopold.....	44
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	45
4.1.	LOCALIZACIÓN.....	45
4.2.	DESCRIPCIÓN Y DIAGNOSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR.....	46
4.2.1.	ESTADO DE LA PTAR.....	47
4.2.2.	CAMBIO DE LA TUBERÍA.....	48
4.2.3.	AGUAS COMBINADAS	48
4.2.4.	FUNCIONAMIENTO CON LA NUEVA TUBERÍA.....	49
4.2.5.	DESCARGA DE LA PTAR A LA QUEBRADA EL PITAL.....	50
4.3.	AFOROS PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL.....	50
4.3.1.	MEDICIÓN DE CAUDAL DE LA PTAR (Punto 1).....	51
4.3.2.	CALCULO DEL CAUDAL DE LA PTAR + FILTRO (Punto 2)	52
4.3.3.	CAUDAL DE LA QUEBRADA PITAL.....	53
4.4.	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA QUEBRADA EL PITAL.....	59
4.5.	CÁLCULOS DE ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN (ICO).....	63
4.6.	REVISIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA PTAR ACTUAL EN LOS PERIODOS 2010-2019 Y REDISEÑO CON TANQUE SÉPTICO PARA 20 AÑOS.....	65

4.7.	REDISEÑO DE LA (PTAR)	72
4.7.2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS DISCOS DE CAFÉ	86
5.	CONCLUSIONES.....	104
6.	RECOMENDACIONES.....	106
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	108
8.	ANEXOS.....	112

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Descripción de los tratamientos.	20
Tabla 2.	Eficiencias de remoción de contaminantes por tecnologías.....	23
Tabla 3.	Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas.....	30
Tabla 4.	Calificación de la calidad del agua según los valores que tomen los indicadores de contaminación.	37
Tabla 5.	Clasificación para ICOTRO.....	38
Tabla 6.	Tiempo promedio de la salida de la PTAR.	51
Tabla 7.	Tiempo promedio de la salida del filtro.	52
Tabla 8.	Tiempo promedio total del aforo a la quebrada el Pital.	53
Tabla 9.	Profundidades promedio de la quebrada el Pital.....	54
Tabla 10.	Valores del coeficiente de corrección.	57
Tabla 11.	Periodos de aforos a la quebrada el Pital.	57
Tabla 12.	Caracterización del agua residual afluyente.....	59
Tabla 13.	Caracterización de las AR de la PTAR de la Universidad Surcolombiana del municipio de Pitalito Huila.	60
Tabla 14.	Porcentaje de remoción entre afluyente y salida de PTAR.....	61
Tabla 15.	Porcentaje de remoción entre salida de PTAR y filtro de guadua.	61
Tabla 16.	Porcentaje de remoción entre salida de PTAR y descarga quebrada El Pital.	62
Tabla 17.	Temperatura promedio del agua y ambiente.....	63
Tabla 18.	Potencial de hidrógeno para cada punto.....	63
Tabla 19.	Calculo de Índices.....	64
Tabla 20.	Resultados de los índices de contaminación (ICO).....	64
Tabla 21.	Población diurna y nocturna con porcentaje de crecimiento en los periodos 2010- 2019.	66
Tabla 22.	Valores establecidos de diseño.	69
Tabla 23.	Calculo de dimensionamiento con un periodo de 20 años con tiempo de retención hidráulico de un día y medio día.....	70
Tabla 24.	Calculo de eficiencia por periodo con tiempo de retención hidráulico un (1) día.	71
Tabla 25.	Calculo de eficiencia por periodo con tiempo de retención hidráulico medio (0.5) día.	71
Tabla 26.	Tiempo de retención del trampa grasas.....	75
Tabla 27.	Dimensionamiento de trampa grasas.	75
Tabla 28.	Ventajas y desventajas de los dos tratamientos.....	76
Tabla 29.	Cargas orgánicas aplicables en relación con la temperatura operacional.	79
Tabla 30.	Altura del reactor con respecto al tiempo de retención.....	81
Tabla 31.	Dimensionamiento de unidades del reactor.	85
Tabla 32.	Dimensionamiento de unidades del reactor con 80%.	85

Tabla 33. Diámetro de los discos de café.....	86
Tabla 34. Perdida de humedad con respecto al tiempo.	87
Tabla 35. Porosidad de los discos de café de cada volumen.	88
Tabla 36. DOFA para la PTAR de la Universidad Surcolombiana.	93
Tabla 37. Diagrama de redes.....	95
Tabla 38. Criterios para la determinación del orden de importancia de los impactos.....	96
Tabla 39. Orden de importancia para cada impacto.....	96
Tabla 40. Convecciones magnitud (Matriz de Leopold).....	98
Tabla 41. Método de la matriz de Leopold.	100
Tabla 42. clasificación de actividades factores e impactos según el grado de afectación.....	101
Tabla 43. Selección de impactos de los dos métodos empleados	102
Tabla 44. Objetivos para maximizar o minimizar los impactos.....	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso anaerobio.....	19
Figura 2. Diagrama del reactor UASB.....	26
Figura 3. Ubicación de la PTAR y la descarga.	32
Figura 4. Toma de muestras para análisis fisicoquímicos.	35
Figura 5. Puntos de muestreo.....	36
Figura 6. FABA con discos de café y discos de guadua.	39
Figura 7. Selección y limpieza de los troncos de café.	40
Figura 8. Proceso de corte a los troncos de café.	40
Figura 9. Proceso para obtener el contenido de humedad.....	41
Figura 10. Volumen conocido con discos de café.	42
Figura 11. Conteo y peso de los discos de café en un volumen conocido.	43
Figura 12. Ubicación de la zona de estudio.	45
Figura 13. PTAR y descarga de la PTAR Universidad Surcolombiana.	46
Figura 14. Planta de tratamiento.	47
Figura 15. Estado de la PTAR	48
Figura 16. Cambio de tubería.	48
Figura 17. Aguas combinadas.....	49
Figura 18. Entrada a la PTAR.....	49
Figura 19. Descarga del agua residual a la quebrada El Pital.....	50
Figura 20. Asignación de puntos de muestreo.	50
Figura 21. Filtros de guadua	52
Figura 22. Aforo de la quebrada	53
Figura 23. Perfil transversal de la quebrada el Pital.	54
Figura 24. Caudal de la quebrada El Pital en los periodos 2016-2019.	58
Figura 25. Precipitación de Pitalito.....	58
Figura 26. Requerimiento volumétrico con TRH 1 y ½ día vs volumen actual.	72
Figura 27. Diagrama de unidades del sistema.	72
Figura 28. Vista lateral del UASB.	77
Figura 29. Contenido de humedad (CH) con respecto al tiempo.....	87
Figura 30. Pérdida de peso con respecto al tiempo.....	88

LISTAS DE ANEXOS

Anexo 1. Parámetros analizados en la salida de la PTAR. (1 análisis).....	112
Anexo 2. Parámetros analizados en la salida de los FAFA. (1 análisis).....	113
Anexo 3. Parámetros analizados en la descarga. (1 análisis).....	114
Anexo 4. Parámetros analizados en la salida de la PTAR. (2 análisis).....	115
Anexo 5. Parámetros analizados en la descarga. (2 análisis).....	116
Anexo 6. Vista en perfil.....	117
Anexo 7. Vista en planta.....	118
Anexo 8. Presupuesto del tratamiento UASB.....	119
Anexo 9. Presupuesto del tratamiento FAFA.....	120
Anexo 10. Cotización de los filtros FAFA.....	121
Anexo 11. Imágenes de la planta actual.....	122

RESUMEN

En Colombia al igual que en otros lugares las fuentes de agua son receptoras de todo tipo de aguas residuales, las cuales reducen su calidad, ponen en riesgo la salud de los habitantes, disminuyen la productividad agrícola y aumentan los costos de potabilización. Bajo este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo presentar los aspectos de diseño, operación, y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residual (PTAR) de la USCO-Pitalito que consta de un tanque séptico de acción múltiple. También se evaluó su eficiencia, por medio de análisis físico químicos del agua residual. Demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales, fósforo total, nitrógeno total, sodio, potasio, temperatura y Ph, tanto a la salida de la PTAR como a la salida de dos filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) complementarios en guadua, y se calculó la contaminación de la quebrada El Pital mediante los índices ICO. Basándose en esta información se planteó un rediseño con un reactor anaerobio de flujo ascendente con lecho de lodos (UASB) a partir de la población futura a 20 años, empleando para los cálculos la metodología de Granada (1997). Con el propósito de implementar un sistema que mejore la calidad del vertimiento del agua residual, junto con el diseño del UASB se propusieron dos FAFA, los cuales tendrán como lecho filtrante discos de guadua combinado con discos de café, para la implementación de los discos de café se determinaron sus propiedades físicas dando como resultado una porosidad de 49% valor menor a la porosidad de la guadua como lecho filtrante (Rojas & Ortiz, 2017). Como etapa final se realizó un estudio de impacto ambiental utilizando la matriz de Leopold y diagrama de redes para identificar los impactos de mayor importancia que generan con el funcionamiento de la planta de tratamiento actual.

Palabras claves: Agua residual, USCO, UASB, RAFA, ICO.

ABSTRACT

In Colombia, as in other places, water sources are recipients of all types of wastewater, which reduce their quality, endanger the health of the inhabitants, reduce agricultural productivity and increase drinking water costs. Under this context, this study aimed to present the design, operation, and maintenance aspects of the USCO-Pitalito wastewater treatment plant (PTAR) consisting of a multi-action septic tank. Its efficiency was also evaluated, through chemical physical analysis of the wastewater: Chemical Oxygen Demand, Electrical Conductivity, Total Suspended Solids, Total Phosphorus, Total Nitrogen, Sodium, Potassium, Temperature, pH, both at the outlet of the WWTP and at the exit of two complementary Anaerobic Upstream Filters (FAFA) in guadua and contamination of the El Pital creek was calculated using the ICO indices. Based on this information, a redesign with an anaerobic upflow reactor with sludge bed (UASB) from the 20-year-old population was proposed, using the methodology of Granada (1997) for the calculations. With the purpose of implementing a system that improves the quality of wastewater discharge, along with the UASB design, two FAFAs were proposed, which will have guadua discs combined with coffee discs as a filter bed, for the implementation of the disks of coffee its physical properties were determined resulting in a porosity of 49% less than the porosity of guadua as a filter bed (Rojas & Ortiz, 2017). As a final stage, an environmental impact study was carried out using the Leopold matrix and network diagram to identify the most important impacts generated by the operation of the current treatment plant

Key words: Wastewater, USCO, UASB, RAFA, ICO

ABREVIATURAS

Af:	Afluente
Ef:	Efluente
%R:	porcentaje de remoción
AR:	Agua Residual
ARD:	Agua Residual domestica
CE:	conductividad eléctrica
CF:	cóliformes fecales
CR:	coeficiente de retorno
CT:	cóliformes totales
DBO:	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
DQO:	Demanda química de oxígeno
FAFA:	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
d:	Dotación
K:	Potasio
N:	Nitrógeno
P:	Fósforo.
PTAR:	Planta de tratamiento de aguas residuales.
RAFA-MC:	Reactor Anaeróbico de Flujo ascendente y Mezcla Completa.
RAS 2000:	Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico
QAR:	caudal de agua residual
SD:	sólidos disueltos
SS:	Sólidos Suspendidos
ST:	Sólidos Totales
t:	Tiempo
UASB:	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reactor anaerobio de flujo ascendente).
ICO:	Índice de contaminación
USCO:	Universidad Surcolombiana

INTRODUCCION

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, de acuerdo a su origen resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua proveniente de residencias, oficinas, establecimientos comerciales, instituciones, industrias, actividades agrícolas, aguas superficiales, subterráneas y de precipitación (Becerra & Gutiérrez, 2013).

Toda esta serie de actividades pueden verse seriamente reflejadas en la calidad del agua la cual es un recurso natural indispensable para la vida. Constituye una necesidad primordial para la salud, en las sociedades actuales el agua se ha convertido en un bien muy preciado y en su aparente abundancia hace que sea el vertedero habitual de diferentes residuos, pesticidas, desechos químicos, metales pesados, entre otras (Buitrago, 2017).

Estas aguas son una importante fuente adicional para satisfacer la demanda del recurso y cubrir los requerimientos de las poblaciones, sin embargo, el predominio del uso de aguas residuales crudas o diluidas con aguas superficiales y el bajo porcentaje de aguas residuales tratadas en Colombia y en los países de América Latina, en general, generan riesgos en la salud pública, en especial cuando se utilizan para riego de cultivos, para consumo directo (Silva, *et al.* 2008).

El tratamiento de aguas residuales es un tema de salud ambiental que se debe plantear desde la transversalidad institucional como lo es la educación, salud e infraestructura, los grandes desarrollos de infraestructura nunca cubrirán las necesidades que origina la ignorancia del comportamiento humano, por esto, las políticas en el tema de tratamiento de aguas residuales no se puede limitar a establecer procedimientos técnicos (Zapata, *et al.*2010).

El tratamiento de aguas residuales domésticas en asentamientos humanos es un problema que compete a todos. Existen técnicas de tratamiento de aguas residuales a las que se les puede denominar como alternativas, debido a que no son consideradas convencionalmente por los órganos del gobierno, pero que pueden ser parte de la respuesta para el tratamiento, y en particular para aquellas áreas dispersas, que no cuenta ni con la cultura, ni con los recursos financieros para ello, pero sobretodo, este tipo de técnicas siguen la dinámica de la naturaleza (Díaz, *et al.*2012).

La disposición del agua y del saneamiento es uno de los más viejos y fundamentales desafíos ecológicos de la urbanización, debido, a que la salud humana y la calidad ambiental están en juego. El aumento en la población, en las áreas urbanas y rurales, aumenta la cantidad de aguas residuales llevando contaminación al ambiente (Zapata, *et al.* 2010).

Esta generación de aguas residuales debe ser tratadas antes de ser descargadas a un cuerpo externo o ser recirculadas, ya que estas descargas alteran el ciclo hídrico de la cuenca y disminuye la biodiversidad (Chiriboga, 2016).

Este trabajo está enfocado a diagnosticar y rediseñar la planta de tratamiento de la Universidad Surcolombiana la cual tiene problemas de funcionamiento que genera contaminación a la quebrada el Pital. Se busca el fortalecimiento de la investigación, la promulgación y divulgación científica en el área de saneamiento rural y la replicación de este proyecto en las otras sedes de la universidad e instituciones con condiciones similares, y de esta manera proteger los ecosistemas y cumplir con los requerimientos establecidos en la normatividad ambiental vigente que se exigen por realizar esta actividad de vertimientos.

La Universidad Surcolombiana cuenta con una planta de tratamientos de aguas residuales que está en funcionamiento pero que no cumple con las condiciones óptimas de diseño y operación necesarias para eliminar los contaminantes contenidos en el agua residual que termina vertiéndose en la quebrada el Pital y generando contaminación.

Se cuenta con una PTAR, pero su estructura está en malas condiciones para cumplir con el objetivo para el cual fue diseñada, la conducción del agua principalmente fue a través de tuberías de gres lo que origino que por el movimiento de los suelos, en esta zona la tubería se encontrara parcialmente rota o en malas condiciones. Y aunque se realizó actualmente el cambio de un tramo de dicha tubería debido a al crecimiento de la vegetación y la falta de mantenimiento se ha afectado la funcionalidad de las unidades estructurales de la PTAR, por lo tanto, se planteó el rediseño de la misma y evaluación de la contaminación de la quebrada el Pital.

1. OBJETIVOS

1.1.OBJETIVO GENERAL

- Diagnosticar y rediseñar la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito, evaluar la contaminación de la fuente hídrica El Pital.

1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseño de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales bajo parámetros normativos de la RAS-2000.
- Análisis de la calidad del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales y del agua de la quebrada el Pital.
- Determinación del índice de contaminación de la fuente hídrica el Pital.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales se definen como “aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas”. Debido a lo general de la definición, se considerará que las aguas residuales son la combinación de diversas corrientes de agua descargada, una vez usada, a los sistemas de drenaje. Incorporan en su composición una gran variedad de sustancias que la contaminan, con frecuencia, esta corriente de agua de desecho se mezcla con aguas subterráneas infiltradas en la red, o bien aguas superficiales o de lluvia en el caso de que los drenajes sean combinados (Morgan, 2013).

El ciclo del agua, que inicia con la captación, conducción, abastecimiento, uso, recolección, tratamiento, y termina con la descarga y su posible reutilización, ha adquirido un papel relevante en el desarrollo de la sociedad y de los centros urbanos en particular. En este contexto, es de suma importancia integrar sistemas con criterios que aseguren un cierto grado de sustentabilidad. Para ello, debe realizarse una adecuada selección de tecnologías para cada una de las etapas del ciclo, y en particular para el sistema de tratamiento de las aguas residuales (Guereca, 2013).

2.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Cada agua residual es única en sus características, aunque en función del tamaño de la población, del sistema de alcantarillado empleado, del grado de industrialización y de la incidencia de la pluviometría, pueden establecerse unos rangos de variación habituales, tanto para los caudales como para las características fisicoquímicas de estos vertidos. El conocimiento de los caudales y características de las aguas residuales generadas en las aglomeraciones es básico para el correcto diseño de los sistemas de recogida, tratamiento y evacuación de las mismas. Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), deben concebirse para poder hacer frente a las variaciones diarias de caudal y carga que experimentan estas aguas (Martínez, *et al.* 2013).

2.1.2. CAUDALES DE LAS AGUAS RESIDUALES RURALES

La cantidad de aguas residuales que se genera en una aglomeración rural está en proporción directa con el consumo de agua de abastecimiento, y este consumo viene relacionado con el grado de

desarrollo económico y social, puesto que un mayor desarrollo trae consigo un mayor y más diverso uso del agua en las actividades humanas. Entre los factores que influyen en la cantidad de aguas residuales que se genera en una aglomeración destacan el consumo de agua de abastecimiento, la pluviometría (en el caso de redes de saneamiento unitarias), las pérdidas, que pueden deberse a fugas en los colectores o a que parte de las aguas consumidas no llegan a la red de alcantarillado (como por ejemplo el riego de jardines) y las ganancias, por vertidos a la red de alcantarillado o por intrusiones de otras aguas en la red de colectores (Peña, 2013).

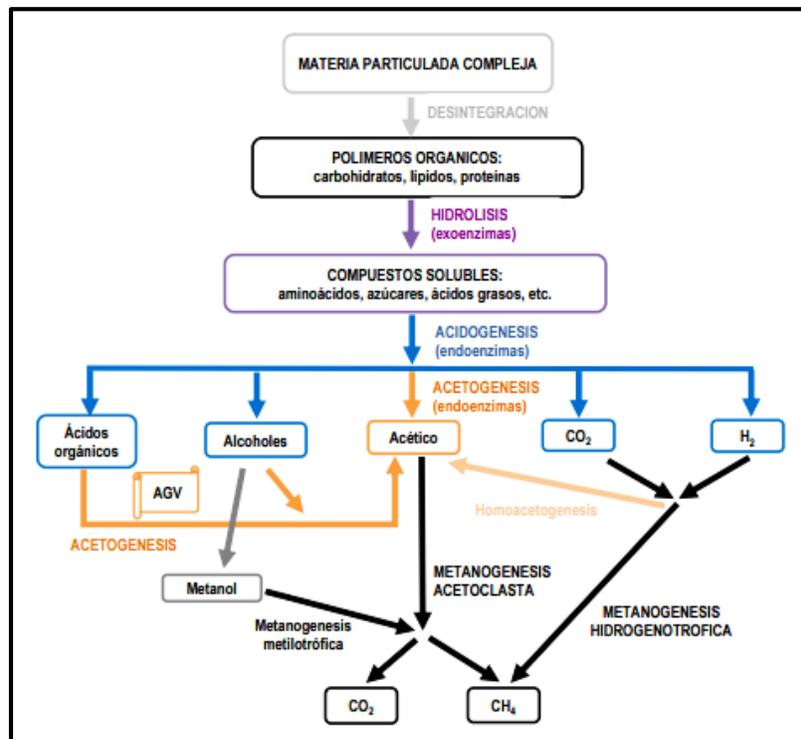
2.1.3. COMPONENTES BIOLÓGICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Cuando un agua residual que contiene materia orgánica en solución o en suspensión se pone en contacto con una población de microorganismos, estos la utilizan para efectos de derivar de dicha materia orgánica la energía necesaria para sus procesos vivientes y para asegurar la conservación de la especie con la generación de más microorganismos. La presencia de contaminantes en el agua modifica la estructura ambiental requerida por los organismos típicos del agua dulce, los cambios pueden afectar la temperatura, la cantidad de oxígeno disuelto, las concentraciones de nutrientes, los depósitos del fondo, etc. (Cáceres, 1994)

La acción biológica en el procesamiento de las aguas residuales tiene lugar en el paso denominado secundario o biológico. En el tratamiento primario, aunque la acción biológica es importante, no tiene un amplio campo de acción, por lo que todo se reduce a las actividades bacterianas sobre la materia orgánica. En el tratamiento secundario la acción biológica es sumamente importante, esta puede desarrollarse mediante el uso de sistemas de tratamiento específicos tales como: lodos activados, lagunas de oxidación, zanjas de oxidación y filtros rociador - aireadores; todos estos sistemas tienen en común el de desarrollar la vida, ya sea aeróbica o anaeróbicamente, con lo cual las sustancias presentes en las aguas negras serán transformadas a sustancias simples, todo esto mediante una serie de intervenciones metabólicas de los organismos (Cáceres, 1994).

2.2. TRATAMIENTO ANAEROBIO

El tratamiento debe estar dirigido a reducir la concentración de elementos contaminantes que afecten los parámetros de calidad para el uso definido del agua, la digestión anaerobia es un proceso por el que los microorganismos metabolizan la materia orgánica y producen metano y dióxido de carbono (Figura 1), con la característica principal de que lo hacen en ausencia de oxígeno, es decir condiciones anaeróbicas. Al final de esta transformación que sufre la biomasa queda un lodo formado por materia orgánica no biodegradable y otros compuestos minoritarios que los microorganismos no incorporan a su metabolismo. Estos lodos presentan las propiedades óptimas para ser utilizados como abonos en agricultura.



Fuente. (Moron, 2018).

Figura 1. Proceso anaerobio.

2.3. TRATAMIENTO AEROBIO

Los procesos biológicos permiten eliminar de las aguas residuales las sustancias biodegradables disueltas (substrato). El substrato suministra la fuente de alimento a los microorganismos y se transforma en condiciones aeróbicas en biomasa, dióxido de carbono y agua. Los microorganismos aerobios necesitan oxígeno para respirar. Además del substrato, generalmente también se tienen

que eliminar del agua residual los compuestos de nitrógeno como el amonio y los nitratos, un grupo de microorganismos convierten primero el amonio en nitrato (nitrificación). Otro grupo de microorganismos reduce luego el nitrato a nitrógeno elemental (desnitrificación). El nitrógeno producido escapa entonces como gas a la atmósfera.

2.4. NIVELES DE TRATAMIENTO

Manosalva, *et al.* (2012) Afirma que el grado de tratamiento requerido se basa en las características del afluente y en la calidad del efluente requerida por la normativa vigente. Si el efluente es descargado en un cuerpo de agua natural, este deberá cumplir con los requerimientos legales vigentes. Si el agua es usada para irrigación, el efluente deberá satisfacer también las regulaciones de salud y límites gubernamentales. La tabla 1 presenta la clasificación del tipo de tratamiento el objetivo de los mismos y el tipo de sistema que se implementa en cada uno.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos.

Tipo De Tratamiento	Sistema	Objetivos
Preliminar	Rejilla	Eliminar material grueso y homogenizar caudal
	Desarenador	
	Trampa De Grasas	
	Tanque De Homogenización	
Primario	Sedimentadores	Eliminación de sólidos suspendidos y eliminación de grasas
	Tanque De Flotación	
	Tanque De Neutralización	
	Tanque Séptico	
Secundario	Lodos Activados	Eliminación de sólidos disueltos eliminar DQO y DBO
	Lagunas Aireadas	
	Laguna De Estabilización	
	Filtros Percoladores	
	Biodiscos	

Tipo De Tratamiento	Sistema	Objetivos
	Reactores Anaerobios UASB	
	Filtros Anaerobios	
	Zanjas De oxidación	
Terciario	Plantas Acuáticas	Remoción de nutrientes (P N), metales y sales
	Filtración	
	Desinfección	

Fuente. (Granada, 1997).

2.5. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

La baja cobertura de alcantarillado sanitario ha determinado el uso mayoritario de tratamientos in situ, tales como tanques sépticos, pozos de absorción y zanjas de infiltración, sin embargo la existencia de un alto porcentaje de pobladores que no cuenta con ningún tipo de servicio de saneamiento ocasionan que las aguas residuales recolectadas por las redes de alcantarillado sanitario sean descargadas en la mayoría de los casos, sin recibir tratamiento (Thurnhofer, 2006).

Sin embargo, actualmente existen sistemas de bajo costo que se han venido implementando, tales como las lagunas de estabilización, el sistema más utilizado en Centroamérica y otros sistemas de biodegradación natural tales como los filtros anaeróbicos o biofiltros, esta tecnología alternativa coexiste con la convencional, utilizada en plantas de lodos activados, conformadas generalmente por un reactor aireado, en el cual la demanda de energía es bastante alta (Thurnhofer, 2006).

El tratamiento de aguas residuales es el proceso de eliminación de los contaminantes de las aguas residuales. El proceso produce un efluente líquido que puede ser desechado de forma segura y un lodo que puede ser utilizado para aplicar sobre el suelo o para producir biogás. Todos los establecimientos, incluidos los residenciales, comerciales e industriales, que utilizan agua producen aguas sucias en forma de aguas residuales. El tratamiento de las aguas residuales es un proceso de varias etapas que incluye, las etapas preliminares, primarias, secundarias y terciarias de tratamiento.

2.5.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR

Se trata de la separación física de los sólidos grandes y pequeños que están en las aguas usadas, la separación se realiza mediante, desarenadores y rejillas. Para eliminar sólidos que luego son depositados en un relleno sanitario (Zapata, *et al.* 2010).

Los sólidos flotantes, tales como palos, trapos, telas, arena, grava y las partículas grandes de alimentos se eliminan para proteger las tuberías y las bombas de la planta de tratamiento de obstrucciones y asegurar el tratamiento efectivo de las aguas residuales (Rodie, 1987).

2.5.2. TRATAMIENTO PRIMARIO

El tratamiento primario se utiliza para separar las grasas, aceites y sólidos en suspensión de las aguas residuales. Un tanque de sedimentación o clarificador primario se utiliza para este propósito. Las aguas sucias o residuales se depositan en un tanque durante varias horas en las que los sólidos en suspensión precipitan en el fondo y las grasas flotan en la parte superior. Los sólidos recogidos en la parte superior e inferior son separados por raspado y se someten a un tratamiento adicional en forma de lodo. Estas aguas residuales limpiadas fluyen a la siguiente etapa del tratamiento de aguas residuales (Menéndez, *et al.* 2005).

2.5.3. TRATAMIENTOS SECUNDARIOS

Lizarazo y Orjuela (2013) indican que el tratamiento secundario actúa en la remoción de la DBO soluble y de sólidos suspendidos que no fueron removidos en los procesos anteriores; aproximadamente el 85% de DBO y SS, aunque la remoción de nutrientes, nitrógeno, fósforo, metales pesados y patógenos es baja. Las reacciones que generan estos procesos son generalmente biológicas.

Estos procesos biológicos utilizan microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en las aguas residuales. Utilizándola como alimento y convirtiendo los compuestos orgánicos complejos en complejos simples y fácilmente sedimentables (Marquez, 2016).

- **SISTEMAS DE PELÍCULA FIJA**

Estos sistemas suspenden microorganismos en sustratos como arena, rocas o plástico. Las aguas residuales se extienden sobre este sustrato, permitiendo que los microorganismos absorban los nutrientes y la materia orgánica de las aguas residuales.

- **SISTEMAS DE PELÍCULA SUSPENDIDA**

Estos sistemas suspenden y agitan los microorganismos en las aguas sucias o residuales. Los microorganismos absorben y descomponen la materia orgánica con la ayuda de la aireación y agitación. A medida que los microorganismos absorben más materia orgánica, crecen en tamaño y número. Después de varias horas, estos microorganismos se asientan en forma de lodo, algo de este lodo se bombea hacia las aguas residuales entrantes para actuar como "semillas" de microorganismos, mientras que el lodo restante se envía para su tratamiento posterior.

2.5.4. TRATAMIENTOS TERCIARIOS

El tratamiento terciario se emplea como un proceso adicional para mejorar la calidad de los efluentes. Los procesos típicos incluyen la eliminación de los nutrientes (fósforo y nitrógeno) y los métodos de desinfección con luz ultravioleta, el ozono o el cloro (Troconis, 2010).

Tabla 2. Eficiencias de remoción de contaminantes por tecnologías.

Tecnología de tratamiento	Referencia	Eficiencia de remoción (%)					
		SST	DBO5	DQO	N Total	P Total	Cófiliformes
Desarenador convencional	RAS 2000	0-10	0-5	0-5			
	Metcalf & Eddy 2001	0-10	0-5	0-5			
Sedimentador primario	Metcalf & Eddy 2001	50-65	30-40	30-14		10-20	
	Fair(1954)	40-70	25-40	20-35			25-75
	Yañez(1995)	40-70	25-40				25-75
Tanque séptico	Batalha(1989)	50-70	40-62		<10	<10	<60
Tanque séptico filtro	Von sperling(1996)		70-90		10-25	10-20	60-90
Tanque imhoff	Tchobanoglous (2000)		50	40			
Primario avanzado	Yañez(1995)	70-90	50-85				40-80
	Tsukamote (2002)	73-84	46-70		<30	10 20	80-90
Filtro anaerobio	RAS 2000	60-70	65-80	60-80		30-40	
	Rodriguez et al. (2006)			75-85			
UASB	Torres (2000)	60-80	60-70		10-25	10-20	60 -90
	RAS 2000	60-70	65-80	60-80		30-40	
	Valencia (2002)	72	83	74			

Tecnología de tratamiento	Referencia	Eficiencia de remoción (%)					
		SST	DBO5	DQO	N Total	P Total	Cóliformes
	Lettinga et al (1983)			55-78			
UASB Laguna facultativa	CDMB (2006)	84	88				
UASB lodos activados	Van Haandel lenttiga	85-95	85-95		10-25	10-20	70-95
UASB lodos activados SBR	torres (2000)	84-86	87-93		20-90	23-72	
Reactor anaerobio de flujo pistón	RAS 2000	60-70	65-80	60-80		30-40	
Reactor anaerobio de contacto	Rodriguez <i>et al.</i> (2006)			75-90			
Reactor anaerobio de lecho fluidizado	Rodriguez <i>et al.</i> (2006)			80-85			
Lodo activado convencional	RAS 2000	80-90	80-95	80-95		10-25	
	Yañez(1995)	85-98	70-98				95-98
	Fair(1954)	55-95	55-95	50-80			90-98
	Von sperling(1996)	80-90	85-93		30-40	30-45	60-90
Lodo activado	Von sperling(1996)	80-90	85-95		30-40	30-45	60-90

Fuente. (Miranda, *et al.* 2015).

2.6. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR)

Una P.T.A.R. es una unidad de control de calidad del proceso productivo, donde por medio del análisis del agua residual (cantidad, calidad), se puede diagnosticar el “estado del paciente”, es decir, la eficiencia en un momento determinado (Conil, 2009).

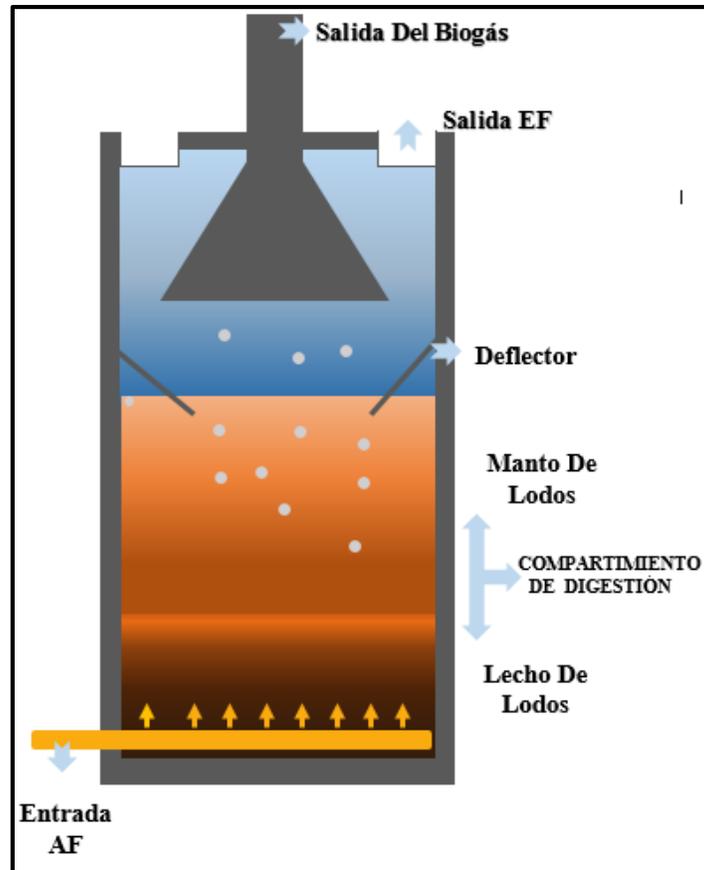
2.7.REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB)

Upflow Anaerobic Sludge Blanket o reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente. Identificándose como una tecnología proveniente de Bélgica y Holanda, la cual es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica.

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo o barro biológicamente activo en el reactor. Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. Una de las ventajas del tratamiento anaeróbico es la producción de gas metano como fuente energética y la baja producción de lodo biológico (Guerra, 2000).

El tratamiento de aguas residuales con reactores tipo U. A. S. B. es el más difundido en América Latina desde 1988. Gran parte de los sistemas de lodos activados, pueden lograr eficiencias de remoción comprendidas entre el 60 y 80% de la DQO y la DBO en función de la concentración inicial del agua residual, el tratamiento anaerobio se recomienda para el lixiviado con una relación de DBO/DQO entre 0,7 y 0,3 residuos parcialmente estabilizados (Messa, 2006).

Según indica Lettinga y colaboradores (1980), el flujo combinado ascendente de las aguas residuales, puede hacer que algunos de los sólidos del lodo lleguen a la parte superior del reactor, donde un separador gas-sólido-líquido, impide la salida de los sólidos del reactor separándolos del gas producido y del efluente líquido. El biogás es captado bajo una campana y conducido hacia la superficie del reactor. Algunos sólidos son transportados por el agua hacia el sedimentador, situado encima de la campana de gas, donde los sólidos sedimentan y retornan al manto de lodos, el efluente cae a un canal situado en la parte superior del reactor, donde es descargado.



Fuente. (Granada, 1997) Modificada por los autores.

Figura 2. Diagrama del reactor UASB.

El tratamiento de las aguas residuales en reactores UASB es conveniente para el tratamiento de una amplia gama de diversos tipos de aguas residuales, por ejemplo, las industriales (de altas concentraciones) y las aguas de origen doméstico (de mucha menor concentración). Siendo el diseño y la construcción específica del reactor, diferentes para cada tipo de aguas residuales (Lorenzo & Obaya, 2006).

Los efluentes son una mezcla de aguas residuales domésticas y de industrias situadas en una determinada zona. Las aguas residuales domésticas proceden de las viviendas y las instalaciones comerciales e incluyen aguas fecales (aguas negras) y aguas de lavabos, duchas, y cocinas fundamentalmente (Lorenzo & Obaya, 2006). Estos efluentes presentan cargas orgánicas variables, pero al mezclarse entre sí y con los demás efluentes, dan como resultado aguas de baja carga orgánica y compleja en cuanto a su composición, se consideran efluentes de baja carga aquellos que presentan una DQO inferior a los 2000 mg/l. Las aguas residuales urbanas presentan concentraciones generalmente por debajo de los 1000 mg DQO/l, encontrándose habitualmente

entre 300 y 700 mg DQO/l. La concentración orgánica depende de diversos factores, siendo fundamental si la red de saneamiento tiene separación de pluviales o no (Ruiz, *et al.* 2002).

Los primeros reactores anaerobios que se utilizaron fueron el digestor de mezcla completa y el proceso de contacto anaerobio. En el primero el tiempo de retención de los sólidos era igual al tiempo de retención hidráulico y en el segundo se incorporó un decantador después del tanque para clarificar el efluente y recircular los lodos con lo que se consiguió aumentar el tiempo de retención de los sólidos en este diseño. En los procesos modernos, denominados de alta velocidad, la característica común a todos ellos es la retención de la biomasa dentro del reactor, de manera que el tiempo de retención de los sólidos es mucho mayor que el tiempo de retención hidráulico por lo que se consigue aumentar la eficacia del proceso (Lettinga, *et al.* 1980).

El tratamiento anaerobio de efluentes domésticos fue aplicado desde finales del siglo XIX, con el desarrollo de la fosa séptica (1895) y del tanque Imhoff (1905). El denominado tanque “biolítico” fue utilizado por primera vez en 1910, siendo analizado de nuevo en los años 50, y constituyendo el modelo previo de los actuales digestores UASB. Estas primeras versiones del UASB fueron combinadas con filtros para mejorar el tratamiento global, consiguiendo buenos resultados, que sin embargo no permitieron asentar la tecnología (Jewell, 1987).

El funcionamiento del reactor está basada en el monitoreo de varios parámetros. Estos parámetros están relacionados ya sea con el agua residual, el lodo o el mismo reactor, el contacto del agua residual con el lodo y la forma como esta es distribuida en el interior del reactor forman parte de los parámetros más importantes a la hora de operar el sistema UASB.

2.8. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE

La función del filtro también llamado reactor anaerobio tiene por finalidad reducir su carga contaminante de las aguas servidas. Los filtros anaeróbicos son sistemas denominados de alta tasa, que han encontrado aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas.

En el filtro anaeróbico de flujo ascendente, el agua residual se hace pasar uniformemente a través de un tanque empacado con un soporte sólido fuerte (grava, piedra de mano, trozos de material sintético, etc.). Sobre el soporte se genera una biopelícula, que es retenida en el medio y que es la encargada de digerir la materia orgánica. Los filtros anaeróbicos permiten la aplicación de tiempos

de retención hidráulica cortos y altas cargas orgánicas, ya que su operación es bastante estable (Noyola & Morgan, 1997).

Este sistema, ya de segunda generación, consiste en un reactor inundado de flujo ascendente o descendente empacado con soportes plásticos o piedras. El agua residual atraviesa el lecho empacado permitiendo la interacción entre el sustrato en el agua residual y el microorganismo adherido al lecho filtrante. Debido a que en este sistema el microorganismo se encuentra adherido al lecho filtrante, su tiempo de retención celular es mayor al tiempo de retención hidráulica manejado. Este sistema puede aplicarse en el tratamiento de aguas residuales domésticas debido a su alta resistencia a la fluctuación en caudales. En tales casos, este sistema regularmente se coloca después de una fosa séptica con el fin de retener sólidos y flotantes (Noyola & Morgan, 1997).

Uno de los sistemas más ampliamente utilizado en Colombia para el tratamiento de aguas residuales es el filtro anaerobio de flujo ascendente. Su aplicación ha estado orientada al sector rural, en donde se combina con un tanque séptico como pre tratamiento y permite obtener eficiencias de remoción de contaminantes superiores al 60%. La función del tanque séptico es principalmente remover o retener la materia orgánica suspendida, mientras que el filtro anaerobio se encarga de transformar la materia orgánica soluble presente en el agua residual. En términos prácticos, el filtro es un sistema de tratamiento de aguas residuales de película fija, es decir, es un dispositivo en el cual las bacterias encargadas de la biodegradación requieren una superficie a la cual adherirse (Castaño & Paredes, 2002).

Según Rojas (2004) el filtro anaerobio de flujo ascendente es un proceso de crecimiento adherido, para el tratamiento de residuos solubles. De los sistemas de tratamiento, el filtro anaerobio es el más sencillo de mantener, porque la biomasa permanece como una película microbial adherida y porque como el flujo es ascensional, el riesgo de taponamiento es mínimo.

2.9.PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS

• 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 (Messa, 2006).

Mantener la temperatura óptima de desarrollo de los microorganismos anaerobios favorece el proceso de tratamiento. Se considera que el intervalo mesofílico (30 - 38° C) es el más recomendable para alcanzar un buen proceso de digestión del agua residual. Las bacterias formadoras de metano son activadas en dos zonas de temperatura, normalmente en el intervalo mesofílico (29.5 - 35° C) y en el intervalo termofílico (50 - 60° C). A temperaturas mayores de 40° C y debajo de 50° C, la producción de metano es inhibida (Conagua, 2016).

- **POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)**

El potencial de hidrógeno (pH) óptimo para el proceso anaerobio se encuentra alrededor de 7. Un valor de pH fuera del intervalo de 6.5 - 7.5 puede ocasionar la muerte de la mayoría de las bacterias metanogénicas, el pH debe estar entre 6.8 y 7.4, para la producción de gas metano. Las bacterias formadoras de metano se inhiben en pH menor a 6, que puede ser ocasionado por una cantidad elevada de ácidos grasos volátiles acumulados en el reactor (Conagua, 2016).

- **SÓLIDOS**

En la determinación de los sólidos en una muestra se comprende los términos sólidos totales, sólidos suspendidos, y sólidos disueltos.

Los sólidos suspendidos son la porción retenida por el papel filtro de 1,3 µm de tamaño de poro, los 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.

- **DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO DBO₅**

La demanda biológica de oxígeno es definida por Jaramillo (2005) como la cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura. Esta demanda se da por la materia orgánica arrojada a las corrientes y masas de aguas y cesara al agotarse la materia orgánica. Se calcula mediante una prueba que se efectúa a los 5 o 20 días de tomada la muestra (RAS, 2000). 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 además permite calcular la remoción del mismo.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas.

Parámetro	Unidad	Aguas Residuales Domesticas - Ard De Soluciones Individuales De Saneamientos De Viviendas Unifamiliares O Bi Familiares Y De Actividades Industriales Comerciales O De Servicios
Generales		
Ph	unidades	6,00 - 9,00
Demanda quima de oxígeno (DQO)	mg/L O2	200,0
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L O2	100,0
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	100,0
Sólidos sedimentables (SSET)	mL/L	1,5
Compuestos De Fósforo		
Fósforo total (P)	mg/L	0,4
Compuestos De Nitrógeno		
Nitrógeno total (N)	mg/L	1,0

Fuente. (Minambiente, 2015).

2.10. ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO)

ICO, consisten básicamente en una expresión matemática simple, de la combinación de un número de parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos, los cuales sirven como medida de la calidad del agua para diferentes usos (Samboni *et al.* 2011).

2.10.1. ICOMI O PARÁMETRO DE MINERALIZACIÓN.

Este factor integra las mediciones de conductividad la cual expresa el contenido de sólidos disueltos en la corriente del cuerpo hídrico, dureza basada en la concentración de cationes de magnesio y calcio, y la alcalinidad expresada mediante el contenido de aniones de carbono. Este

índice se define en un rango de 0 que indica baja contaminación a 1 que indica alta contaminación por mineralización (Ramírez, 2017).

2.10.2. ICOMO O ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA

Involucra parámetros como % oxígeno (porcentaje de oxígeno), cólifomes totales, y demanda biológica de oxígeno (DBO5) (Ramírez, 2017).

2.10.3. ICOSUS O PARÁMETRO DE CONTAMINACIÓN POR SÓLIDOS SUSPENDIDOS.

Se integra del cálculo de los sólidos suspendidos o partículas de carácter orgánico e inorgánico que se mantienen suspendidos en concentraciones acuosas, este índice se define mediante un rango de 0 a 1 que permite determinar la contaminación por sólidos (Ramírez, 2017).

2.10.4. ICOTRO O ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN TRÓFICA

Estudio de la concentración de fósforo, así como el nitrógeno. El fósforo en exceso de agua provoca eutrofización que puede afectar la vida acuática, su determinación por análisis químico establece el grado de contaminación (Ramírez, 2017).

3. METODOLOGÍA

En el presente trabajo se tomó como referencia el libro Saneamiento Rural de Granada (1997). El cual permite una solución a la problemática ambiental actual de la institución.

3.1. LOCALIZACIÓN

Con la identificación de la localización se buscó dar un concepto detallado de las características que tiene la zona de estudio como temperatura, altitud y ubicación tanto a nivel local departamental y nacional.

El proceso de localización a nivel local se realizó con la ayuda de un GPS marca GARMIN proporcionado por la Universidad Surcolombiana donde se tomaron las coordenadas de la zona, en que estaba instalada la planta y el recorrido que realizaba el agua residual generada de la descarga a la quebrada el Pital. Datos que fueron trasladados al programa google Earth pro (Figura 3).



Fuente. Google Earth Pro.

Figura 3. Ubicación de la PTAR y la descarga.

3.2. DESCRIPCIÓN Y DIAGNOSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

El diagnóstico y descripción del funcionamiento de la PTAR se realizó a partir de recorridos del área de estudio donde por medio de visitas periódicas de campo a la planta de tratamiento de aguas

residuales se observaba a detalle el funcionamiento, estado de las partes estructurales y desarrollo de actividades como descarga, entrada del agua a la PTAR y recorrido que realizaba hasta desembocar en la quebrada el Pital.

3.3.DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

Se realizó el cálculo del caudal para la salida de la PTAR (punto 1) y salida del filtro con discos de guadua (punto 2) por el método volumétrico y para la quebrada el Pital se realizó su cálculo por el método de flotadores.

3.3.1. CAUDAL DE LA PTAR

Para hallar el caudal de la PTAR se empleó el método volumétrico mediante balde o caneca (IDEAM, 2007), el cual se aplica para tubería o canal abierto, ya que el vertimiento al presentar una caída de agua permite interponer un recipiente y medir su caudal, para este proceso se implementó un cronómetro, un recipiente aforado (balde de 20 litros) y un vaso precipitado de (500 ml).

El caudal promedio de funcionamiento se halló realizando el aforo en horas de la mañana el día 28 de marzo con un vaso precipitado de 500 ml en el punto uno con coordenadas 1°49'49.86"N 76°2'36.72"O, y punto dos con coordenadas 1°49'49.88"N 76°2'36.71"O, para el primer muestreo, el segundo aforo se realizó el 4 de junio solamente para el punto uno. Se realizaron 5 repeticiones por cada punto, es de resaltar que la PTAR mantiene una carga hidráulica de agua residual intermitente ya que en el transcurso de 10:00 p.m. a 6:00 a.m. no hay funcionamiento del plantel educativo.

Siendo el caudal la cantidad de fluido que circula a través de una sección por unidad de tiempo se hace uso de la siguiente expresión:

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

Donde:

Q = Caudal volumétrico (m³/seg)

V = Volumen (m³)

t = Tiempo (seg)

3.3.2. CAUDAL DE LA QUEBRADA EL PITAL

- Se seleccionó un tramo uniforme de la quebrada de 4 metros, el cual no contenía piedras grandes que impidieran el flujo libre de agua.
- Se marcó con dos guaduas una al inicio del tramo y otra al final para facilitar la toma de tiempos.
- Se midió el ancho del tramo seleccionado y se dividió en secciones de 110 cm en la parte superior e inferior del tramo
- Se midió la profundidad en cada uno de los tramos (en la parte superior e inferior de la sección), tratando de que sean de la misma longitud.
- Se lanzó un objeto flotante (pin pon), unos cm más arriba de la marca del tramo en la parte superior, justo cuando el objeto flotante pasa por la marca superior se inicia el cronometro hasta que este paso por la guadua ubicada en la parte inferior y así poder tomar el tiempo de recorrido del objeto, este proceso se realizó tres veces con el objeto flotante para poder obtener un promedio de los tres lanzamiento.

$$Q = V * A$$

Ecuación 2

Donde:

Q= Caudal (m³/seg)

V= velocidad (m/seg)

A= área de la sección transversal de la corriente de agua (m²)

3.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LA QUEBRADA EL PITAL.

3.4.1. MUESTREO

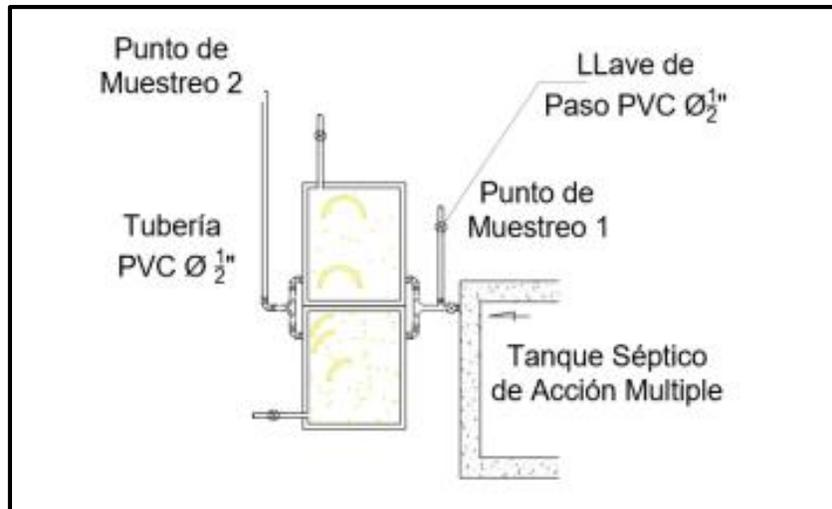
En el proceso de la toma de muestras se tomó en cuenta la metodología sugerida por el IDEAM (2007). El primer muestreo fue a los treinta y cinco (35) días de haberse realizado la instalación de la nueva tubería y el segundo muestreo se realizó el 4 de junio, estas muestras se tomaron de tres puntos diferentes siendo el punto uno (1) el agua residual que sale de la PTAR, el punto dos (2) fue asignado al agua residual que recibe el tratamiento alternativo con discos de guadua y el punto tres (3) fue tomado como la descarga del agua a la quebrada el Pital.

Estas muestras fueron tomadas para realizar los análisis de ICO (índice de contaminación) y agua residual (AR), los cuales se conocen como análisis físico químicos y microbiológicos que fueron analizados en el laboratorio ambiental certificado Diagnosticamos S.A.S en la ciudad de Neiva. Para las muestras de análisis microbiológico se emplearon frascos de vidrio de 500 ml y frascos plásticos de 1000 ml para el análisis físico químico, los análisis ICO evaluarán 10 parámetros que son cóliformes totales (CT), sólidos suspendidos (SS), demanda biológica de oxígeno (DBO5), nitrógeno total (N), dureza total, % de saturación de oxígeno, conductividad, alcalinidad total, potencial hidrógeno (pH) y temperatura (T). Para los análisis de agua residual se evaluaron demanda biológica de oxígeno (DBO5), conductividad, sólidos suspendidos (SS), fósforo total (PT), nitrógeno total (NT), sodio (Na), potasio(K), cóliformes fecales (CF), potencial hidrógeno (pH) y temperatura (T).



Figura 4. Toma de muestras para análisis fisicoquímicos.

Cabe denotar que se manejaron dos tipos de muestras una puntual para el punto tres y una muestra compuesta para el punto uno y dos, las cuales fueron tomadas a las diez de la mañana (10) y a las dos de la tarde (2) para el primer muestreo, y a las dos de la tarde (2) y ocho de la noche (8) para el segundo muestreo compuesto, para la muestra puntual primer muestreo a las doce del mediodía (12) y dos de la tarde (2) segundo muestreo. Luego de obtener las respectivas muestras se realizó su preservación por medio de un termo de icopor con hielo garantizando una temperatura de 4°C hasta la ciudad de Neiva.



Fuente. (Rojas & Ortiz, 2017).

Figura 5. Puntos de muestreo.

3.4.2. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN

Para calcular la eficiencia de remociones se realiza con base en la disminución de unidades logarítmicas entre el afluente (Af) y el efluente (Ef). Para los parámetros analizados se utilizó la siguiente expresión.

$$E_f = \frac{C_{Af} - C_{Ef}}{C_{Af}} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Ef = Eficiencia de remoción del Sistema (%)

CAf = Concentración del afluente

CEf = Concentración del efluente

3.5. CÁLCULOS DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO)

Se calculó los índices ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO según las ecuaciones de referencia, para la evaluación de estos índices sobre la quebrada el Pital se determinarán a partir de la información correspondiente al punto 3 al cual se le realizó el muestreo para el análisis ICO (índice de contaminación), con dos periodos de información recolectada el 28 de marzo y 4 de junio del 2019, junto con la presentación de clasificación de calidad mediante la tabla 4 para el hallazgo de los índices, se presentan adicionalmente las fórmulas utilizadas para el cálculo de estos.

Tabla 4. Calificación de la calidad del agua según los valores que tomen los indicadores de contaminación.

ICO	CLASIFICACIÓN	Escala De Color
0 - 0,2	Contaminación Muy Baja	Azul
0,2 - 0,4	Contaminación Baja	Verde
0,4 - 0,6	Contaminación Media	Amarillo
0,6 - 0,8	Contaminación Alta	Naranja
0,8 - 1	Contaminación Muy Alta	Rojo

Fuente. (González, *et al.* 1997).

3.5.1. Formulación para el índice de contaminación por mineralización trófico (ICOMI)

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{Conductividad} + I_{Dureza} + I_{Alcalinidad}) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\log_{10} I_{Conductividad} = -3,26 + 1,34 * \log_{10} Conductividad (\mu\text{s/cm})$$

$$10^{\log(I_{Conductividad})} = 10^{(-3,26 + 1,34 * \log_{10} Conductividad (\frac{\mu\text{s}}{\text{cm}}))}$$

$$I_{Conductividad} = 10^{(-3,26 + 1,34 * \log_{10} Conductividad (\frac{\mu\text{s}}{\text{cm}}))}$$

Conductividad > 270 $\mu\text{s/cm}$) tiene un índice de conductividad = 1

$$\log_{10} I_{Dureza} = -9,09 + 4,40 * \log_{10} Dureza (\text{g/m}^3)$$

$$I_{Dureza} = 10^{(-9,09 + 4,40 * \log_{10} Dureza (\frac{\text{g}}{\text{m}^3}))}$$

Dureza > 110 g/m^3 Tienen un índice = 1

Dureza < 30 g/m^3 tienen un índice = 0

$$I_{Alcalinidad} = -0,25 + 0,005 * Alcalinidad (\text{g/m}^3)$$

Alcalinidad > 250 g/m^3 tienen un índice = 1

Alcalinidad < 50 g/m^3 tienen un índice = 0

3.5.2. Formulación para el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{CoT} + I_{\%OXIGENO}) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$I_{DBO} = -0.05 + 0.70 \log_{10} \cdot DBO$$

DBO >30 mg/l tienen un índice = 1

DBO < 2 mg/l tienen un índice = 0

$$I_{COT} = -1.44 + 0.56 \log_{10} CoT(NMP 100cm^3)$$

Cófiliformes totales > 20.000 tienen un índice = 1

Cófiliformes totales < 500 tienen un índice = 0

$$I_{\%OXIGENO} = 1 - 0.01 * \%Oxigeno$$

% Oxígeno > 100% tiene un índice = 0

3.5.3. Formulación para el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

$$ICOSUS = -0.02 + 0.003 * Sólidos suspendidos (g m^{-3})$$

Ecuación 6

Sólidos suspendidos > 340 g.m⁻³ ICOSUS = 1

Sólidos suspendidos < 10 g.m⁻³ ICOSUS = 0

3.5.4. Formulación para el índice de contaminación trófico (ICOTRO)

Tabla 5. Clasificación para ICOTRO.

Clasificación	g. m ⁻³
Oligotrófico	< 0,01
Meso trófico	0,01 - 0.02
Eutrófico	0.02 - 1
Hipertrófico	> 1

Fuente. (González, *et al.* 1997).

3.6.EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA PTAR ACTUAL EN LOS PERIODOS 2010-2019 Y REDISEÑO CON TANQUE SÉPTICO PARA 20 AÑOS

Con base a la metodología del curso de saneamiento rural se realizó el cálculo de la eficiencia en los periodos 2010-2019 con tiempos de retención hidráulico de un día y medio día, también se realizó el dimensionamiento que debería tener para un periodo de 20 años si se decidiera seleccionar el diseño actual y así realizar un tratamiento eficiente de las aguas residuales.

3.7. REDISEÑO DE LA (PTAR)

El rediseño de la PTAR se optó por realizar el dimensionamiento de un UASB, con el fin de crear un sistema de tratamiento de agua residual con una alta eficiencia, describiendo aspectos de importancia para cada parte del sistema y su estado operativo, que conlleven a un tratamiento eficaz en la mitigación de impactos negativos a fuentes hídricas, previendo de esta manera posibles daños al ambiente y a la salud humana.

Junto con el dimensionamiento del UASB se realizó el cálculo para el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), con el propósito de implementar en su interior discos de café combinados con discos de guadua y obtener de esta manera mayor eficiencia.

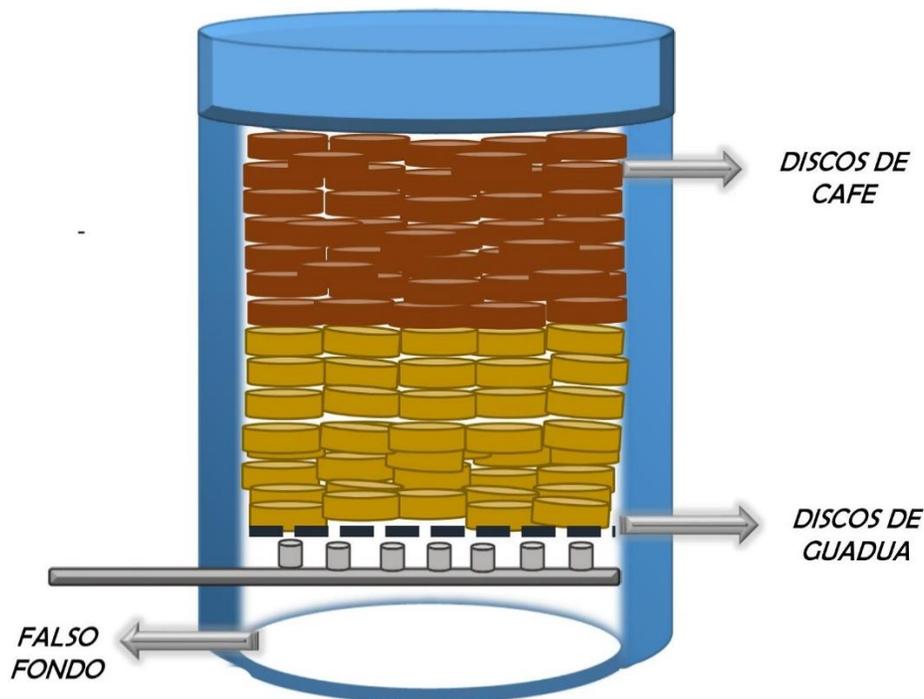


Figura 6. FAFA con discos de café y discos de guadua.

3.7.1. CARACTERIZACIÓN DE DISCOS DE CAFÉ

Se emplearon troncos de café (*coffea*) adquiridos en el predio Villa Inés ubicado en la vereda campo bello corregimiento de Bruselas del municipio de Pitalito con las siguientes coordenadas $1^{\circ}47'0.80''N$ $76^{\circ}9'30.69''O$, a 1421 m.s.n.m. El café que se utilizó pertenece a la variedad

Colombia, de la cual se seleccionaron 20 muestras que presentaban un metro (1) de longitud, cada una con un periodo de corte de catorce meses, de haberse realizado la actividad de zoqueo.



Figura 7. Selección y limpieza de los troncos de café.

CORTE DE LOS DISCOS DE CAFÉ

Después de realizar la selección de los troncos de café se llevaron a una ebanistería del centro del corregimiento de Bruselas, donde fueron cortadas con una sierra de disco dentada de 22 dientes, la cual permitió que se realizaran cortes de un mismo espesor (1cm).



Figura 8. Proceso de corte a los troncos de café.

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE DISCOS DE CAFÉ

Para la prueba de determinación de volumen en cm^3 que se realizó a los discos de café, se tomaron 10 muestras seleccionadas al azar y de esta manera poder obtener un rango estadístico representativo. Se empleó un calibrador de Vernier (rango de medición 150 mm y precisión 0.02 mm). Los diámetros obtenidos por cada cilindro de café se promediaron para obtener la medida

del diámetro promedio, posteriormente se calculó el volumen de las muestras seleccionadas empleando la siguiente ecuación:

$$V_{pro} = \frac{\pi * D^2}{4} * h \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

V.pro = Volumen promedio (cm³)

D = Diámetro (cm)

L= Altura (cm)

DETERMINACIÓN HUMEDAD DE LOS DISCOS DE CAFÉ

En la determinación del contenido de humedad de los discos de café se seleccionaron treinta muestras al azar, con pesos que variaban entre diez gramos (10) y dieciocho gramos (18), con diámetros entre los tres centímetros (3) y cinco centímetros (5).



Figura 9. Proceso para obtener el contenido de humedad.

Las muestras se llevaron a una balanza electrónica portátil digital (marca OHAUS modelo Traveler TA1501, con capacidad de 1500 gr y 0.1 gr de sensibilidad), la cual permitió determinar su peso inicial al comenzar su proceso de secado, proceso que se realizó en una estufa de cultivo (modelo 30-160 marca Memmert un 30), a una temperatura de 105 +/- 1°C, se tomó el peso de las muestras cada 10 minutos durante las dos primeras horas luego cada 20 minutos hasta tener una muestra de peso constante. Conociendo el peso de la muestra humedad y muestra seca se calculó su contenido de humedad mediante la siguiente expresión.

$$CH = \frac{Mh - Ms}{Mh} * 100 \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

CH = Contenido de Humedad de los discos de café (%)

Mh = Peso de la muestra húmeda (gr)

Ms = Peso de la muestra seca (gr)

POROSIDAD DE LOS DISCOS DE CAFÉ

La determinación de la porosidad de los discos de café se realizó empleando un recipiente de vidrio con sección cuadrada de 19.4 cm x 19.4 cm (376.36 cm² de área), altura de 40 cm y espesor de 0.6 cm para un volumen teórico de 15.054 litros. Seguido a esto y teniendo en cuenta el volumen total del recipiente se tomaron cuatro volúmenes conocidos (2000 – 4000 – 6000 – 8000) en los cuales se agregaron los discos de café. A cada volumen se le realizó tres repeticiones con su respectivo conteo y el peso total de estos, ya que la cantidad de discos y el peso pueden cambiar al momento del llenado por la distribución o la forma de acomodarse cada cilindro en el interior del recipiente.



Figura 10. Volumen conocido con discos de café.

Como primer paso se realizó el cálculo de la densidad aparente (Ecuación 9), donde se tiene en cuenta el peso de toda la muestra y el respectivo volumen que esta ocupaba.

$$\rho_A = \frac{p}{volumen} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

ρ_A = Densidad aparente (gr/ml)

p = Peso (gr)

V = Volumen (ml)

Luego de realizar el cálculo de la densidad aparente, se procedió al cálculo de la densidad real donde se tiene en cuenta el peso de toda la muestra, el número de discos que componen a esa muestra y el volumen promedio de cada disco, que se obtuvo a partir de la ecuación 1.



Figura 11. Conteo y peso de los discos de café en un volumen conocido.

$$\rho_R = \frac{p}{N^{\circ}Discos * V_D} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

ρ_R = Densidad real (gr/ml)

p = Peso (gr)

V_D = Volumen real del disco (ml)

Al obtener las dos densidades se calculó el contenido de porosidad de los discos de café con la siguiente ecuación

$$P(\%) = \left(1 - \frac{\rho_{Aparente}}{\rho_{Real}}\right) * 100 \quad \text{Ecuación 11}$$

PESO ESPECÍFICO DE LOS DISCO DE CAFÉ

En el peso específico de los discos de café se tuvo en cuenta el volumen real hallado por medio del método de medición directa y el peso de la cantidad total utilizado en la prueba de porosidad, se empleó la siguiente ecuación:

$$P_E = \frac{M}{v} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

P_E = Peso específico de los discos de café (gr/cm³)

M= Masa (gr)

V_r = Volumen real (cm³)

3.8.EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Para la identificación de los impactos se basó en la elaboración de la matriz DOFA, uso del diagrama de redes y matriz de Leopold.

3.8.1. Elaboración de DOFA

La identificación de las debilidades oportunidades, amenazas y fortalezas de la planta de tratamiento de agua residual, se basó en la matriz DOFA. El análisis DOFA se utiliza, principalmente, para los procesos de análisis y formulación de estrategias que contribuyan al mejoramiento de las actividades que se están realizando en algún proyecto, lo cual es de gran utilidad para entender y tomar decisiones en toda clase de situaciones que se presenten.

3.8.2. Diagrama de redes

El método de diagrama de redes permite integrar las causas de los impactos y sus consecuencias a través de la identificación, de las interrelaciones que existen entre las acciones y los factores ambientales que reciben el impacto, incluyendo aquellas que representan sus efectos secundarios y terciarios. Además permitió identificar los impactos previstos y a organizar estos, asociados a la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad Surcolombiana.

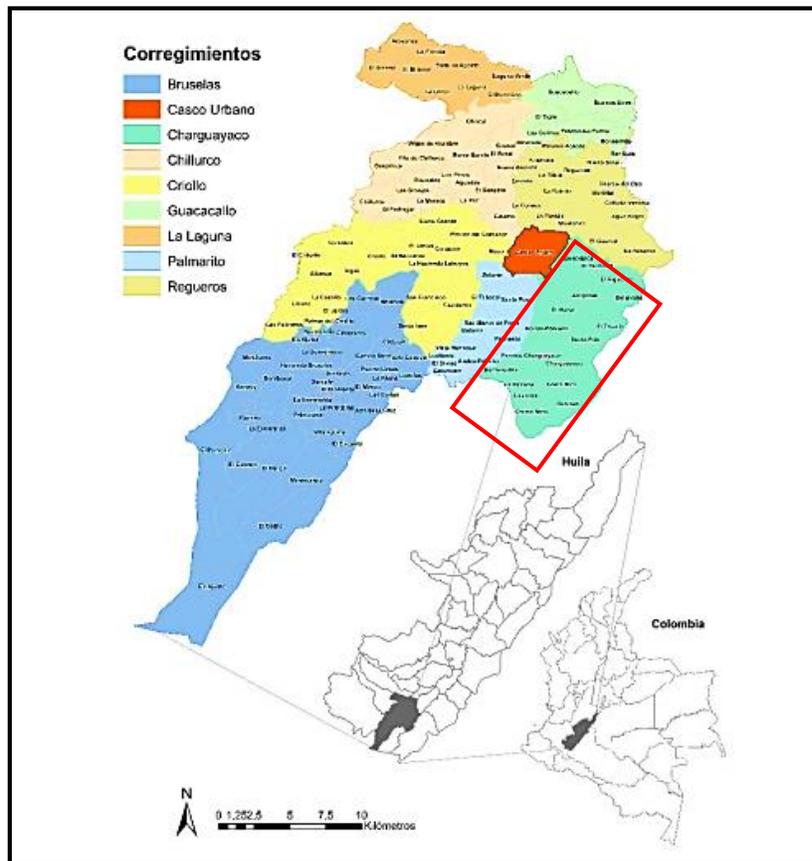
3.8.3. Matriz de Leopold

La matriz original de Leopold es una lista de acciones que pueden causar cambios ambientales y elementos ambientales que pueden ser afectados. Para la aplicación de la matriz de Leopold se hizo una adaptación y reducción específica a la PTAR de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito, dando como resultado 9 filas y 7 columnas. Según la matriz original de Leopold las acciones se ubican en el eje horizontal formando las columnas y en el eje vertical los elementos que a su vez forman las filas. Las interacciones de los dos ejes forman una casilla la cual representa un impacto ambiental. En la derecha y en el punto inferior de la matriz hay tres columnas y tres filas, las cuales corresponden al resumen de las interacciones de la columna y la fila; y son denominados en el caso de las columnas de mayor magnitud, mayor importancia y la acción en la categoría con mayores impactos; en el caso de las filas son denominados números de impactos, la característica con mayor impacto y factores de beneficio(Ramirez & Palacios, 2004).

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. LOCALIZACIÓN

El área de estudio está localizada en la Universidad Surcolombiana sede Pitalito del departamento del Huila. Con una altura de 1.318 msnm, temperatura promedio de 20 °C, y una precipitación total de 1200 mm/año. Pitalito en su zona rural se encuentra dividida en ocho (8) corregimientos (Figura 12) los cuales son conformados por diferentes veredas, el estudio realizado es situado en el corregimiento de Changuayaco vereda el Macal.



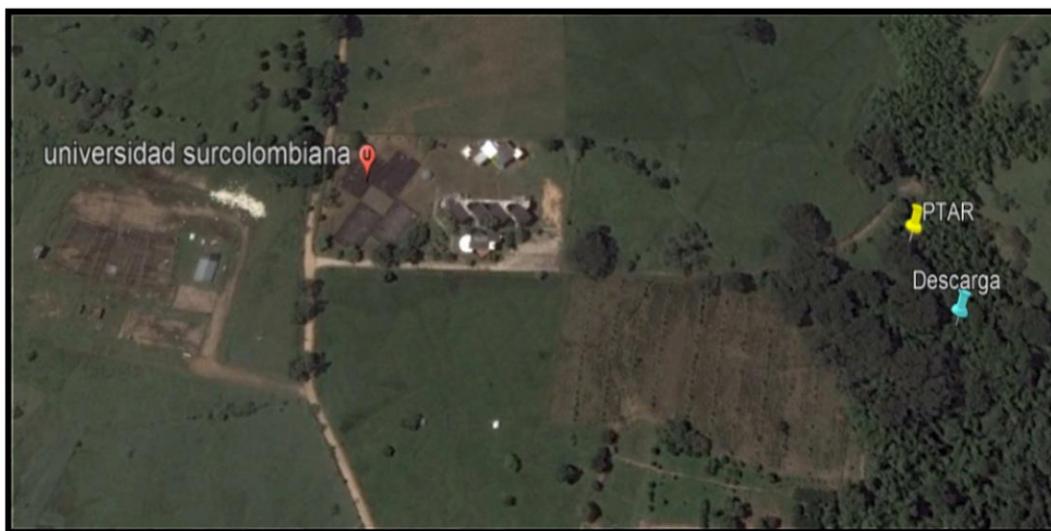
Fuente. (Silva, *et al.* 2015)

Figura 12. Ubicación de la zona de estudio.

Cabe resaltar que el municipio de Pitalito se encuentra situado dentro del Macizo Colombiano, y del Cinturón Andino, declarado por la UNESCO en 1972, reserva de la biosfera. La ubicación estratégica le permite gozar de condiciones ambientales privilegiadas que le han llevado a ser considerado, como uno de los municipios con el mayor número de predios adquiridos para la protección de micro cuencas Silva (2015). El territorio de Pitalito forma parte de la cuenca alta del

río Magdalena, la corriente de agua más importante del país, el cual nace a 3.685 msnm en la laguna de la Magdalena (departamento del Huila), localizada a $01^{\circ} 55' 40''$ de latitud norte y $76^{\circ} 35' 08''$ longitud oeste, en el extremo suroccidental de una pequeña planicie del páramo de las papas (Martínez & Afanador, 1993).

La Universidad Surcolombiana está situada geográficamente con las coordenadas $1^{\circ}49'59.7''N$ $76^{\circ}02'30.2''E$. Dentro de su infraestructura cuenta con una PTAR (planta de tratamientos de aguas residuales). La cual actúa como tratamiento de las Aguas Residuales domésticas que son generadas por el plantel educativo, y basándose en esto partió el desarrollo de este proyecto de investigación.



Fuente. Google earth PRO.

Figura 13. PTAR y descarga de la PTAR Universidad Surcolombiana.

4.2.DESCRIPCIÓN Y DIAGNOSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PTAR

La planta de tratamiento de aguas residuales PTAR, construida en la Universidad Surcolombiana consiste en una serie de procesos físicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano. Cuenta con una etapa de sedimentación donde el agua residual pasa a través de 2 grandes pantallas rectangulares con tiempos de retención, buscando que las partículas sólidas sean separadas por gravedad realizando un proceso físico, que aprovecha la diferencia de densidad y peso entre el líquido y las partículas suspendidas, al ser los sólidos más pesados que el agua, se precipitan produciéndose su separación del líquido.

Las dimensiones de la PTAR son 2.40 m de ancho por 8m de largo y 2 m de alto, cuenta con dos cajillas de inspección de 80x80cm las cuales permiten revisar el funcionamiento interno de la PTAR, en la parte superior se encuentran 4 tubos de PVC de 2" que salen del interior, actuando como eliminadores de gases que se generan, la descarga de la PTAR se realiza por medio de una ventana rectangular en un costado con dimensiones 90x25cm una parte de esta agua residual pasa directamente al drenaje natural que conduce a la quebrada el Pital y otra parte pasa por la parte lateral a un tratamiento complementario con discos de guadua.



Fuente. (Rojas & Ortiz, 2017)

Figura 14. Planta de tratamiento.

4.2.1. ESTADO DE LA PTAR

La PTAR con la que cuenta la Universidad Surcolombiana, es una estructura aproximadamente con veinte (20) años de construcción, los mantenimientos que se le han realizado han sido muy pocos y esto ha contribuido al deterioro de esta. Esto se logró evidenciar porque en una de sus esquinas la estructura debido al socavamiento del agua que pasa al rededor esta sin pie de apoyo ocasionando que al llenado de la PTAR se genere más presión en dicha esquina y ocasione fisuramientos.

La filtración de esta agua por los fisuramientos, más las aguas lluvias, incluso el agua que sale de la PTAR generan erosión del terreno y desprendimiento de la barranca al no contar con drenajes en buen estado que recolecten estas aguas, se crean encharcamientos, además la tierra desprendida y la excesiva vegetación impiden la circulación del agua hasta la quebrada el Pital, lo cual ocasiona malos olores y el deterioro de la PTAR.



Figura 15. Estado de la PTAR

4.2.2. CAMBIO DE LA TUBERÍA

Se logra evidenciar el cambio de tubería que recoge las aguas residuales generadas por la institución hasta la PTAR. Dicho cambio fue realizado ya que se contaba con una tubería deteriorada de gres y esta fue remplazada por una de 12 pulgadas en pvc corrugado (Figura 16) y así colocar en funcionamiento la PTAR ya que en años anteriores no estaba en uso y las aguas residuales pasaban directamente a la quebrada el Pital o se perdía por infiltración.



Figura 16. Cambio de tubería.

4.2.3. AGUAS COMBINADAS

Las aguas combinadas domesticas contiene diversos compuestos potencialmente dañinos, la descarga de estas aguas crudas en un ambiente acuático puede causar daños considerables a

muchas formas de vida, debido a cambios en los factores abiótico y bióticos. De igual manera la actividad de verter aguas sin tratar son una de las causas de las enfermedades de gran riesgo para el ser humano. La planta de agua residual presenta la característica de recolectar las aguas lluvias y aguas generadas por la comunidad estudiantil proceso que no es favorable ya que no reciben un tratamiento adecuado porque su tiempo de retención es mínimo.



Figura 17. Aguas combinadas

4.2.4. FUNCIONAMIENTO CON LA NUEVA TUBERÍA

El cambio de la nueva tubería fue realizado en el mes de febrero del 2019 con el propósito de que el agua residual generada por la institución ingresara en su totalidad a la PTAR e impedir la infiltración de las aguas residuales. Sin embargo el trabajo realizado presenta fallas a los 30 días de su instalación, pues la nueva tubería que ingreso a la PTAR no tuvo el respectivo curado y un mes después permitió la salida de una parte del agua antes de recibir el tratamiento.



Figura 18. Entrada a la PTAR

4.2.5. DESCARGA DE LA PTAR A LA QUEBRADA EL PITAL

El agua residual que sale de la PTAR recorre por un drenaje natural de 82.8m hasta unirse con la quebrada el Pital, en este recorrido el agua residual atraviesa un guadual el cual desempeña un papel muy importante en la conservación de las fuentes hídricas por su capacidad para regularlas, ya que su sistema radicular extrae el agua del suelo, la retiene y almacena, para luego liberarla en la medida en que el suelo la requiere o su actividad fisiológica lo necesita. Además, actúa como regulador de contaminación al disminuir el caudal y sirve de filtro para continuar descontaminando el agua que será vertida a la quebrada el Pital, en el recorrido el agua residual se infiltra en el suelo de tal forma que no se ve su recorrido en un trayecto de 14m.



Figura 19. Descarga del agua residual a la quebrada El Pital.

4.3. AFOROS PARA EL CÁLCULO DEL CAUDAL

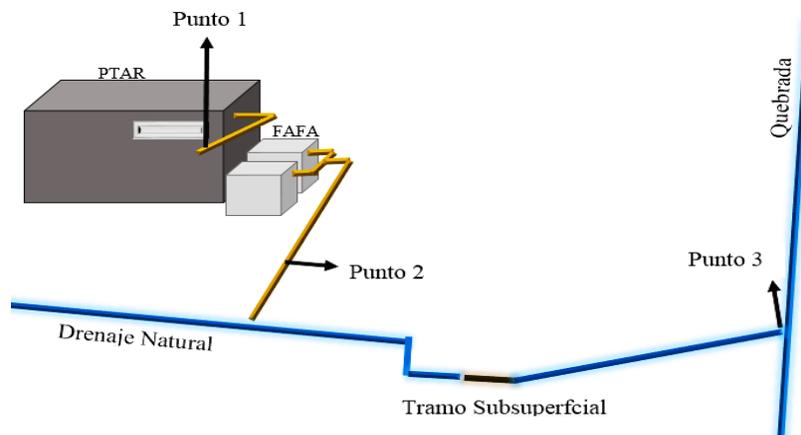


Figura 20. Asignación de puntos de muestreo.

4.3.1. MEDICIÓN DE CAUDAL DE LA PTAR (Punto 1)

El cálculo del caudal en la PTAR se realizó por la salida lateral de la misma, ya que el diseño que presenta la estructura impide tomar la medición total del agua residual que sale después de recibir el tratamiento por lo que se analiza solo una parte de esta, se tomó el tiempo que tardó en llenar un beaker de volumen conocido el cual fue de 500 ml para el primer muestreo y de 1000 ml para el segundo.

Para la toma de tiempo se realizó una prueba con cinco ensayos, con el fin de obtener un dato promedio de mayor precisión, los datos se resumen en la tabla 6.

Tabla 6. Tiempo promedio de la salida de la PTAR.

Volumen (ml)	Tiempo (Seg)	Tiempo Promedio (Seg)	Volumen (ml)	Tiempo (Seg)	Tiempo Promedio (Seg)
PRIMER MUESTREO 500	6,42	6,74	SEGUNDO MUESTREO 1000	8,18	8,306
	6,83			8,51	
	7,02			8,43	
	6,57			8,19	
	6,88			8,22	

- **Caudal 1**

$$Q = \frac{0.5l}{6.74seg} = \frac{0.074l}{seg} * \frac{1m^3}{1000l} = \frac{0.000074m^3}{seg} * \frac{1000000 ml}{1m^3} = 74 \frac{ml}{seg}$$

- **Caudal 2**

$$Q = \frac{1l}{8.37seg} = \frac{0.12l}{seg} * \frac{1m^3}{1000l} = \frac{0.00012m^3}{seg} * \frac{1000000 ml}{1m^3} = 120 \frac{ml}{seg}$$

Los caudales calculados en base a los dos muestreos realizados fueron de 74 ml/seg y 120 ml/seg siendo el del segundo muestreo mayor por las condiciones climáticas que se presentaban en la temporada, ya que al no tener alcantarillados independientes para el agua lluvia y agua residual generada por la Universidad hace que todo se conduzca a la PTAR y sea por medio de esta la única manera en que se pueda evacuar.

4.3.2. CALCULO DEL CAUDAL DE LA PTAR + FILTRO (Punto 2)

Para este cálculo se empleó la misma metodología utilizada en el cálculo del caudal para la PTAR

Tabla 7. Tiempo promedio de la salida del filtro.

Volumen (ml)	Tiempo (Seg)	Tiempo Promedio (Seg)
500	63	64,60
	62	
	61	
	67	
	70	

$$Q = \frac{0.5l}{64.60seg} = \frac{0.00774l}{seg} * \frac{1m^3}{1000l} = \frac{0.00000774m^3}{seg} * \frac{1000000ml}{1m^3} = 7.74 \frac{ml}{seg}$$

El caudal que sale del filtro de guadua por la tubería de ½” es de 7.74 ml/seg, este muestreo solo se logró desarrollar una vez, ya que estos filtros con discos de guadua fueron instalados en el año 2017 y desde su instalación no han recibido mantenimiento alguno. Al ser el alcantarillado combinado sin ningún tipo de rejillas, los filtros descubiertos y además época de abundantes lluvias permiten el paso de materiales sólidos, los cuales terminaron taponando las tuberías e impidiendo el filtrado del agua.



Figura 21. Filtros de guadua

4.3.3. CAUDAL DE LA QUEBRADA PITAL

El aforo de la quebrada el Pital fue realizado en la zona sur, aledaña a la Universidad Surcolombiana sede Pitalito- Huila con coordenadas latitud $1^{\circ} 49' 45.91''$ N y longitud $76^{\circ} 2' 32.93''$ O.



Figura 22. Aforo de la quebrada

En el procedimiento de aforo para determinar el caudal de la quebrada se tomó la siguiente información que se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Tiempo promedio total del aforo a la quebrada el Pital.

Sección	Tiempo (Seg)	Tiempo Promedio (Seg)
1	9,65	9,72
	9,6	
	9,91	
2	7,73	7,66
	7,46	
	7,78	
3	7,74	7,21
	6,1	
	7,79	
Tiempo Promedio Total (seg)		8,2

Para el cálculo de áreas por sección y el área total, se realizó una serie de cortes, donde se requería el área de la sección transversal del recorrido que hicieron los flotadores, por lo que se promedió las distancias y profundidades en las dos marcas, los datos se muestran en tabla 9.

Tabla 9. Profundidades promedio de la quebrada el Pital.

Tramo	Distancia (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad Promedio (cm)
1	0	60	43
2		26	
1	110	48	36,5
2		25	
1	220	35	29
2		23	
1	330	17	11,5
2		6	

La información de la tabla 9 permite graficar el perfil de la sección transversal de la quebrada, donde se observa cada tramo correspondiente a una distancia de 110cm cm cada una, tomada desde un costado del cauce. Al obtener el perfil (Figura 23) se calculó el área de cada sección, para este procedimiento se dividió el perfil en tres secciones para facilitar su cálculo y finalmente poder hallar el área total.

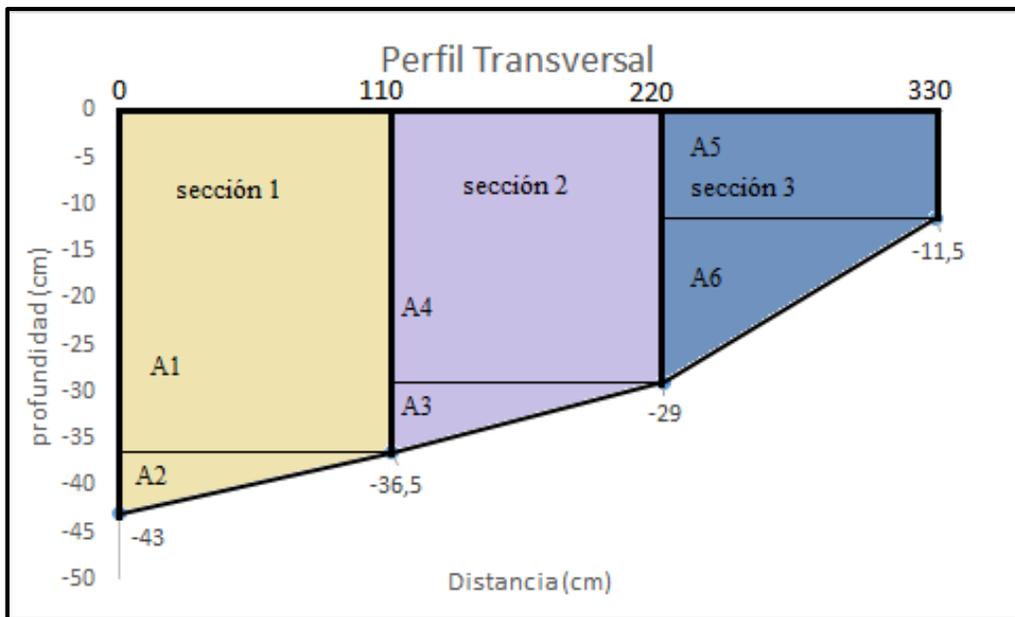
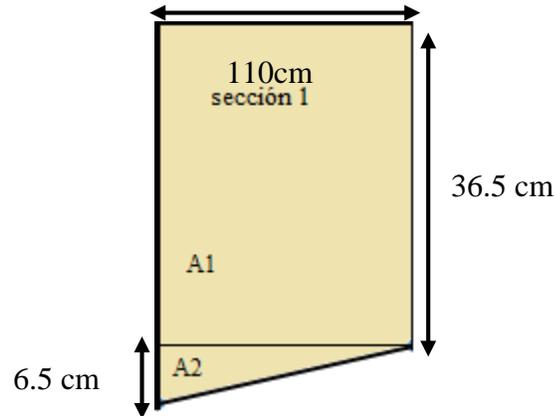


Figura 23. Perfil transversal de la quebrada el Pital.

- **Calculo del área**

➤ Área de la sección 1:

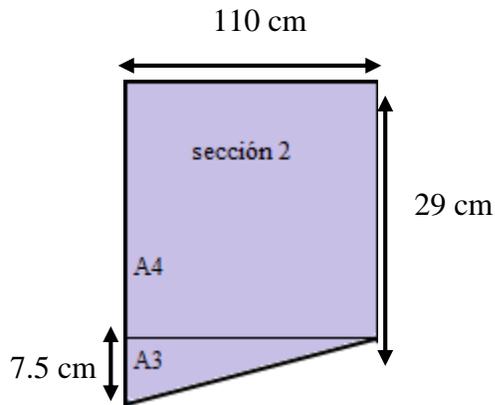


$$A_1 = b * h = 110cm * 36.5cm = 4015cm^2$$

$$A_2 = \frac{b * h}{2} = \frac{110cm * 6.5cm}{2} = 357.5cm^2$$

$$\text{Área de la sección 1} = A_1 + A_2 = 4015cm^2 + 357.5cm^2 = 4372.5cm^2$$

➤ Área de la sección 2

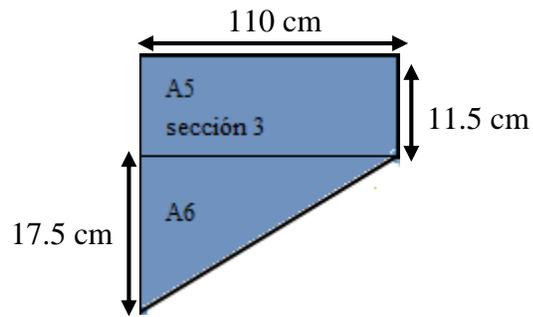


$$A_3 = b * h = 110cm * 29cm = 3190cm^2$$

$$A_4 = \frac{b * h}{2} = \frac{110cm * 7.5cm}{2} = 412.5cm^2$$

$$\text{Área de la sección 2} = A_3 + A_4 = 3190cm^2 + 412.5cm^2 = 3602.5cm^2$$

- Área de la sección 3



$$A_5 = b * h = 110cm * 11.5cm = 1265cm^2$$

$$A_6 = \frac{b * h}{2} = \frac{110cm * 17.5cm}{2} = 962.5cm^2$$

$$\text{Área de la sección 3} = A_5 + A_6 = 1265cm^2 + 962.5cm^2 = 2227.5cm^2$$

- Área total de la sección transversal

$$A_t = \text{Área de la sección 1} + \text{Área de la sección 2} + \text{Área de la sección 3}$$

$$A_t = 4372.5cm^2 + 3602.5cm^2 + 2227.5cm^2 = 10202.5cm^2 = 1.02025m^2$$

En la tabla 8 se observa el tiempo promedio calculado por el método de flotadores, el valor es 8,2 segundos, con este tiempo se calculó la velocidad para el tramo de la sección de cuatro metros

- Calculo de la velocidad superficial

$$V_s = \frac{\text{distancia}(m)}{\text{tiempo}(seg)} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$V_s = \frac{4m}{8.2seg} = 0.49 \frac{m}{seg}$$

- Calculo de la velocidad media

Para el cálculo de la velocidad media se tiene en cuenta un coeficiente de corrección

Tabla 10. Valores del coeficiente de corrección.

Tipo de fluente	Factor K
Canal en concreto profundidad > 15cm	0.8
Canal de tierra profundidad > 15cm	0.7
Ríos o riachuelos profundidad > 15cm	0.5
Ríos o canales de tierra profundidad < 15cm	0.25 – 0.5

Fuente. (Schilardi, 2017)

$$V_m = V_s * K$$

$$V_m = 0.49 \frac{m}{seg} * 0.5$$

$$V_m = 0.245 \frac{m}{seg}$$

- Calculo del caudal de la quebrada el Pital

$$Q = \frac{0.245m}{seg} * 1.02025m^2 = 0.25 \frac{m^3}{seg}$$

El caudal calculado anteriormente permitió realizar la comparación de los caudales anuales de los periodos 2016 -2019. La información del 2016 hasta 2018-2 fue recopilada de trabajos presentados en asignaturas como hidroclimatología y cuencas hidrográficas donde se implementó la misma metodología.

Tabla 11. Periodos de aforos a la quebrada el Pital.

Periodo	Fecha	Caudal
		(m ³ /Seg)
2016-1	14-abr	0,01381
2017-1	02-may	0,188
2018-1	08-may	0,101
2018-2	05-sep	0,21
2019-1	04-jun	0,25

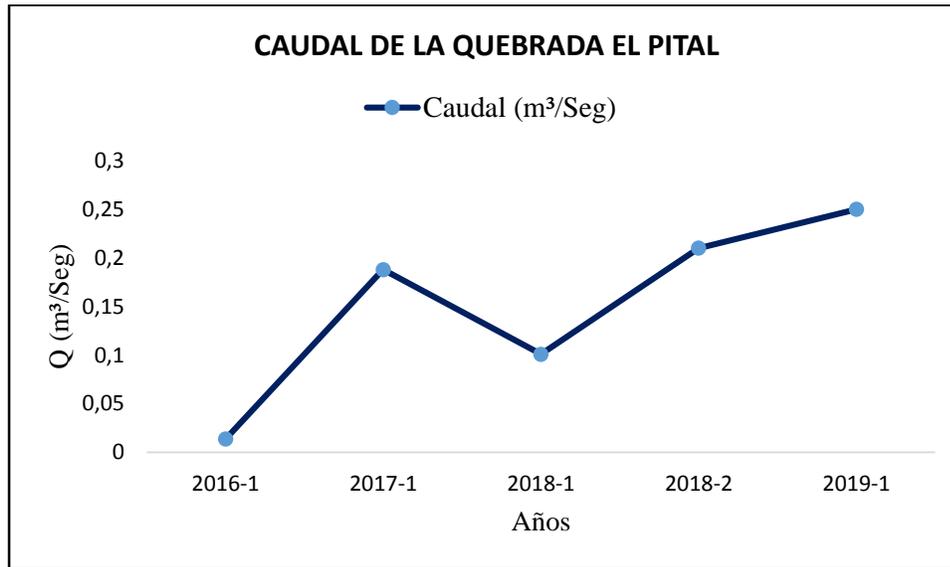
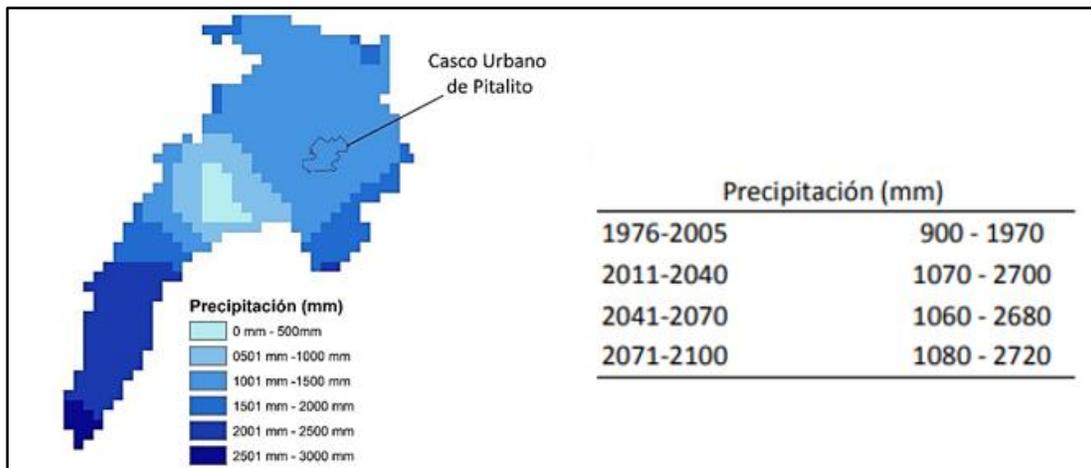


Figura 24. Caudal de la quebrada El Pital en los periodos 2016-2019.

La (Figura 24) muestra el crecimiento o decrecimiento de los últimos 4 años con respecto a la variación del caudal de la quebrada el Pital. Siendo el año 2016 el caudal más bajo y el año 2019 el que mayor caudal presente.



Fuente. (Silva, *et al.* 2015).

Figura 25. Precipitación de Pitalito.

El instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia (IDEAM) es la autoridad nacional que ha desarrollado los escenarios de cambios en la precipitación en Colombia hasta el 2100, con base a un periodo de referencia entre 1976 y 2005, la precipitación promedio

anual de Pitalito fue de 1400mm, sobre el periodo de referencia. En Pitalito, el aumento en precipitación será del 28%, 27% y 29% al 2040, 2070 y 2100, respectivamente (Silva, *et al.* 2015).

Esta información generada por el IDEAM permite determinar que el caudal que tendrá la quebrada el Pital cada vez será mayor por las precipitaciones que se darán en la zona en los siguientes años, sin embargo otro factor de gran importancia en el aumento del caudal de la quebrada es el crecimiento poblacional de la institución como del corregimiento de Charguayaco los cuales utilizan la quebrada como vertedero de sus agua residuales.

4.4. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LA QUEBRADA EL PITAL

Los muestreos fueron realizados en:

- Punto 1: Salida de la PTAR
- Punto 2: salida de los dos tratamientos con guadua
- Punto 3. Descarga a la quebrada el Pital

Tabla 12. Caracterización del agua residual afluyente.

Datos del afluyente		
Parámetro	Unidades	Afluyente
Conductividad (CE)	uS/cm	301,81
Demanda Biológica De Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	150,68
Fósforo Total (P)	mg PO ₄ -P/L	4,7
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	mg/L	284,0
Potasio Total(K)	mg/L	14,7
Sodio Total (Na)	mg/L	15,3
Nitrógeno Total (N)	mg/L	37,9

Fuente. (Almario & Ortega, 2018).

La tabla 12 presenta los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluyente que fueron requeridos en el presente estudio, la DBO₅, fósforo total, sólidos suspendidos, conductividad y nitrógeno total fueron analizados por el laboratorio Diagnosticamos de la ciudad de Neiva y tomados del trabajo de Almario & Ortega (2018). Los parámetros de sodio, potasio se tomaron a partir de la metodología de Granada (1997).

Tabla 13. Caracterización de las AR de la PTAR de la Universidad Surcolombiana del municipio de Pitalito Huila.

PARÁMETRO	UNIDAD	1 Muestreo (28 de Marzo)			2 Muestreo (4 de Junio)		
		PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 1	PUNTO O 2	PUNTO O 3
Saturación de oxígeno	%	--	--	111,4	--	--	98,5
Alcalinidad total	mgCaCO3/L	--	--	63,2	--	--	35,7
Conductividad	uS/cm	706,38	--	108,97	285,39	--	89,99
Demanda biológica de oxígeno	mg o2 /L	175,5	141,1	< 10	24	--	<10
Dureza total	mgCaCO3/L	--	--	31,68	--	--	20
Fósforo total	mg PO4-P/L	1,33	0,57	< 0,5	1,5	--	0,73
Cófiliformes totales	NMP/100ml muestra	--	--	3500	--	--	2400
Sólidos suspendidos totales	mg/L	31,0	35	16,0	22,5	--	13,5
Potasio total	mg/L	21,9	--	--	9,42	--	--
Sodio total	mg/L	41,4	--	--	15,6	--	--
Nitrógeno total	mg/L	31,2	26,7	--	16,4	--	--
Cófiliformes fecales	NMP	--	240 x 100	--	--	--	--

-- no fueron evaluados.

La tabla 13 presenta los valores de los 12 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados el 28 de marzo para agua residual de la salida de la PTAR, salida de los FAFAs e índices de contaminación en la descarga a la quebrada. El 4 de junio para agua residual de la salida de la PTAR e índices de contaminación en la descarga a la quebrada, no se logró analizar el punto tres porque este estaba tapado.

4.4.1. CÁLCULOS DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN

Para el porcentaje de remoción de la conductividad se utilizó la ecuación tres, utilizando el afluente de literatura y el efluente del análisis realizado.

- **Remoción para conductividad**

$$E_f = \frac{301.81 - 706,38}{301.81} * 100 = -134.05 \mu\text{S/cm}$$

Tabla 14. Porcentaje de remoción entre afluente y salida de PTAR.

PUNTO 1						
Parámetro	Unidades	Afluente	Efluente Análisis 1	% De Remoción	Efluente Análisis 2	% De Remoción
Conductividad	uS/cm	301,81	706,38	-134,0	285,39	5,4
Demanda Biológica De Oxígeno	mg o2 /L	150,68	175,5	-16,5	24	84,1
Fósforo Total (P)	mg PO4-P/L	4,7	1,33	71,7	1,5	68,1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	284,0	31,0	89,1	22,5	92,1
Potasio Total	mg/L	14,7	21,9	-49,0	9,42	35,9
Sodio Total	mg/L	15,3	41,4	-170,6	15,6	-2,0
Nitrógeno Total	mg/L	37,9	31,2	17,7	16,4	56,7

La tabla subtitulada punto uno muestra el porcentaje de remoción entre el afluente y el efluente que hace referencia a la salida de la PTAR. Donde se logra analizar una remoción de fósforo, sólidos suspendidos y nitrógeno sin embargo también se observa un aumento de la conductividad, demanda biológica, potasio y sodio para el primer análisis. Para el segundo análisis solo hay un aumento de sodio total los otros parámetros tuvieron porcentaje de remoción. Esta diferencia de resultados se pudo dar por el periodo del muestreo y las condiciones que se presentaban, el primer muestreo se realizó en época seca donde a la planta solo llegaba el agua residual de la universidad, el segundo muestreo se realizó en época de abundantes lluvias, al ser alcantarillado combinado ocasionaba que el tiempo de retención fuera menor y la cantidad de agua para diluirse los parámetros fuera mayor.

Tabla 15. Porcentaje de remoción entre salida de PTAR y filtro de guadua.

PUNTO 2				
Parámetro	Unidades	Afluente (Salida PTAR)	Efluente (filtro de guadua)	% De Remoción
Demanda Biológica De Oxígeno	mg O2 /L	175,5	141,1	19,6
Fósforo Total	mg PO4-P/L	1,33	0,57	57,1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	31,0	35,0	-12,9
Nitrógeno Total	mg/L	31,2	26,7	14,4

El agua residual que sale de la PTAR por un costado es el abastecimiento del tratamiento con discos de guadua, los valores del punto 1 se utilizan como afluente para calcular la eficiencia de remoción de los filtros, donde se obtuvo un aumento de los sólidos suspendidos totales, este aumento se logró generar porque el tratamiento no recibe ningún mantenimiento y no cuenta con un sistema de aislamiento para materiales sólidos del medio que puedan caer en su interior, es por esta razón que el segundo muestreo no fue posible realizarse ya que el sistema de tubería de los FAFA se encontraban tapados por las abundantes lluvias que se presentaban y la cantidad de material sólido que llegaban a los filtros.

Tabla 16. Porcentaje de remoción entre salida de PTAR y descarga quebrada El Pital.

PUNTO 3							
Parámetro	Unidades	Afluente (salida PTAR)	Efluente Análisis 1	% de Remoción	Afluente (salida PTAR)	Efluente Análisis 2	% de Remoción
Conductividad	uS/cm	706,38	108,97	84,6	285,39	89,99	68,5
DBO5	mg o2 /L	175,5	9	94,9	24	9	62,5
Fósforo total	mg PO4-P/L	1,33	0,4	69,9	1,5	0,73	51,3
SST	mg/L	31,0	16,0	48,4	22,5	13,5	40,0

La tabla subtitulada punto tres muestra el porcentaje de remoción entre el afluente que es la salida de la PTAR y el efluente que hace referencia a la descarga en la quebrada el Pital para cada periodo de muestra. Donde se logra inferir que la concentración de cada parámetro al salir de la PTAR disminuirá por el recorrido que realiza antes de desembocar a la quebrada y al estar diluida con más cantidad de agua hace que se obtengan porcentajes de remoción del 40% al 95 % sin embargo cabe denotar que el primer muestreo presento concentración de remoción mayor cuando el caudal de la quebrada era menor con respecto al segundo muestreo el cual se caracterizó por ser un periodo con bastantes lluvias, es preciso conjeturar que la quebrada presentaba un alto contenido en los parámetros contaminantes antes del vertimiento sumado con las aguas lluvias recolectadas por la Universidad.

- **Temperatura (°C)**

Este parámetro se tomó en el laboratorio de agro industria de la Universidad Surcolombiana el cual presentó un valor promedio de 21 a 24°C, valor que se encuentra en el intervalo mesofílico (20-40°C) es decir, favorece el desarrollo y desempeño de los microorganismos encargados de la

degradación de la materia orgánica. Además este valor es óptimo según lo establecido en la norma de vertimientos de agua residual.

Tabla 17. Temperatura promedio del agua y ambiente.

Muestra	Temperatura promedio del agua (°C)			Temperatura ambiente (°C)
	punto 1	punto 2	punto 3	
Muestreo 1	23,75	24	21,5	22
Muestreo 2	23	--	21	20,5
Promedio	23,375	24	21,25	21,25

- **Potencial de Hidrógeno (pH)**

Este parámetro presentó una diferencia muy mínima de una muestra a la otra, el valor del parámetro óptimo para el proceso anaerobio se encuentra alrededor de 7, los valores obtenidos en la prueba realizada en el laboratorio de la Universidad Surcolombiana Sede Pitalito están muy cercanos a el valor óptimo y a su vez se encuentra en el intervalo de 6.5 - 7.5, esto indica que no se está ocasionando la muerte de las bacterias metanogénicas; estos valores de pH también se encuentran en el rango de 6.8 y 7.4, lo que indica que se está llevando a cabo la producción de gas metano; Según Conagua (2016) las bacterias formadoras de metano se inhiben en pH menor a 6, que puede ser ocasionado por una cantidad elevada de ácidos grasos volátiles acumulados en el reactor.

Tabla 18. Potencial de hidrógeno para cada punto.

Muestra	pH		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Muestreo 1	7,078	7,167	7,358
Muestreo 2	6,8	--	7,1
Promedio	6,939	7,167	7,229

4.5.CÁLCULOS DE ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN (ICO)

En base a los resultados obtenidos y mostrados en la tabla 13 se realizó los cálculos de los diferentes índices de contaminación que se muestran en la tabla 19 los cuales se remplazaron en las ecuaciones para el cálculo de ICO y obtener la clasificación de la contaminación del agua residual para el día 28 de marzo y 4 de junio que se muestra en la tabla 20.

Tabla 19. Calculo de Índices.

Parámetros Ii	28-marzo	04-junio
I conductividad	0,29511502	0,228360138
I Dureza	0,003261781	0
I Alcalinidad	0,066	0
I DBO5	0,617969757	0,617969757
I Cóliformes T	0,544678105	0,617969757
I % Oxígeno	0	0,015

A partir del cálculo de los índices se remplazaron en las respectivas fórmulas para encontrar el índice ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO y así poder clasificar el rango de contaminación que se encontraba en la quebrada el Pital.

Tabla 20. Resultados de los índices de contaminación (ICO).

28 De Marzo Punto Tres (3)				
Índice	ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOTRO
Resultado	0,121458934	0,3875493	0,028	< 0,5
Grado	muy baja	baja	muy baja	Eutrófico
Rango	0 - 0,2	0,2 - 0,4	0 - 0,2	0,02 - 1
Color	Azul	verde	Azul	**
4 De Junio Punto Tres (3)				
Índice	ICOMI	ICOMO	ICOSUS	ICOTRO
Resultado	0,076120046	0,361962684	0,0205	0,73
Grado	muy baja	baja	muy baja	Eutrófico
Rango	0 - 0,2	0,2 - 0,4	0 - 0,2	0,02 - 1
Color	Azul	verde	Azul	**

** Para color no hay clasificación ICOTRO

Se calcula cada índice según las ecuaciones de referencia a partir de los dos muestreos realizados, el resultado de cada ecuación arroja un ICOMI de 0.1 lo cual indica que su grado de contaminación por mineralización o cantidad de sólidos disueltos en el agua es muy bajo encontrándose en el rango de 0 a 0.2. Para ICOMO el resultado fue de 0.4 indicando que su carga contaminante de material orgánico es de grado bajo en un rango de 0.2 a 0.4. Para ICOSUS se obtuvo un valor de 0.03 y 0.02 indicando que su grado de contaminación por sólidos de alta densidad suspendidos en el cuerpo hídrico es de grado bajo ya que se encuentran en el rango 0 a 0.2.

El índice ICOTRO el cual muestra la concentración de fósforo de 0.4 y 0.73 en cada análisis encontrándose en el grado eutrófico rango 0.02 a 1. Este grado eutrófico indica que este tipo de agua residual se caracteriza por realizar un proceso natural y/o antropogénico que consiste en el

enriquecimiento con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas, las principales causas de esta agua en estado eutrófico generalmente es ocasionada por el aumento de la cantidad de fósforos y nitratos en los vertidos, el uso de detergentes y el vertimiento de desechos agrícolas o ganaderos.

La eutrofización es uno de los fenómenos más frecuentes. Se define como un proceso de deterioro de la calidad del recurso, se origina por el enriquecimiento de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, condicionando la utilización de los mismos y ejerciendo grandes impactos ecológicos, sanitarios y económicos a escala regional Ledesma y Bonansea (2013). Aunque los otros valores de índices no generaron una señal de alerta no indica que se esté realizando un proceso adecuado o que la contaminación que genera la institución sea muy baja, ya que si se realizará los análisis ICO al drenaje recolector donde se hace la descarga de la PTAR antes de realizar el recorrido de 82.8 metros, atravesar el gradual e infiltrarse por un tramo de catorce metros los resultados serían muy distintos. Parámetros analizados en el punto uno como la conductividad la demanda biológica de oxígeno el fósforo total indican que no se está en grado muy bajo si no una Calificación de contaminación muy alta según la tabla 4. Es decir que la remoción de contaminantes en el agua residual se está haciendo en el recorrido después de haber recibido su tratamiento.

4.6. REVISIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA PTAR ACTUAL EN LOS PERIODOS 2010-2019 Y REDISEÑO CON TANQUE SÉPTICO PARA 20 AÑOS

La tabla 21 muestra la población diurna con un periodo de ocho horas diarias y nocturnas con un periodo de 4 horas diarias, sin embargo en las dos jornadas no permanecen los estudiantes y plantel administrativo constantes, por lo que se asume una intensidad horaria de 6 horas diarias para las dos jornadas. A partir de la población en cada año y con un periodo de 6 horas diarias se realiza el cálculo de porcentaje de crecimiento entre cada año encontrando un promedio final entre los periodos 2010 – 2019 de 14,4%.

Tabla 21. Población diurna y nocturna con porcentaje de crecimiento en los periodos 2010-2019.

Año	Diurno 8h/día	Nocturno 3h/día	Total 6h/día	% Crecimiento
2010-1	62	367	429	0,0
2011-1	76	432	508	18,4
2012-1	99	509	608	19,7
2013-1	114	530	644	5,9
2014-1	274	537	811	25,9
2015-1	402	568	970	19,6
2016-1	531	614	1145	18,0
2017-1	656	651	1307	14,1
2018-1	775	624	1399	7,0
2019-1	780	628	1408	0,6
Promedio				14,4

- **Cantidad de habitantes**

Para el cálculo de los habitantes ocasionales se toma como partida la población del año 2019 multiplicada por las 6 horas y los 6 días que son en los que hay actividad en la universidad dividida por las 24 horas que tiene un día y los 7 días de la semana.

$$Hab_{ocasionales} = 1408 \text{ hab} * \frac{6 \text{ hr}}{24 \text{ hr}} * \frac{6 \text{ dias}}{7 \text{ dias}} = \mathbf{302}$$

Los habitantes permanentes hacen referencia a las personas de seguridad en la institución que hasta la fecha cuenta con dos celadores.

$$habitantes_T = hab_{ocasionales} + hab_{permanentes}$$

$$habitantes_T = 302 + 2 = \mathbf{304}$$

- **Cálculos para determinar población futura**

Se asume $n = 20$ años ya que (Granada, 1997) afirma que el periodo de diseño en general para conductos y estructuras adicionales es de veinte años.

$$pf = Pa * (1 + r)^n$$

Ecuación 14

$$pf = 304 * (1 + 0,144)^{20}$$

$$pf = 4481.19 \text{ habitantes}$$

Donde:

Pa = población actual

r = tasa de crecimiento

n = periodo de diseño en años

- **Cálculos para determinar el caudal**

El coeficiente de retorno se toma en base a lo mencionado en el libro Granada (1997) el cual indica un rango del 80 % al 90 % de la dotación. Para el cálculo de la dotación se tuvo en cuenta la información suministrada por la empresa EMPITALITO ESP.

$$Q_{AR} = d * CR * pf$$

Ecuación 15

$$Q_{AR} = \frac{150L}{\text{hab} - \text{dia}} * 0.85 * 4482 \text{ Hab}$$

$$Q_{AR} = 571455 \frac{L}{\text{dia}}$$

Donde:

Q_{AR} = caudal de aguas residuales

d = dotación

CR = coeficiente de retorno

pf = población futura

- **Caudal mayorado (caudal de diseño)**

Según la RAS (2016) el factor de mayoración debe ser $C = 1.4$

$$Q_D = Q_{AR} * C$$

Ecuación 16

$$Q_D = 571455 \frac{L}{\text{dia}} * 1.4$$

$$Q_D = 800037 \frac{L}{dia} * \frac{1 dia}{86400 seg}$$

$$Q_D = 9.26 \frac{L}{seg}$$

- **Calculo para determinar la capacidad útil del tanque (volumen efectivo)**

Granada (1997) afirma en su libro que el tiempo de retención hidráulica es de 12 – 24 horas por lo tanto se asume un valor para el cálculo de el volumen efectivo del tanque para las aguas residuales de 24 horas.

$$V_e = Q * TRH \quad \text{Ecuación 17}$$

$$V_e = 800037 \frac{L}{dia} * 1 dia$$

$$V_e = 800037 \text{ litros}$$

- **Cálculos para determinar el volumen del lodos**

La tasa de acumulación de lodos deberá establecerse como 40 L / hab – año como una aproximación razonable, el periodo de remoción de lodos o limpieza del tanque generalmente se estima entre 2 y 5 años (Granada, 1997).

$$V_L = A_c * hab * T \quad \text{Ecuación 18}$$

$$V_L = \frac{40L}{hab - año} * 4482 hab * 2 años$$

$$V_L = 358560 \text{ litros}$$

A_c = acumulación de lodos (40 L / hab-año)
 t = período entre limpiezas (2 años)

- **Calculo para determinar el volumen de diseño**

Para el cálculo de volumen de diseño se realizó la suma del volumen efectivo y el volumen de lodos.

$$V_d = V_e + V_L \quad \text{Ecuación 19}$$

$$V_d = 800037 \text{ litros} + 358560 \text{ litros}$$

$$V_d = 1'158.597 \text{ litros}$$

- Cálculo de las dos primeras unidades

Tabla 22. Valores establecidos de diseño.

DATOS ESTABLECIDOS	VALOR
Profundidad del líquido	1.2 m < h > 2.0 m
Borde libre	30 cm
Relación largo: ancho	2:1 a 4:1
Longitud del tanque séptico	L
Longitud del compartimento de sedimentación	$L_1 = 2L/3$
Longitud del compartimento de digestión	$L_2 = L/3$

Fuente. (Granada, 1997).

- Calculo del ancho del tanque

Se toma un $H = 2m$ y un $L = 2a$

$$V_d = L * A * H \quad \text{Ecuación 20}$$

$$1'158.597 \text{ litros} * \frac{1m^3}{1000 l} = 2A * A * 2m$$

$$A^2 = \frac{1158.6 m^3}{4m}$$

$$A = \sqrt{\frac{1158.6 m^3}{4m}} = 17.02 m = \mathbf{18m}$$

- Calculo del largo del tanque

$$L = \frac{V_d}{A*y} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$L = \frac{1158.6 m^3}{18 m * 2 m} = 32.2 m = \mathbf{33 m}$$

- Calculo de los compartimentos del tanque

$$L_1 = \frac{2}{3}L \text{ y } L_2 = \frac{1}{3}L \quad \text{Ecuación 22}$$

L_1 =Longitud del compartimento de sedimentación

L_2 = Longitud del compartimento de digestión

$$L_1 = \frac{2}{3}(33m) = 22 m$$

$$L_2 = \frac{1}{3}(33m) = 11 m$$

- **Calculo del borde libre con el 25% de la altura**

$$B_l = 0,25 * H$$

Ecuación 23

$$Bl = 0,25 * 2.0m = 0.5 m$$

Tabla 23. Calculo de dimensionamiento con un periodo de 20 años con tiempo de retención hidráulico de un día y medio día.

Año	población futura	TRH (día)	Qd (L/día)	Ve (litros)	Vl (litros)	Vd (litros)
2039 -1	4481.19	1	800037,00	800037	358560	1.158.597,0
2039-1	4481.19	0,5	800037,00	400018,50	358560	758.578,50
Año	Ancho (m)	largo (m)	L. sedimento	L. digestión	Vd. (m3)	BL (m)
2039 -1	18	33	22	11	1188	0,5
2039-1	14	27	18	9	756	0,5
Actual	2	8	5,3	2,7	32	0,5

Para el año 2039 con un porcentaje de crecimiento promedio de 14.4% se requerirá un volumen de 1188 m³ y 756 m³ para un tiempo de retención de 1 y ½ día respectivamente con una altura de dos metros.

- **Revisión de cumplimiento de la capacidad de la PTAR actual periodo 2010 -2019**

Para la revisión del cumplimiento de la PTAR por cada periodo se realizó a partir de la metodología anterior para el cálculo de 20 años. Manejando tiempos de retención de un día y medio y de esta manera encontrar las dimensiones que debería tener la PTAR con respecto al crecimiento poblacional.

Tabla 24. Calculo de eficiencia por periodo con tiempo de retención hidráulico un (1) día.

Año	Hab	Hab. oca	TRH (día)	Qd (L/día)	Ve (litros)	VI (litros)	Vd (litros)	Ancho (m)	largo (m)	L. 1	L. 2	BL (m)
2010-1	429	94	1	16779,0	16779	7520	24299	2,5	4,9	3,3	1,6	0,5
2011-1	508	111	1	19813,5	19813,5	8880	28693,5	2,7	5,4	3,6	1,8	0,5
2012-1	608	132	1	23562,0	23562	10560	34122	2,9	5,8	3,9	1,9	0,5
2013-1	644	140	1	24990,0	24990	11200	36190	3,0	6,0	4,0	2,0	0,5
2014-1	811	176	1	31416,0	31416	14080	45496	3,4	6,7	4,5	2,2	0,5
2015-1	970	210	1	37485,0	37485	16800	54285	3,7	7,4	4,9	2,5	0,5
2016-1	1145	247	1	44089,5	44089,5	19760	63849,5	4,0	8,0	5,3	2,7	0,5
2017-1	1307	282	1	50337,0	50337	22560	72897	4,3	8,5	5,7	2,8	0,5
2018-1	1399	302	1	53907,0	53907	24160	78067	4,4	8,8	5,9	2,9	0,5
2019-1	1408	304	1	54264,0	54264	24320	78584	4,4	8,9	5,9	3,0	0,5

La tabla 24 muestra las dimensiones que debe tener la PTAR para cada año con su volumen de diseño, para el año 2012 requirió un volumen de 34.122 litros, sin embargo la capacidad de la PTAR es de 32.000 litros por lo tanto desde este año dejó de funcionar eficientemente si se trabaja solo con tiempo de retención de un día.

Tabla 25. Calculo de eficiencia por periodo con tiempo de retención hidráulico medio (0.5) día.

Año	Hab	hab. Oca	TRH (día)	Qd (L/día)	Ve (litros)	VL (litros)	Vd (litros)	Ancho (m)	largo (m)	L. 1	L. 2	BL (m)
2010-1	429	94	0,5	16779,0	8389,5	7520	15909,5	2,0	4,0	2,7	1,3	0,5
2011-1	508	111	0,5	19813,5	9906,8	8880	18786,8	2,2	4,3	2,9	1,4	0,5
2012-1	608	132	0,5	23562,0	11781	10560	22341,0	2,4	4,7	3,2	1,6	0,5
2013-1	644	140	0,5	24990,0	12495	11200	23695,0	2,4	4,9	3,2	1,6	0,5
2014-1	811	176	0,5	31416,0	15708	14080	29788,0	2,7	5,5	3,6	1,8	0,5
2015-1	970	210	0,5	37485,0	18743	16800	35542,5	3,0	6,0	4,0	2,0	0,5
2016-1	1145	247	0,5	44089,5	22045	19760	41804,8	3,2	6,5	4,3	2,2	0,5
2017-1	1307	282	0,5	50337,0	25169	22560	47728,5	3,5	6,9	4,6	2,3	0,5
2018-1	1399	302	0,5	53907,0	26954	24160	51113,5	3,6	7,1	4,8	2,4	0,5
2019-1	1408	304	0,5	54264,0	27132	24320	51452,0	3,6	7,2	4,8	2,4	0,5

La tabla 25 muestra las dimensiones que debe tener la PTAR para cada año con su volumen de diseño para medio día de retención hidráulico, al ser este tiempo menor pero estando en el rango estipulado por Granada (1997) permite que la estructura funcione hasta el año 2014 con un volumen de diseño de 29.788 litros.

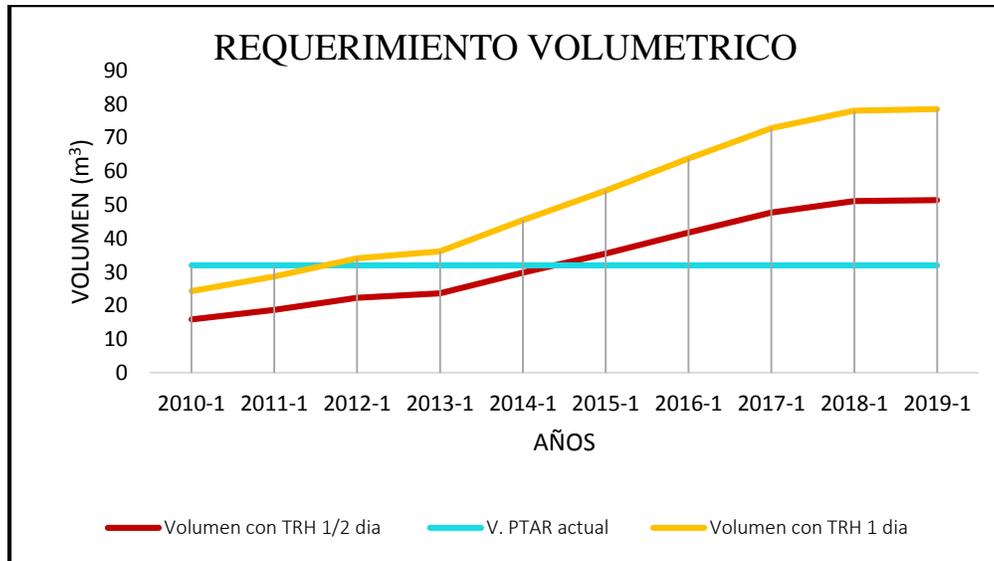


Figura 26. Requerimiento volumétrico con TRH 1 y ½ día vs volumen actual.

4.7. REDISEÑO DE LA (PTAR)

Para el diseño de la PTAR se realizó el dimensionamiento de un trampa grasas como tratamiento preliminar, un UASB y un FAFA los cuales son tratamientos secundarios muy eficientes que manejan remociones del 60 -70 SST, 65-80 DBO Y 60-80 BQO (RAS, 2000). Se tomaron estos dos tratamientos secundarios tomando como referencia la planta de Timaná y Campoalegre.

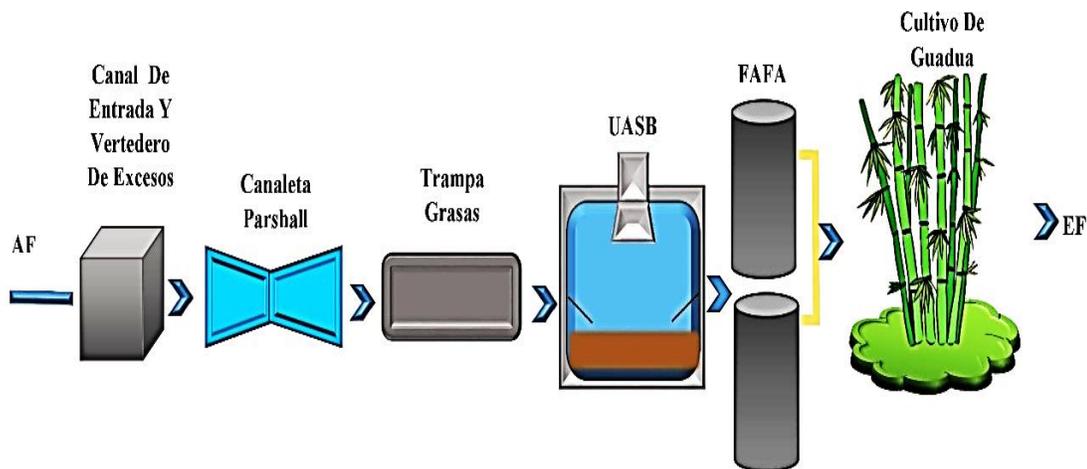


Figura 27. Diagrama de unidades del sistema.

Canal de entrada y vertedero de excesos

El canal de acceso o de entrada, es la estructura en la cual descarga la tubería del colector de conducción. Se propone un canal con sección rectangular y un vertederos de excesos a la entrada de la planta al cual se le deben hacer estudios de la calidad del agua del cuerpo receptor bajo condiciones de rebose, tanto de alcantarillado como del vertedero para garantizar que se cumpla con las normas de calidad exigidas por las entidades correspondientes. El vertedero se implementa para evacuar los excesos de agua que presente el afluente, y que se encuentra por encima del nivel de operación, buscando controlar el flujo en épocas de aguas altas. Si no se evacua el caudal excedente por continuidad, aumenta el régimen de velocidad generando ineficiencia en el tratamiento.

Canaleta Parshall

La implementación de la Canaleta Parshall en el rediseño de la PTAR es una unidad muy importante en cuanto a la medición de caudales, ésta es fundamental para determinar la carga hidráulica y orgánica en el proceso, un registro de caudales permite la evaluación de la eficiencia del tratamiento, la determinación de las infiltraciones y un cálculo aproximado de cuándo la PTAR llegará a su capacidad máxima de tratamiento. De acuerdo con las observaciones realizadas, se encontró que la canaleta Parshall es el medidor utilizado en la totalidad de las PTAR, varios autores recomiendan la canaleta Parshall prefabricada como el medidor más apropiado.

Trampa de grasa (Tratamiento Preliminar)

La trampa grasas consiste en un pequeño tanque o caja cubierta provista de una entrada sumergida y de una tubería de salida que parte cerca del fondo, tiene por objeto interceptar las grasas y jabones presentes en las aguas negras provenientes de cocinas y lavaderos para evitar que lleguen a el sistema de tratamiento y obstruya o impermeabilice los poros del medio filtrante e interfieran en la composición biológica disminuyendo la eficiencia del sistema. Según Granada (1997) el funcionamiento del trampa grasas se basa en el principio de que el líquido residual que va entrando es más caliente que el que contiene el tanque y se enfría al llegar a este, lo cual hace que la grasa se solidifique y flote sobre la superficie donde se extrae periódicamente para enterrarla, dichas trampas de grasa deben localizarse entre las tuberías que conducen las aguas residuales al sistema

de tratamiento ; el sitio debe ser de fácil acceso y sombreado para mantener las bajas temperaturas y facilitar la limpieza, puede estar construido en concreto u otro material como tubería de gres.

Según la RAS 2000 en su título E.3.3. El tanque debe tener 0.25m² de área por cada litro por segundo.

Para el cálculo del área del tanque se tomó el valor del caudal que se utilizó para los cálculos del UASB, el valor del caudal se tiene que expresar en litros/segundos.

$$Q_{medio} = \frac{23.81m^3}{hr} * \frac{1000l}{m^3} * \frac{1hr}{3600seg} = \frac{6,614l}{seg}$$

Se tomó el valor del caudal en litros/segundos para calcular el área del tanque y así hallar las dimensiones de la trampa grasas.

$$A_{tanque} = \frac{0.25m^2 * 6.614 \frac{l}{seg}}{1 \frac{l}{seg}} = 1.6535m^2$$

Para las dimensiones del tanque una relación ancho/longitud de (1:4), por lo tanto:

$$A_{tanque} = 4a * a$$

$$a^2 = \frac{A_{tanque}}{4} \text{ entonces } a = \sqrt{\frac{A_{tanque}}{4}}$$

$$a = \sqrt{\frac{1.6535m^2}{4}} = 0.643m$$

$$l = 4a \text{ entonces } l = 4 * 0.643m = 2.57m$$

Reajuste el área del tanque.

$$A_{tanque} = 2.57m * 0.643m = 1.65m^2$$

En la tabla 26 observamos los valores de los tiempos de retención hidráulicos de los trampa grasas según el caudal de entrada RAS (2000).

Tabla 26. Tiempo de retención trampa grasas.

Tiempo de retención (minutos)	Caudal de entrada (L/s)
3	2 - 9
4	10 - 19

Se tomó un tiempo de retención hidráulico de 3 minutos (180segundos), el valor del caudal esta entre (2-9) litros/segundo, para poder calcular la altura del tanque y así tener las dimensiones del mismo.

$$Vol = Q_{medio} * TRH$$

$$Vol = \frac{6,614l}{seg} * 180seg = 1190.52l * \frac{1m^3}{1000l} = \mathbf{1.19m^3}$$

Con el valor del volumen se calculó la altura del tanque de la siguiente manera:

$$Vol = A * h \text{ entonces } h = \frac{Vol}{A}$$

$$h = \frac{1.19m^3}{1.65m^2} = \mathbf{0.72m}$$

De esta manera se obtuvieron las dimensiones para el tanque trampa grasas las cuales se muestran en la tabla 27.

Tabla 27. Dimensionamiento de trampa grasas.

Dimensión	Volumen (m ³)	Área (m ²)	largo (m)	ancho (m)	alto (m)
Valor	1.19	1.65	2.57	0.643	0.72

En la tabla 28 se muestran las ventajas y desventajas de los dos tratamientos dimensionados

Tabla 28. Ventajas y desventajas de los dos tratamientos.

UASB		FAFA	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia en remoción de materia orgánica. • Mejora en las aguas residuales para las etapas subsecuentes • mayor concentración de bacterias que en otros sistemas, • Permite operar con velocidades de carga orgánica más elevadas • minimiza problemas de colmatación por sólidos • Aproximadamente el 99.9% del lodo en suspensión se sedimenta en el fondo del reactor. • Los lodos se conservan (sin alimentación) por largos períodos de tiempo. • Producción de metano. • Diseños muy compactos. • Bajo TRH • La purga se realizará aproximadamente tres años después de la fecha de arranque 	<ul style="list-style-type: none"> • El arranque del proceso es lento, pues consiste en mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento de la biomasa. • Su aplicación debe ser supervisada y puede requerir un pulimiento posterior de su efluente. • Baja eliminación de patógenos y nutrientes como fósforo y nitrógeno • Puede requerir tratamientos posteriores para alcanzar la normatividad. • Son susceptibles de perturbarse debido a sustancias tóxicas • producción de olores y gases corrosivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente a cambios de carga orgánica • Alta reducción de DBO y sólidos • Pueden producir energía por medio del biogás, el cual puede emplearse para calentar el reactor • El gas metano puede emplearse como gas combustible • Son un sistema compacto con bajos requerimientos de terreno • Baja producción de lodos • remoción de DQO y DBO de entre 65 y 75 por ciento • Larga vida útil • Bajo consumo de energía. • Diseños compactos 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere la instalación previa de una unidad de sedimentación en caso de no existir un tanque séptico, para evitar que el filtro se obstruya. • Baja reducción de patógenos y nutrientes • Alto riesgo de obstrucción, dependiendo del tratamiento primario • Su aplicación debe ser vigilada y puede requerir un pulimiento posterior de su efluente. • Puede requerir tratamientos posteriores para alcanzar la normatividad. • Son susceptibles de perturbarse debido a sustancias tóxicas • producción de olores y gases corrosivos. • costosos

4.7.1. CALCULO PARA EL REACTOR ANAEROBIO DE LECHO DE LODOS (UASB)

El tratamiento UASB, el cual se caracteriza por resistir mayor carga orgánica que tratamientos que realizan procesos aerobios, ocupando menor volumen y espacio, en este diseño actuaría como sedimentador primario y tratamiento secundario, ya que su diseño permite sedimentar la materia orgánica y los sólidos que contiene el agua residual por largos periodos, para ser posteriormente transformada y utilizada. Esta operación se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo o barro biológicamente activo en el reactor.

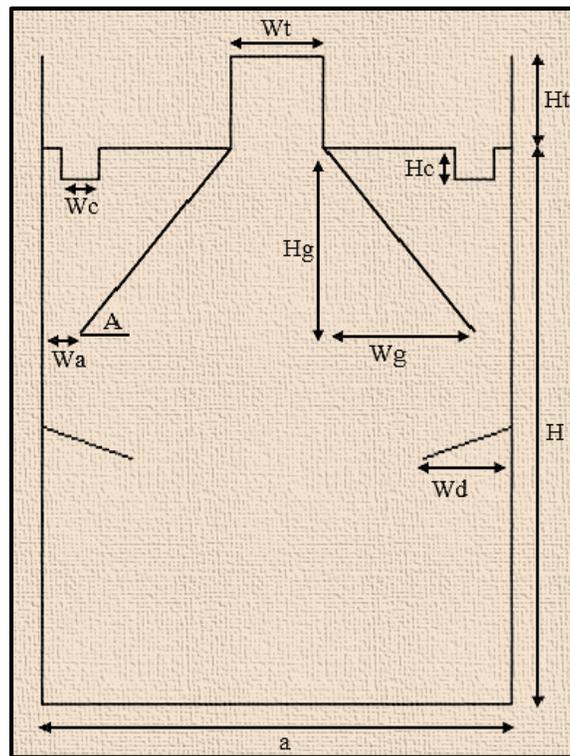


Figura 28. Vista lateral del UASB.

Primero calculamos la población futura, para este cálculo utilizamos los datos de la tabla 21 de la cual se toman los habitantes y el porcentaje de crecimiento.

- Calculo para determinar la cantidad de habitantes (permanentes + ocasionales)

$$1408 \text{ hab} * \frac{6 \text{ hr}}{24 \text{ hr}} * \frac{6 \text{ días}}{7 \text{ días}} = 302 \text{ habitantes ocasionales}$$

Se tomaron seis horas diarias teniendo en cuenta que tanto los estudiantes del día como los estudiantes de la noche solo están por un periodo de tiempo determinado.

$$300 \text{ habitantes ocasionales} + 2 \text{ habitantes permanentes} = 304 \text{ habitantes}$$

Los dos habitantes permanentes son los celadores de la Universidad Surcolombiana

- Cálculos para determinar población futura

Se asume $n = 20$ años ya que (Granada, 1997) afirma que el periodo de diseño en general para conductos y estructuras adicionales es de veinte años.

$$pf = Pa * (1 + r)^n$$

$$pf = 304 * (1 + 0.144)^{20}$$

$$pf = 4481.19 \text{ habitantes} = \mathbf{4482 \text{ habitantes}}$$

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

$$DBO_{Total} = DBO * Pf$$

Donde:

Pf= Población futura

DBO= Demanda biológica de oxígeno por habitante diario $0.054 \frac{kg}{hab-día}$ este es el valor de DBO que produce un habitante diario se tomó de Granada (1997) ya que la PTAR de La Universidad Surcolombiana no permite tomar la muestra del agua residual antes de recibir el tratamiento y no se puede tomar los valores analizados como referencia ya que esa agua residual ha recibido un tratamiento previo.

$$DBO_{Total} = 0.054 \frac{kg}{hab - día} * 4482 \text{ hab}$$

$$DBO_{Total} = 242 \frac{kg}{día}$$

- Carga volumétrica (Cv)

Según la tabla 29 a una temperatura de 30°C se toma un valor entre (6-9) $\frac{kg}{m^3-día}$

Se toma 30°C, porque a esta temperatura se realiza el proceso anaerobio.

Tabla 29. Cargas orgánicas aplicables en relación con la temperatura operacional.

Temperatura	Carga Orgánica Volumétrica (KG/M ³ -DIA)			Comentarios
	VFA	NO-VFA	30% SS-DQO	
15	2 - 4	1.5 - 3	1.5 - 2	Remoción de SS satisfactoria
20	4 - 6	2 - 4	2 - 3	Remoción de SS satisfactoria
25	6 - 12	4 - 8	3 - 6	Remoción de SS razonable
30	10 - 18	8 - 12	6 - 9	Remoción de SS moderada
35	15 - 24	12 - 18	9 - 14	Remoción de SS casi pobre
40	20 - 32	15 - 24	14 - 18	Remoción de SS pobre

Fuente. (RAS, 2000)

$$Cv = 6 \frac{kg}{m^3 - día}$$

- Volumen del reactor (Vol)

$$Vol = \frac{DBO_T}{Cv}$$

DBO_T =Demanda biológica de oxígeno total (Kg/día)

Cv =Carga volumétrica (Kg/m³-día)

$$Vol = \frac{\frac{242kg}{día}}{\frac{6kg}{m^3 - día}}$$

$$Vol = 40.33m^3$$

- Tiempo de retención hidráulica (TRH)

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

Vol= volumen del reactor (m³)
Q_{medio}= caudal medio (m³/hora)

Para calcular el tiempo de retención hidráulico se debe calcular primero el caudal medio:

$$Q_{medio} = Consumo * CR * Pf$$

Consumo= dotación (L/hab-día)
CR= coeficiente de retorno (%)
Pf= población futura (hab)

$$Q_{medio} = \frac{150L}{hab - día} * 0.85 * 4482 hab$$
$$Q_{medio} = 571.455 \frac{L}{día}$$

Este valor de caudal debemos expresarlo en unidades de m³/hora para obtener el valor de retención hidráulica en horas:

$$Q_{medio} = 571455 \frac{L}{día} * \frac{1día}{24 hr} * \frac{1m^3}{1000L}$$
$$Q_{medio} = \frac{23.81m^3}{hr}$$

A continuación se calcula el tiempo de retención hidráulico:

$$TRH = \frac{40.33m^3}{\frac{23.81m^3}{hr}}$$
$$TRH = 1,69hr$$

Como el tiempo de retención es muy bajo, se debe ajustar el volumen con un TRH ≤ 2.25 según la siguiente tabla, trabajando el reactor con lodo flocúleno grueso a una altura de 3m.

Tabla 30. Altura del reactor con respecto al tiempo de retención.

Altura Del Reactor (m)	Tiempo De Retención Hidráulica(Hr) Para Reactor Con Lodo Flocúleno Grueso
3	2.25
4	3.00
5	3.75
6	4.50
7	5.25
8	6.00

$$Vol = Q_{medio} * TRH$$

$$Vol = \frac{23.81m^3}{hr} * 2.25hr$$

$$Vol = 53.57m^3$$

- Área del reactor (A)

$$A = \frac{Vol}{h}$$

h= altura del reactor (m)

Vol= volumen ajustado (m³)

$$A = \frac{53.57m^3}{3m}$$

$$A = 17.86m^2$$

- Relación largo/ancho

Esta relación debe estar entre (3-1) y (5-1), además debe ser mayor o igual al área calculada, se selecciona:

$$A = 3a * a = 21.1m^2$$

$$17.86m^2 = 3a^2$$

$$a = \sqrt{\frac{17.86 m^2}{3m}} = 2.44m^2 = 2.5m$$

$$l = 3a = 3 * 2.5m = 7.5m$$

$$A = 2.5m * 7.5m = 18.75m^2$$

- Ajuste del volumen del reactor debido al área

$$Vol = A * h$$

A= Área (m²)

h= Altura del reactor (m)

$$Vol = 18.75m^2 * 3m = 56.25m^3$$

- Chequeo de la velocidad vertical del flujo (V)

$$V = \frac{Q_{medio}}{A}$$

Q_{medio} = caudal medio (m³)

A=área del reactor (m²)

$$V = \frac{23.81m^3}{18.75m^2} = 1.27 \frac{m}{hr}$$

Según la norma debe estar entre (1.25- 3.0) m/hr

- Numero de alimentaciones (N°A)

El número de alimentaciones hace referencia a las partes por donde se distribuirá el agua al reactor

Para Cv =6 el área = (2-3) m².

Se supone un área por punto: 2.7m²

$$N^{\circ}A = \frac{A_{total}}{A}$$

$$N^{\circ}A = \frac{18.75m^2}{3m^2} = 6.25 = 7 \text{ alimentaciones}$$

- Ancho de la abertura (Wa)

Se asume **0.2m** a cada lado, se chequea la velocidad del flujo al pasar por el Q_{medio} por dicha abertura, se debe establecer la longitud del reactor para determinar el área de salida.

- Angulo de los lados de la campana

Se tiene por norma ángulos entre (45 y 60) °. Se asume un ángulo de 45°

- Ancho del deflector (Wd)

$$Wd = W_a + T_v$$

W_a= ancho de la abertura (m)

T_v= traslapo (m)

Traslapo (T_v): Se refiere a los deflectores que se colocan para dirigir los gases producidos hacia la campana y se pueda hacer la separación de los gases del líquido.

$$T_v = 1.5 * W_a$$

$$T_v = 1.5 * 0.2m = \mathbf{0.3m}$$

Entonces

$$Wd = 0.2m + 0.3m = \mathbf{0.5m}$$

- Ancho mínimo interno de las campanas (Wt)

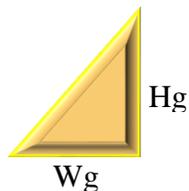
Según la norma debe ser mayor o igual a 0.5m

$$Wt = \mathbf{0.5m}$$

- Altura mínima de la campana (Ht)

$$Ht = Wt = \mathbf{0.5m}$$

- Ancho de la campana (Wg)



$$Hg = (1 - 1.5)m = \mathbf{1m}$$

$$\text{Tang}60^\circ = \frac{Hg}{Wg}$$

$$Wg = \frac{Hg}{\text{tang}60^\circ}$$

$$Wg = \frac{1m}{\text{tang}60^\circ} = \mathbf{1m}$$

Para calcular el nuevo ángulo se utiliza la siguiente fórmula

$$\theta = \text{tangente}^{-1}\left(\frac{Hg}{wg}\right)$$

$$\theta = \text{tangente}^{-1}\left(\frac{1}{0.6}\right) = \mathbf{59.1^\circ}$$

El nuevo ángulo será 59.1° debido al ajuste de Wg . Se asume $Hg=1m$ según norma (1-1.5) m

Se ajusta el ancho del reactor

$$Wg = 1m$$

$$W_a = 0.2m$$

$$Wt = .05m$$

$$a = 2Wg + 2W_a + Wt$$

$$a = (2 * 1m) + (2 * 0.2m) + 0.5m = \mathbf{2.9m}$$

Se debe volver a ajustar este valor del ancho del reactor, pues si se deja este, también cambiara la longitud, el área, el volumen y por ende la velocidad en la abertura

$$a = 2Wg + 2W_a + Wt = 2.5$$

Donde 2.5m es el ancho del reactor

Entonces

$$\frac{2.5m - 2W_a - Wt}{2} = Wg$$

$$\frac{2.5m - 2 * 0.2m - 0.5m}{2} = \mathbf{Wg = 0.8m}$$

Entonces

$$a = (2 * 0.8m) + (2 * 0.2m) + 0.5m = \mathbf{2.5m}$$

Para calcular el nuevo ángulo se utiliza la siguiente formula

$$\theta = \text{tangente}^{-1}\left(\frac{Hg}{wg}\right)$$

$$\theta = \text{tangente}^{-1}\left(\frac{1m}{0.8m}\right) = \mathbf{51.34^\circ}$$

El nuevo ángulo será 51.34° debido al ajuste de Wg .

- Chequeo de la velocidad en la abertura (Vwa)

$$Vwa = \frac{Q_{medio}}{2Awa}$$

Q_{medio} = caudal medio (m^3/hr)

Awa= área de la abertura (m)

Calculamos Awa para poder calcular la velocidad en la abertura

$$Awa = Wa * l$$

L=longitud del reactor (m)

Wa= ancho de la abertura (m)

$$Wa = 0.2m$$

$$l = 7.5m$$

$$Awa = 0.2m * 7.5m = 1.5m^2$$

$$Vwa = \frac{Q_{medio}}{2Awa}$$

$$Vwa = \frac{\frac{23.81m^3}{hr}}{2 * 1.5m^2} = 7.94 \frac{m}{hr} : \text{valor mayor a } \frac{4m}{hr}$$

Tabla 31. Dimensionamiento de unidades del reactor.

Dimensionamiento Del Reactor UASB					
Qmed	23.82m ³ /hr	N°. Alimentadores	7	Hg	1m
TRH	1.69 hr	Wa	0.2m	Angulo	51°20'25.69''
Área	18.75m ²	Tv	0.3m	Wva	7.94m/hr
Ancho	2.5m	Wd	0.5m	H	3m
Largo	7.5m	Wt	0.5m	Wc	0.2m
volumen	56.25m ³	Ht	0.5m	Hc	0.17m
Velocidad Vertical	1.27 m/hr	Wg	0.8m	Cv	6kg/m ³ -dia

Tabla 32. Dimensionamiento de unidades del reactor con 80%.

Dimensionamiento Del Reactor UASB 80%					
Qmed	19.05m ³ /hr	N°. Alimentadores	5	Hg	1m
TRH	1.69 hr	Wa	0.2m	Angulo	56°58'34.08''
Área	14.52m ²	Tv	0.3m	Wva	9.02m/hr
Ancho	2.2m	Wd	0.5m	H	3m
Largo	6.6	Wt	0.5m	Wc	0.2m
Volumen	43.56m ³	Ht	0.5m	Hc	0.17m
Velocidad Vertical	1.31m/hr	Wg	0.65m	Cv	6kg/m ³ -dia

Los datos obtenidos a partir de los cálculos realizados dieron como resultado que es más favorable para la universidad construir un UASB con el 100% de caudal proyectado a 20 años, se buscaba proponer dos UASB cada una al 80% del caudal proyectado, con el fin de facilitar el

mantenimiento, según los cálculos realizados resulta menos favorable en cuanto al espacio y presupuesto con el que cuenta la universidad; se recomienda hacer los sistemas de limpieza en periodo de cese de actividades. Remitirse a la (Figura 25) donde aparecen las partes del UASB.

4.7.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS DISCOS DE CAFÉ

4.7.2.1. VOLUMEN PROMEDIO DE LOS DISCOS DE CAFÉ

La tabla 33 muestra el diámetro de los discos de tronco de café que se emplearon para obtener el volumen promedio.

Tabla 33. Diámetro de los discos de café.

N° Disco	Diámetro cm	N° Disco	Diámetro cm
1	3,8	6	3,3
2	4,2	7	4,1
3	3,9	8	3,5
4	4	9	3,1
5	3,5	10	3,3
Promedio	3,7		

Seguidamente se procedió a calcular el volumen promedio, remplazando el diámetro promedio de las muestras en la siguiente expresión:

$$V_{pro} = \frac{\pi * 3.7cm^2}{4} * 1cm = 10.75cm^3$$

Este volumen será el ocupado por cada disco de tronco de café en los filtros que se emplearan para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Surcolombiana, los cuales manejan una altura estándar de 1 cm.

4.7.2.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad hallado en los discos de tronco de café es de 23,09 %, según estudios realizados, mientras más bajo sea el contenido de humedad, le proporciona una ventaja comparativa frente a otras fibras como posible material de refuerzo, puesto que a menor porcentaje de contenido de humedad mayor estabilidad dimensional. Según la NSR-10 en su título G, para

uso estructural la madera pierde resistencia y rigidez, a medida que aumenta su contenido de humedad.

Tabla 34. Perdida de humedad con respecto al tiempo.

Tiempo (min)	Peso (gr)	Contenido De Humedad (%)	Tiempo (min)	Peso (gr)	Contenido De Humedad (%)
0	389,7	23,09	110	304,6	1,61
10	372,8	19,61	130	302	0,76
20	358,1	16,31	150	300,9	0,40
30	344,1	12,87	170	300,3	0,20
40	338,8	11,51	190	300	0,10
50	331,5	9,59	210	299,8	0,03
60	323,7	7,41	230	299,7	0,00
70	316,8	5,40	250	299,7	0,00
80	312,9	4,22	270	299,7	0,00
90	309,2	3,07	290	299,7	0,00
100	306,6	2,25	310	299,7	0,00

La tabla 34 muestra las pérdidas de humedad de los discos de tronco de café utilizados en el ensayo, este proceso se llevó a cabo en la instalación de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito, la cual se realizó durante un periodo de 5 horas y 10 minutos específicamente, se debe tener en cuenta que los troncos de café ya habían perdido humedad.

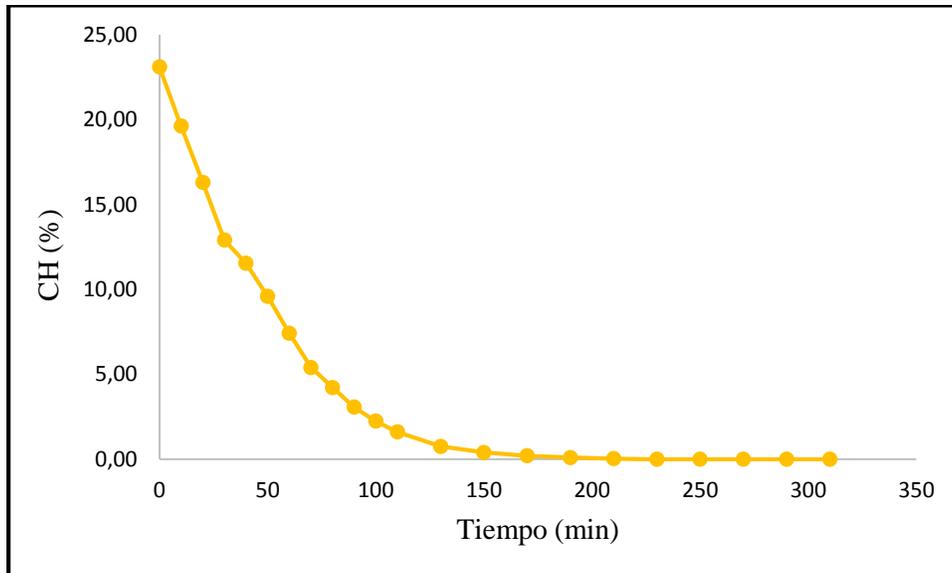


Figura29. Contenido de humedad (CH) con respecto al tiempo.

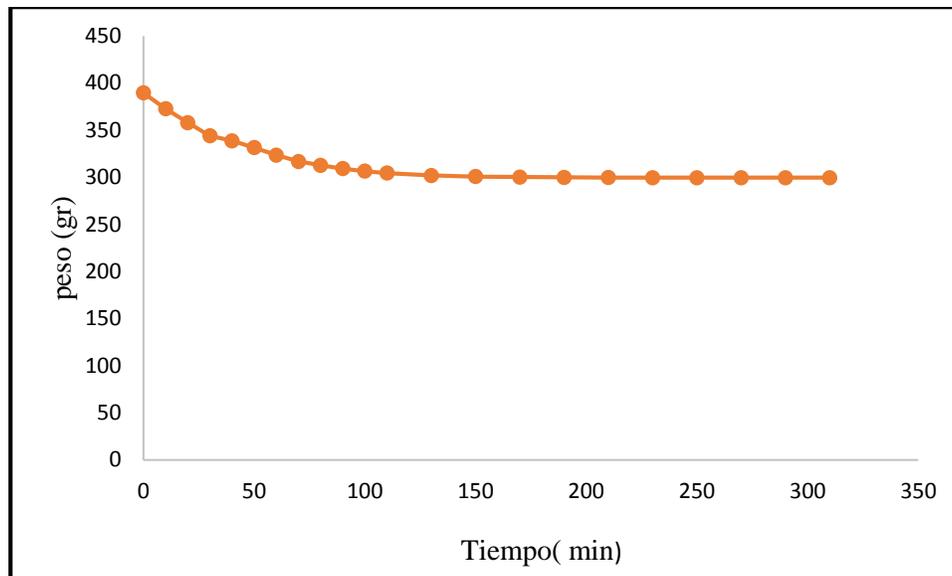


Figura 30. Pérdida de peso con respecto al tiempo.

En la tabla 35 Se muestra los valores del volumen conocido, numero promedio de discos de tronco de café, peso promedio, densidad aparente y densidad real, así mismo porcentaje de porosidad para cada uno de los ensayos realizados.

Tabla 35. Porosidad de los discos de café de cada volumen.

Volumen Conocido (Litros)	N° De DISCOS	Peso (gr)	Densidad Aparate	Densidad Real	Porosidad (%)	Promedio De Porosidad (%)
2000	103	814	0,4	0,8	44,9	49
	105	843,4				
	106	858,7				
Promedio	105	838,7				
4000	185	1478,1	0,4	0,8	51,3	
	184	1469,9				
	186	1487,7				
Promedio	185	1478,6				
6000	281	2208	0,4	0,7	50,7	
	284	2235,9				
	279	2187,9				
Promedio	281	2210,6				
8000	387	3026,9	0,4	0,7	49,1	
	386	3014,1				
	388	3036,5				
Promedio	387	3025,8				

Se observa que el porcentaje de porosidad es bajo si lo comparamos con otro material de lecho filtrante como lo es la guadua, este porcentaje de porosidad sería útil para tratar los sólidos en suspensión de las aguas residuales domesticas tratadas en la PTAR, como el porcentaje de porosidad de la guadua que se conoce es alto encontrado en estudios previos realizados como lecho filtrante, este material se puede utilizar en el filtro anaerobio en la primera capa, pues por tener un porcentaje mayor de porosidad las bacterias trabajarían mejor en este lecho filtrante, en la segunda capa del filtro estarían actuando los discos de tronco de café, estos discos cumplirían la función de retener el resto de sólidos en suspensión presentes en el agua tratada, como el porcentaje de porosidad es más bajo que el de la guadua se debe realizar mayor limpieza a este lecho filtrante. Y de esta manera aprovechar dos materiales que se encuentra fácilmente en la zona.

4.7.3. CALCULO PARA EL FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)

Para los cálculos del filtro anaerobio se emplearon los mismos datos que se contemplan en el cálculo del diseño del UASB. Se plantea el diseño de un filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA con forma cilíndrico, el cual tiene por finalidad reducir las cargas contaminantes de las aguas servidas, las cuales alimentaran el filtro a través del fondo, esto permite que el flujo sea distribuido de forma uniforme.

Para los cálculos del filtro anaerobio se tomó el mismo valor de población futura calculado en el diseño del UASB cuyo valor es de 4482 habitantes.

- Volumen del filtro

$$Vf = Pf * Vh$$

Pf=población futura (hab)

Vh=Volumen del filtro por habitante ($0.01\text{m}^3/\text{hab}$), este valor se asumió más bajo que parámetro para un filtro anaerobio como único tratamiento para agua residual el cual tiene un valor de $0.05\text{m}^3/\text{hab}$

$$Vf = 4482\text{hab} * 0.01 \frac{\text{m}^3}{\text{hab}} = 44.82\text{m}^3$$

Se plantea que sean dos (2) filtros anaerobios, esto porque el valor del volumen es alto, también por el espacio con el que se cuenta para el rediseño de la PTAR, por lo tanto se divide el valor del volumen en dos y así seguir con los cálculos.

$$\frac{Vf}{2} = \frac{44,82m^3}{2} = 22.41m^3$$

A partir de este valor se calcula las dimensiones del filtro, teniendo en cuenta que este tendrá la misma altura del UASB

$$Vf = \frac{\pi D^2}{4} * h$$

Vf= volumen del filtro (m³)

D=diámetro del filtro (m)

h= altura del filtro (m)

$$D = \sqrt{\frac{Vf * 4}{\pi * h}}$$

$$D = \sqrt{\frac{22.41m^3 * 4}{\pi * 3.5m}} = 2,86m = \mathbf{3m}$$

Con este valor aproximado del diámetro para el filtro, se ajusta el nuevo valor del volumen del mismo

$$Vf = \frac{\pi * (3m)^2}{4} * 3.5m = 24.74m^3$$

- Caudal medio diario (cmd)

$$cmd = dotacion * Cr * Pf$$

Dotación= 150l/hab-día

Cr=coeficiente de retorno (0.85)

Pf= 4482 habitantes

$$cmd = \frac{150L}{hab - día} * 0.85 * 4482hab$$

$$cmd = \frac{571455l}{día}$$

Este valor se debe expresar en m³/hr, por lo tanto

$$cmd = \frac{571455l}{\cancel{dia}} * \frac{1m^3}{1000l} * \frac{\cancel{1dia}}{24hr} = \frac{23.81m^3}{hr}$$

- Velocidad de ascenso (Va)

$$Va = \frac{cmd}{A}$$

Va= velocidad de ascenso (m/hr),
Cmd= caudal medio diario (m³/hr)
A= área superficial del filtro (m²)

Para calcular la velocidad, debemos calcular el área del cilindro por medio de la siguiente formula:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (3m)^2}{4} = 7.1m^2$$

$$Va = \frac{\frac{11.905m^3}{hr}}{7.1m^2} = \frac{1.68m}{hr}$$

- Área transversal efectiva de perforación

$$Ae = \frac{cmd}{Va}$$

Ae=área transversal efectiva de perforación (m²)
cmd= caudal medio diario (m³/hr)
Va= velocidad de ascenso (m/hr)

$$Ae = \frac{\frac{11.905m^3}{hr}}{\frac{1.68m}{hr}} = 7.1m^2$$

- Numero de niples (n)

$$n = \frac{Ae}{An}$$

n= número de niples

Ae= área transversal efectiva de perforación (m²)

An= área de cada niple 1" según (Granada, 1997)

$$n = \frac{7.1m^2}{\frac{\pi * (0.0254 cm)^2}{4}} = 14012niples$$

- Tiempo de retención hidráulica (TRH)

$$TRH = \frac{Vw}{cmd}$$

THR= Tiempo de retención hidráulica (hr)

cmd= caudal medio diario (m³/hr)

Vw= volumen del agua, para este valor se toma el (50%) del volumen total del filtro, pues se asume que el (50%) restante es el lecho filtrante

$$Vf = 24.74m^3$$

Entonces

$$Vw = \frac{24.74m^3}{2} = 12.37m^3$$

$$TRH = \frac{12.37m^3}{\frac{11.905m^2}{hr}} = 1.04hr$$

4.7.4. CALCULO PARA EL LECHO FILTRANTE CON PLANTAS DE GUADUA

Para el diseño de leches se tiene en cuenta las siguientes normas:

A_U = Área requerida por habitantes 5 m²/hab

P = Número de habitantes

$$A_S = P * A_U$$

$$A_S = 4482 \text{ hab} * \frac{5m^2}{\text{hab}}$$

$$A_S = 22410 m^2$$

Para los 4482 habitantes que se estima que tendrá la universidad surcolombiana en los próximos 20 años se requiere 22410 m², donde se implementara el cultivo de guadua, es importante aclarar que el cultivo ya se encuentra sin embargo el agua que ingresa en esta área no está tratada previamente ocasionando contaminación en el suelo.

4.8. IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS

4.8.1. DEBILIDADES, OPORTUNIDADES, FORTALEZAS Y AMENAZAS (DOFA)

Basándose en la matriz DOFA se buscó identificar posibles estrategias o soluciones para la problemática que presenta actualmente la planta de tratamiento de la universidad, ya que esta metodología permite resaltar claramente aquellas ventajas y desventajas que presenta la planta a nivel interno y externo, con el propósito de buscar un acertamiento en la toma de decisiones con respecto al procedimiento que se debe realizar.

Tabla 36. DOFA para la PTAR de la Universidad Surcolombiana.

Cód.	DEBILIDADES	Cód.	OPORTUNIDADES
D1	Falta de mantenimiento a la PTAR	O1	Implementación de Reingeniería
D2	Deterioro de la estructura	O2	Contribución al ambiente y sociedad
D3	Falta de financiación	O3	Preocupación de identidades por conservar el medio ambiente
D4	Faltan estrategias de mejoramiento		
D5	Socavación del terreno (Colapso estructural)		
Cód.	FORTALEZAS	Cód.	AMENAZAS
F1	Conocimiento en el tema	A1	Contaminación de cultivos aledaños
F2	Apoyo del plantel institucional	A2	Cierre del plantel
F3	Conciencia ambiental	A3	Multas económicas
F4	Experiencia de docentes de la institución	A4	Contaminación a fuentes hídricas
		A5	Costos de los materiales

El medio ambiente es un sistema muy complejo y frágil en el que juegan un papel importante múltiples factores de distinta naturaleza. Las alteraciones graves pueden modificar las condiciones de vida del planeta y poner en peligro la vida en su totalidad, la contaminación hídrica, es una de las problemáticas más grandes que se presentan en la actualidad a nivel mundial, la cual es generada por diversas actividades siendo una de ellas, los vertimientos que realizan los seres humanos a diario. Actualmente la planta de tratamiento de la universidad presenta una deficiencia en su funcionalidad puesto que no se le ha realizado un mantenimiento y manejo correctivo a tiempo y esto ha llevado al deterioro de la misma, de esta problemática se desglosan otro tipo de situaciones no favorables que perjudican de forma local regional y nacional ya que estas aguas desembocan a cuerpos de aguas arriba cada vez más grandes que serán utilizadas por la comunidad en general para sus diversas actividades.

4.8.2. MÉTODO DE DIAGRAMA DE REDES

A través de este método se pretende visualizar cada uno de los impactos generados, como una reacción en cadena. En la tabla 37 se ubicó de forma vertical las obras, actividades o acciones previamente agrupadas y clasificadas; para luego situar los impactos generados directamente por cada una de ellas, los cuales tomaron el nombre de impactos de primera generación, estos a su vez ocasionaron otros impactos que se denominaron de segunda generación, por último generando los impactos de tercera generación.

Tabla 37. Diagrama de redes.

Planta De Tratamiento De Agua Residual Universidad Surcolombiana		IMPACTO DE PRIMERA GENERACIÓN	IMPACTO DE PRIMERA GENERACIÓN	IMPACTO DE PRIMERA GENERACIÓN
Actividad O Acciones	Componente			
Tiempo De Retención Del Agua Residual En La (PTAR)	Aire	Malos Olores	Contaminación De La Atmosfera	Alteración Del Ambiente Y Cambio Del Paisaje
	Suelo	Lodos orgánicos	Producción De Material Solido	Abonos Orgánicos
	Aire	Emisión De Gases		
	Agua	Disminución De Parámetros Contaminantes	Disminución De La Contaminación Del Agua	Perdida En Los Ecosistemas Acuáticos
	Paisaje	Uso Del Suelo Para Construcciones		
Vertimiento Del Agua Residual Después De La (PTAR)	Suelo	Erosión	Inestabilidad Del Suelo	Deterioro De La PTAR
	Agua	Contaminación Hídrica	Disminución De La Calidad Del Agua	Perdida De Fauna Y Ecosistemas Acuáticos
	Flora Y Fauna	Perdida De La Cobertura Vegetal	Disminución de Micro Fauna	
	Cultivos	Riego Con Aguas Contaminadas	Menor Productividad	
	Suelo	Compactación		
	Suelo	Disminución De La Valorización Del Predio	Menor Ingresos Económicos	Menor capacidad adquisitiva
Mantenimiento	Trabajador	Generación De Empleo	Ingresos Económicos	Mejor Calidad De Vida
	Comunidad	Enfermedades Respiratorias	Aumento De Gastos Médicos	
	Paisaje			

Para la determinación del orden de importancia de los impactos, se utilizaron los criterios expuestos en la tabla 38, utilizados en el estudio de impacto ambiental (EIA) del distrito de riego Aso Miraflores por (Ramirez & Palacios, 2004).

Tabla 38. Criterios para la determinación del orden de importancia de los impactos.

Grado de generación (g)	Grado de retroalimentación (r)	Puntaje (g + r)	Orden de importancia del impacto
Primera generación G = 3	Fuerte (R = 3).	6	1°
	Moderado (R = 2).	5	2°
	Bajo (R = 1)	4	3°
Segunda generación G = 2	Fuerte (R = 3).	5	2°
	Moderado (R = 2).	4	3°
	Bajo (R = 1)	3	4°
Tercera generación G = 1	Fuerte (R = 3).	4	3°
	Moderado (R = 2).	3	4°
	Bajo (R = 1)	2	5°

Fuente. (Ramirez & Palacios, 2004).

En la tabla 39 se agruparon los impactos positivos y negativos con su respectivo grado de generación, obtenidos por el método de redes, a los cuales se les asignó un grado de influencia, para luego ser sumados y obtener un puntaje. De acuerdo a este puntaje se asignó el orden de importancia de cada uno de los impactos.

Tabla 39. Orden de importancia para cada impacto.

Impactos Negativos	G	R	(G+R)	Importancia Del Impacto	Impactos Seleccionados
Generación De Olores	3	3	6	1°	**
Generación De Gases	3	3	6	1°	**
Construcción de infraestructura	3	1	4	3°	
Erosión	3	3	6	1°	**
Contaminación Hídrica	3	3	6	1°	**
Disminución De La Cobertura Vegetal	3	1	4	3°	
Riego Con Aguas Contaminadas	3	3	6	1°	**
Compactación	3	1	4	3°	
Disminución De La Valorización Del Predio	3	2	5	2°	**
Generación De Enfermedades Respiratorias	3	1	4	3°	
Contaminación De La Atmósfera	2	3	5	2°	**
Inestabilidad Del Suelo	2	3	5	2°	**
Disminución De La Calidad Del Agua	2	3	5	2°	**

Impactos Negativos	G	R	(G+R)	Importancia Del Impacto	Impactos Seleccionados
Perdida De Micro Fauna	2	1	3	4°	
Menor Productividad	2	1	3	4°	
Menor Ingresos Económicos	2	1	1	4°	
Aumento De Gastos Médicos	2	1	3	4°	
Alteración Del Ambiente	1	3	4	3°	**
Deterioro De La PTAR	1	3	4	3°	**
Perdida De Fauna Y Ecosistemas Acuáticos	1	3	4	3°	**
Menor Calidad De Vida	1	1	2	5°	
Impactos Positivos	g	r	(g+r)	Importancia Del Impacto	Impactos Seleccionados
Generación De Lodos	3	2	5	2°	**
Disminución De La Contaminación Del Agua	3	1	4	3°	**
Generación De Empleo	3	1	4	3°	**
Producción De Material Sólido	2	1	3	4°	
Disminución De La Contaminación Del Agua	2	1	3	4°	
Generación De Ingresos Económicos	2	1	3	4°	
Generación De Abonos Orgánicos	1	1	2	5°	
Disminución De Perdida En Los Ecosistemas Acuáticos	1	2	3	4°	
Generar mejor calidad de vida (servicios básicos)	1	1	2	5°	

Para la selección de impactos por el método de diagrama de redes Tabla 39 se tuvo en cuenta el Orden de importancia de impactos Donde a partir de esta información Se preseleccionaron aquellos impactos con orden de importancia igual o menor que tres arrojando un total de 15 impactos 12 negativos y 3 positivos

4.8.3. IDENTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES UTILIZADO EN EL MÉTODO DE LA MATRIZ DE LEOPOLD

En los cuadros que a continuación se enuncian, se encuentra contenido el desarrollo y los resultados de la aplicación de la matriz de Leopold, para la plata de tratamiento de agua residual de la Universidad Surcolombiana. Por lo que es necesario identificar en primer lugar las acciones

o actividades del proyecto en un eje y los factores o componentes ambientales posiblemente afectados en el otro eje de la matriz. Luego cuando se observa que una acción determinada va a provocar un cambio o factor ambiental, este se apunta en el punto de intersección de la matriz y se describe además su magnitud e importancia.

Las acciones o actividades del proyecto a tratar están divididas en tres componentes:

- Planta
- Descarga
- Mantenimiento

Los factores y características posiblemente afectados se encuentran subdivididos en cuatro grupos cada uno con una serie de componentes

- Ambiental
- Físico
- Cultural

Las convecciones utilizadas para la descripción de la magnitud e importancia se presentan a continuación junto con el grado de afectación (Tabla 40).

Tabla 40. Convecciones magnitud (Matriz de Leopold).

Magnitud		Importancia		Efecto	Grado De Afectación
1	Local	1	Baja	(+) o (-)	1
2	Vereda	2	Baja Media	(+) o (-)	
3	Municipal	3	Baja Alta	(+) o (-)	
4	Regional	4	Media Baja	(+) o (-)	
5	Departamental Nacional	5	Media	(+) o (-)	2
		6	Media Alta	(+) o (-)	
		7	Alta Baja	(+) o (-)	
		8	Alta Media	(+) o (-)	3
		9	Alta	(+) o (-)	
		10	Muy Alta	(+) o (-)	

En la tabla 40 la magnitud es la encargada de dar el peso relativo que el factor ambiental considerado tiene dentro del proyecto, o la posibilidad de que se presenten alteraciones en su entorno. Se anota en la parte inferior del triángulo formado por la celda con la línea diagonal. Con respecto a la importancia son valores que van precedidos de un signo positivo (+) o negativo (-),

según se trate de efectos en beneficio o afectación al medio ambiente, a los diferentes componentes.

El método de la matriz de Leopold adaptada al caso específico de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad Surcolombiana se detalla en la tabla 39. Para la identificación de los impactos ambientales se hizo teniendo en cuenta las interacciones que ocurrieron entre los ejes horizontales y verticales de la matriz.

Una vez desarrollada la matriz de Leopold, en la tabla 40 se clasifican los factores ambientales e impactos positivos y negativos identificados y preseleccionados, según el grado de afectación (1°, 2° y 3°).

Tabla 41. Método de la matriz de Leopold.

Convenciones Importancia / Magnitud		PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL													
1. Local Efecto (+) 2. Veredal Efecto (-) 3. Municipal 4. Regional 1-10 5. Dpart nacional		Construcción	olores	Materia orgánica	Emisión de gases	Tratamiento	Descarga	Mantenimiento	Impacto (+)	Impacto (-)	Total	Mayor valor (+)	Mayor valor (-)	Grado de afectación	
		Características Y Factores	Ambiental	Fauna	-5/1	-8/2	-3/1	-8/1	2/2	-6/2	3/2	2	5	7	3/2
Flora	-2/1				3/2	-8/2	3/2	-4/2	-5/1	2	4	6	3/2	-5/1	1°
Atmósfera	-6/2			-9/2		-9/2	3/2	-8/2	1/2	2	4	6	3/2	-9/2	3°
Paisaje	-6/1			-8/2	-5/2		-6/2	-8/2	-4/2	0	6	6	0	-8/2	3°
Físico	quebrada		-3/1	-7/2	-3/1		-7/2	-8/2	-7/2	0	6	6	0	-8/2	3°
	suelo		-7/1		4/2			-9/1	-5/2	1	3	4	4/2	-9/2	3°
Cultural	Estudiantes USCO			-7/1		-7/1				0	2	2	0	-7/2	2°
	Comunidad aledaña			-7/2		-6/2	-8/2	-8/2	-7/2	0	5	5	0	-8/2	3°
	Empleados USCO			-7/1		-7/1				0	2	2	0	-7/2	2°
Impactos (+)		0	0	2	0	3	0	2							
Impactos (-)		6	7	3	6	3	7	5							
Total		6	7	5	6	6	7	7							
Mayor Impacto (+)		0	0	4/2	0	3/2	0	3/2							
Mayor Impactos (-)		-7/1	-8/2	-5/2	-9/2	-8/2	-9/1	-7/2							
Grado de afectación		2°	3°	1°	3°	3°	3°	2°							

Tabla 42.clasificación de actividades factores e impactos positivos y negativos según el grado de afectación.

Obras, Factores Ambientales E Impactos	Importancia de Primer Grado	Importancia de Segundo Grado	Importancia de Tercer Grado
Acciones o Actividades	<ul style="list-style-type: none"> - generación de olores - generación de gases - tratamiento - descarga 	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción - Mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Generación me M.O
Características Y Factores	<ul style="list-style-type: none"> - Atmósfera - Paisaje - Quebrada - Suelo - Comunidad aledaña - Fauna 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudiantes USCO - Empleados USCO 	<ul style="list-style-type: none"> - Flora
Impactos Positivos (+)		<ul style="list-style-type: none"> - Aporte de M.O al suelo 	<ul style="list-style-type: none"> - Abono para el suelo con el M.O generado - Menor contaminación con agua residual
Impactos Negativos (-)	<ul style="list-style-type: none"> - Contaminación del aire - Alteración del cause - Contaminación hídrica - Riego con agua contaminada - Emisión de gases al ambiente - Alteración del paisaje - Disminución ineficiente de contaminantes en el agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Erosión - Compactación - Enfermedades respiratorias - Malos olores 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de sólidos suspendidos en la quebrada - Afectación a la fauna

Tabla 43. Selección de impactos de los dos métodos empleados

Impacto	Matriz De Leopold.	Diagrama De Redes
Generación De Olores	**	**
Generación De Gases	**	**
Erosión	**	**
Contaminación Hídrica	**	**
Riego Con Aguas Contaminadas	**	**
Disminución De La Valorización Del Predio	**	
Contaminación De La Atmosfera	**	**
Inestabilidad Del Suelo	**	
Disminución De La Calidad Del Agua	**	**
Alteración Del Ambiente	**	
Deterioro De La PTAR	**	**
Perdida De Fauna Y Ecosistemas Acuáticos	**	
Generación De Lodos	**	
Disminución De La Contaminación Del Agua	**	
Generación De Empleo	**	
Alteración Del cause		**
alteración del paisaje		**
compactación		**
enfermedades respiratorias		**
aumento de sólidos suspendidos		**
aporte de materia orgánica		**

Tabla 44. Objetivos para maximizar o minimizar los impactos.

Objetivos	Impactos, Oportunidades Y Amenazas Que Se Maximizan O Minimizan
Ob_i	Enunciado
Ob1	Minimizar la contaminación de corrientes de aguas durante el vertimiento de la planta
Ob2	Minimizar la contaminación de aire ocasionadas por los olores y gases generados por la planta
Ob4	maximizar la generación de empleo para el mantenimiento idóneo de la estructura

Ob5	maximizar la calidad de vida de las comunidades cercanas
Ob3	Minimizar la perdida de la capa vegetal, ocasionada por desprendimientos y erosiones que se generen e la zona

5. CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Surcolombiana sede Pitalito, ya que la planta de tratamiento dejó de funcionar desde el año 2015 con un tiempo de retención de medio día, tiempo mínimo de retención como lo indica la RAS 2000, se planteó un reactor anaeróbico de flujo ascendente con lecho de lodos UASB, y un FAFA para un periodo de 20 años, teniendo en cuenta que los dos tratamientos son secundarios pero que en instalaciones como la planta de tratamiento de Timaná y Campoalegre del departamento del Huila utilizaron este modelo, el cual genera mayor eficiencia puesto que el UASB actúa como tratamiento primario en la sedimentación y tratamiento secundario en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo o barro biológicamente activo en el reactor.
- Otro factor que se tuvo en cuenta al momento de implementar dos tratamientos secundarios fue la temperatura de la zona, la cual es de 17°C a 20.7°C . Temperatura que no resulta favorable, ya que un desarrollo óptimo de los microorganismos anaerobios se considera que es en el intervalo mesofílico (30°C - 38°C). Por el corto tiempo de retención y al no tener un control de la temperatura interna generada en el reactor, hace que un solo tratamiento no sea totalmente eficiente.
- Cabe aclarar que se puede implementar solo uno de los dos tratamientos siempre y cuando se realice un tratamiento anterior si se trata del FAFA, ya que requiere otro tipo de construcciones como tanques de sedimentación y con esto evitar colmatación o taponamiento en el filtro.
- De los tratamientos UASB y FAFA dimensionados, con respecto a eficiencia, construcción operación, mantenimiento y costos resulta más favorable el tratamiento UASB.
- Se realizaron los cálculos para dos reactores anaerobios de flujo ascendente con lecho de lodos, cada uno con capacidad de tratar el 80% del caudal total y a su vez los cálculos para

uno solo con el 100% del caudal, a la hora de comparar los cálculos de diseño, se optó por un reactor ya que se puede ahorrar espacio y costos a la hora de construir y se estaría tratando el 100% del caudal de diseño, este sistema de tratamiento es uno de los más efectivos, requiere de muy poco espacio para su construcción y cuenta con un tiempo de retención bajo, esto garantiza que está en la capacidad de tratar un mayor volumen en poco tiempo, además remueve hasta un 80% la contaminación y puede resistir tiempos largos sin operación, esto sin afectar el reactor a diferencia de otros sistemas.

- Para la implementación de los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente, se utilizarán discos de café y guadua como lecho filtrante, para que los filtros funcionen en condiciones óptimas se recomienda que la guadua con una porosidad de 70% (Rojas & Ortiz, 2017) este en la parte inferior de los filtros y los discos de café con porosidad del 49% en la parte superior, ya que el sistema es más efectivo si va de mayor a menor porosidad.
- El índice de contaminación ICOMI, ICOMO, ICOSUS se encuentran en un grado de contaminación muy bajo y bajo según las ecuaciones de referencia, para el índice ICOTRO se encontró en el grado eutrófico rango 0.02 a 1. Este grado eutrófico indica que este tipo de agua presenta un enriquecimiento con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas, las bacterias utilizan oxígeno disuelto en el agua. Si las cantidades de residuos son muy elevadas, puede suceder que no haya suficiente oxígeno en el agua para soportar la vida de muchos peces, proliferando en su lugar las bacterias.
- Aunque los otros valores de índices no generaron una señal de alerta no indica que se esté realizando un proceso adecuado o que la contaminación que genera la institución sea muy baja, ya que si se realizará los análisis ICO al drenaje recolector donde se hace la descarga de la PTAR antes de realizar el recorrido de 82.8 metros, atravesar el guadua e infiltrarse por un tramo de catorce metros los resultados serían muy distintos puesto que parámetros analizados en el punto uno como la conductividad la demanda biológica de oxígeno el fósforo total indican que no se está en grado muy bajo sino una Calificación de

contaminación muy alta según la tabla 4. Es decir que la remoción de contaminantes en el agua residual se está haciendo en el recorrido después de haber recibido su tratamiento.

- A la hora de comparar los cálculos de diseño del reactor con los cálculos del tanque séptico de acción múltiple con el que cuenta la Universidad como tratamiento de las aguas residuales, se obtiene que el UASB es el más recomendable, pues para el TSAM se requiere mayor espacio para su construcción, factor importante, ya que se cuenta con poco espacio para construir la planta de tratamiento
- La identificación de un impacto ambiental es variable, pero todos se refieren a que es cualquier alteración o cambio, ya sea positivo o negativo, donde por medio de información documentada se genera el rango de importancia de cada impacto en la planta de tratamiento, esta identificación se realizó a partir del método de matriz de Leopold y diagrama de redes, arrojando 14 y 15 impactos de 21 seleccionados. De estos 21 impactos se observó que 8 se repetían en los métodos implementados.

6. RECOMENDACIONES

- Si se decide construir un sistema de tratamiento de aguas residuales no significa por sí solo un progreso ni una solución a la problemática ambiental que se está presentando en la actualidad, para que esto sea posible, es necesario garantizar su eficiencia y sostenibilidad a través del tiempo mediante una operación y manejo apropiado del sistema.
- Los numerosos problemas ambientales que se presentan a diario hacen necesario priorizar los esfuerzos de solución hacia los problemas de deterioro ambiental de mayor gravedad, las autoridades públicas tienen el deber de crear conciencia y aportar para que estas problemáticas cada vez sean menores
- Es fundamental crear sistemas de monitoreo para la verificación de la planta de tratamiento y así proponer las acciones necesarias para no poner en peligro los recursos naturales y la eficiencia de la construcción

- Este tipo de proyectos debe tener como objetivo principal el incentivar a la comunidad para modificar sus conductas frente al medio ambiente. Y así crear una educación ambiental, logrando incorporar de esta manera los diferentes sectores de la población y además tomar como referencia todos aquellos proyectos que involucren soluciones para proteger el medio ambiente.

-
- Es importante implementar un sistema de tratamiento eficiente en la institución con el propósito de contribuir al cuidado del medio ambiente y evitar sanciones económicas o cese de actividades para ello se debe evitar que el agua lluvia recolectada por la universidad se mezcle con el agua residual generada de baños, laboratorios y restaurante y así conseguir un tratamiento eficiente y realizarlo solo al agua residual que lo requiere.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Almario, O. A., & Ortega, L. Y. (2018). Potencial de reutilización del efluente de la planta de tratamiento de agua residuales de Timaná- Huila para riego de pasto estrella (*cynodon plectostachius*). Pitalito Huila: Universidad Surcolombiana.
- Becerra, L. J., & Gutiérrez, O. M. (2013). Sistemas de plantas de tratamiento en Colombia. Bogotá: Universidad nacional de Colombia.
- Buitrago, P. L. (2017). Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual Tunja - Boyacá. Bogotá.
- Cáceres, T. E. (1994). Proyecto De Una Planta De Tratamiento De Aguas Residuales Domesticas Para Reusó Del Agua En La Agricultura. Monterrey, México: Universidad autónoma de nuevo león.
- Castaño, R. J., & Paredes, C. D. (2002). Uso de aros de guadua en filtro anaerobios para el tratamiento de aguas residuales. Seminario avances sobre investigación sobre la guadua. Pereira.
- Chiriboga, C. D. (2016). Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la urbanización y club de los arrayanes. Bogotá.
- Conagua. (2016). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. En S. d. Naturales. México.
- Concejo, m. d. (2016). PLAN DE DESARROLLO del Municipio de Pitalito para el periodo constitucional 2016 - 2019. Pitalito.
- Conil, P. (2009). Avances Conceptuales Para El Tratamiento De Las Aguas Residuales Domesticas (A.R.D.) En El Trópico Y Estudio De Casos. Cali.
- Díaz, E. C., Alvarado, A. R., & Camacho, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible. Quivera, 79.
- González, R. A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. Bogotá: CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro - Vol. 1 Núm. 3.
- Granada, V. E. (1997). Saneamiento rural. Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Guereca, L. (2013). Gestión ambiental. Tendencias tecnológicas.
- Guerra, R. (2000). Perfiles De Actividad Metanogénica Específica En Un Reactor UASB (Reactor Anaeróbico De Flujo Ascendente Y Manto De Lodos) Utilizado Para El Tratamiento De Líquidos Cloacales. Argentina: Universidad Nacional de Salta, Consejo de Investigación-INENCO.

- IDEAM. (10 de Noviembre de 2007). Instructivo para la toma de muestras de agua residuales. Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial. Colombia.
- Jaramillo, O. A. (2005). Bioingeniería de aguas residuales. Pensilvania: Acodal.
- Jewell, W... (1987). Anaerobic sewage treatment. Environmental Science Technology. 14-21.
- Ledesma, C., & Bonansea, M. (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). Revista Ciencia Agronómica, v. 44, n. 3, 419-425.
- Lettinga, G., Van, V. H., & Klapwijk, A. (1980). Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. Vol 22, N° 4,
- Lizarazo, B. J., & Orjuela, G. M. (2013). Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Bogotá: Universidad Nacional De Colombia.
- Lorenzo, Y., & Obaya, M. C. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. ICIDCA.
- Manosalva, G. L., Ruiz, M. R., & Pérez, M. F. (Octubre de 2012). Diseño Conceptual De Una Estación Experimental De Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas Orientada A Municipios Con Población Menor A 30.000 Habitantes. Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 11, No. 21, 87-100.
- Márquez, B. F. (29 de 9 de 2016). Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo III). Obtenido de Iagua: <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-iv>
- Martinez, J. D., Rivera, J. N., & Houbron, E. (2013). Caracterización De Aguas Residuales Universitarias Y Determinación De La Eficiencia De Tratamiento De Las Ptar De La Uv Existentes De La Región.
- Martínez, S. D., & Afanador, G. E. (1993). Colombia caminos del agua. Bogotá: Banco del occidente.
- Menéndez, G. C., Pérez, O. J., & García, Z. J. (2005). Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales Municipales Mediante Filtros Percoladores. La Habana Cuba: Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.
- Messa, C. J. (2006). Diseño, Construcción Y Arranque De Un Reactor U.A.S.B. Piloto Para El Tratamiento De Lixiviados. Universidad nacional de Colombia.
- Minambiente. (2015). parámetros fisicoquímicos y sus valores limites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas. Colombia: Resolución 631 Capitulo V.
- Miranda, R. j., Ubaque, G. c., & Pinzón, P. J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Tecnura, 149-164.

- Morgan, j. m. (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas, 16-19.
- Morón, E. (2018). Lácteo en un reactor UASB piloto. Steemit.
- Noyola, A., & Morgan, J. M. (1997). Tratamiento anaeróbico de aguas residuales - proceso de digestión anaeróbica, Foro Internacional, Comparación y complementación de tecnologías en aguas residuales domésticas para comunidades. Cali.
- Peña, M. E. (2013). Tratamiento de aguas residuales. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Ramírez, G. H. (2017). Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICO del Rio Botello ubicado en el municipio de Facatativá. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD.
- Ramírez, G., & Palacios, A. (2004). Estudio de impacto ambiental para el proyecto minidistrito de riego Asomiraflores en El Municipio De Garzón. Neiva.
- RAS. (2000). Aspectos Generales De Los Sistemas De Agua Potable Y Saneamiento Básico. Bogotá.
- RAS. (2000). reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico título E tratamiento de aguas residuales sección II. Bogotá: Republica de Colombia ministerio de desarrollo económico dirección de agua potable y saneamiento básico.
- RAS. (2016). Título D Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Aguas Lluvias. Bogotá.
- Rodie, E. (1987). Tratamiento de aguas residuales Capitulo IV. México: Continental S.A.
- Rojas, J. A. (2004). Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Bogotá.
- Rojas, T. A., & Ortiz, C. P. (2017). Evaluación De Dos Lechos Filtrantes Anaeróbicos De Flujo Ascendente En Guadua (*Angustifolia Kunth*) Para El Tratamiento De Las Aguas Residuales De La Universidad Surcolombiana Sede Pitalito. Pitalito: Universidad Surcolombiana.
- Ruiz, I., Álvarez, J. A., & Soto, M. (2002). El potencial de la digestión anaerobia en el tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes de baja carga orgánica. Universidad de Coruña. Facultad de Ciencias. Campus da Zapateira s/n, 15071 A Coruña.
- Samboni, N. E., Reyes, A., & Carvajal, Y. (2011). Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. Cali.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reusó de aguas residuales domésticas en agricultura. Universidad del Valle.
- Silva, P., Medina, C., Hamner, T., & Rojas, S. (2015). Ruta del cambio Pitalito 2030 consiente y comprometido con el cambio climático. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co>

Thurnhofer, M. (2006). Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Programa de Agua y Saneamiento Región América Latina y el Caribe.

Troconis, A. (2010). Tratamiento de aguas residuales. Belzona.

Zapata, N. R., Hernández, M. L., & Oliveros, E. F. (2010). Manejo Integrado del Agua. Tratamiento de aguas residuales. Manizales.

8. ANEXOS

Anexo 1. Parámetros analizados en la salida de la PTAR. (1 análisis)



LABORATORIO DIAGNOSTICAMOS SAS
DIVISION AMBIENTAL
 Nit 800.179.073-9
 Carrera 11 N° 7-45, Nuvia - Huila,
 Teléfonos 8723922 – 8714977 – 8717909 ext. 303. Celular 3204124326
 E-mail: comercial@diagnosticamos.com. Web: www.diagnosticamos.com



Pag. 1 de 1

OBSERVACION

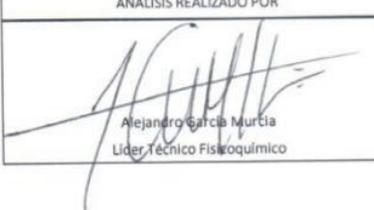
Nota 1: Cuando se Incluya la incertidumbre en un informe, el resultado se reporta como: "Resultado ± Uc mg/L; la incertidumbre expandida se calculó con un factor de cobertura de 2, que equivale a un nivel de confianza de aproximadamente 95 %".

Nota 2: (a) – Parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 1562 del 2017, 2593 de 2017 y 1557 de 2018 para aguas crudas y residuales.

Nota 3: Análisis solicitados por el cliente

DIAGNOSTICAMOS SAS
 División Ambiental

Anexo 2. Parámetros analizados en la salida de los FAFA. (1 análisis)

		LABORATORIO DIAGNOSTICAMOS SAS DIVISION AMBIENTAL NIT 800.179.073-9 Carrera 11 N° 7-46, Neiva - Huila, Teléfonos 8723922 - 8714977 - 8717909 ext. 303, Celular 3204124326 E-mail: comercial@diagnosticamos.com Web: www.diagnosticamos.com				Pag. 1 de 1		
		REPORTE DE RESULTADOS No 15227	FECHA DE EMISIÓN 2019-ABR-10					
DATOS DEL CUENTE								
NOMBRE	AMDRS LEONARDO MUÑOZ RODRIGUEZ	DIRECCIÓN	CLL 22 SUR # 3-09 SOLARTE					
CONTACTO	ANDRES LEONARDO MUÑOZ RODRIGUEZ	TELÉFONO	3134086711					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA								
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	AGUA RESIDUAL					
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE	RADICADO INTERNO	15227					
PLAN DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE TOMA	2019-MAR-28					
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE RECEPCIÓN	2019-MAR-29					
FUENTE DE MUESTREO	AGUA RESIDUAL DOMESTICA	FECHA DE ANÁLISIS	2019-MAR-29 / 2019-ABR-10					
LUGAR DE MUESTREO	USCO- PITALITO	PUNTO DE MUESTREO	DESPUES FILTROS DE GUADUA					
OTROS ¿Cuales?	CUARTO FRIO; MUESTRA COMPUESTA, UNA TOMADA A LAS 10:00 AM Y LA OTRA A LAS 2:00 PM							
CONV	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (UC)	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
A	NITROGENO TOTAL KJELDAHL	SM 4500 NORG C 4500 NH3 BC	mg/L	Subcontratado	NO REPORTA	2019-MAR-29	NO APLICA	NO APLICA
a.	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO	SM 5210B Y ASTM D888 METODO C	mg O2 /L	141.1	1.4	2019-ABR-03	NO APLICA	NO APLICA
a.	FÓSFORO TOTAL	SM22 4500 -P B,D	mg PO4-P/L	0.57	0.15	2019-MAR-30	NO APLICA	NO APLICA
	NMP COLIFORMES FECALES	SM 9223 B	NMP	240 x 100	0.022	2019-MAR-29	NO APLICA	NO APLICA
a	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540 D	mg/L	35	0.18	2019-ABR-10	NO APLICA	NO APLICA
OBSERVACION								
Nota 1: Cuando se incluya la incertidumbre en un informe, el resultado se reporta como: "Resultado ± Uc mg/L; la incertidumbre expandida se calculó con un factor de cobertura de 2, que equivale a un nivel de confianza de aproximadamente 95 %".								
Nota 2: (a) - Parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 1562 del 2017, 2593 de 2017 y 1557 de 2018 para aguas crudas y residuales.								
Nota 3: Analisis solicitados por el cliente								
ANÁLISIS REALIZADO POR			ANÁLISIS REALIZADOR POR			ANÁLISIS SUPERVISADOS POR		
 Alejandro Garcia Murcia Líder Técnico Fisicoquímico			 Rosario del Pilar Ortiz Martinez Líder Técnico Microbiológico			 Pedro Maria Zuñiga Camacho Director		

Nota: El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es válido exclusivamente para los ensayos presentados.
 ER-FR-01 REPORTE DE RESULTADOS Vigente desde 2014-01-10 / Versión 02

Anexo 3. Parámetros analizados en la descarga. (1 análisis)



LABORATORIO DIAGNOSTICAMOS SAS
DIVISION AMBIENTAL
NIT 800.179.073-9
Carrera 11 N° 7-45, Neiva – Huila,
Teléfonos 8723922 – 8714977 – 8717909 ext. 303, Celular 3204124326
E-mail: comercial@diagnosticamos.com. Web: www.diagnosticamos.com



IDEAM
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
LABORATORIO ACREDITADO
N° 101-10-0000000000
Resolución 2015 y 2018 de 2017

Pag. 1 de 1

REPORTE DE RESULTADOS No	15228	FECHA DE EMISIÓN	2019-ABR-10
DATOS DEL CLIENTE			
NOMBRE	ANDRES LEONARDO MUÑOZ RODRIGUEZ	DIRECCIÓN	CLL 22 SUR # 3-09 SOLARTE
CONTACTO	ANDRES LEONARDO MUÑOZ RODRIGUEZ	TELÉFONO	3134086711
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	AGUA SUPERFICIAL
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE	RADICADO INTERNO	15228
PLAN DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE TOMA	2019-MAR-28
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE RECEPCIÓN	2019-MAR-29
FUENTE DE MUESTREO	QUEBRADA EL PITAL	FECHA DE ANÁLISIS	2019-MAR-29 / 2019-ABR-06
LUGAR DE MUESTREO	USCO- PITALITO	PUNTO DE MUESTREO	5 METROS AGUAS ABAJO
OTROS ¿Cuales?	CUARTO FRIO		

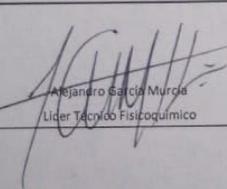
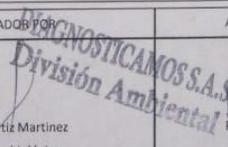
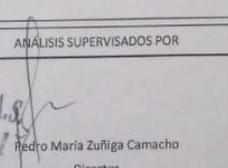
CONV	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (UC)	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
	% SATURACIÓN DE OXÍGENO	ELECTROMÉTRICO	%	111.4	NO REPORTA	2019-MAR-29	NO APLICA	NO APLICA
a.	ALCALINIDAD TOTAL	SM 2320 B	mg CaCO ₃ /L	63.2	0.057	2019-MAR-29	NO APLICA	NO APLICA
a	CONDUCTIVIDAD	SM 2510 B	µS/cm	108.97	0.21	2019-MAR-29	NO APLICA	NO APLICA
a.	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	SM 5210B Y ASTM D888 METODO C	mg O ₂ /L	< 10	1.4	2019-ABR-03	NO APLICA	NO APLICA
a	DUREZA TOTAL	SM 2340C	mg CaCO ₃ /L	31.68	0.49	2019-MAR-30	NO APLICA	NO APLICA
a.	FÓSFORO TOTAL	SM22 4500 -P B,D	mg PO ₄ -P/L	< 0.5	0.15	2019-MAR-30	NO APLICA	NO APLICA
a.	NMP COLIFORMES TOTALES	SM 9223B	NMP /100 ml muestra	3500	0.026	2019-MAR-29	NO APLICA	NO APLICA
a	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540 D	mg/L	16.0	0.18	2019-ABR-06	NO APLICA	NO APLICA

OBSERVACION

Nota 1: Cuando se incluya la incertidumbre en un informe, el resultado se reporta como: "Resultado ± Uc mg/L; la incertidumbre expandida se calculó con un factor de cobertura de 2, que equivale a un nivel de confianza de aproximadamente 95 %".

Nota 2: (a) – Parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 1562 del 2017, 2593 de 2017 y 1557 de 2018 para aguas crudas y residuales.

Nota 3: Analisis solicitados por el cliente

ANÁLISIS REALIZADO POR	ANÁLISIS REALIZADO POR	ANÁLISIS SUPERVISADOS POR
 Alejandro Garcia Murda Líder Técnico Físicoquímico	 Rosario del Pilar Ortiz Martinez Líder Técnico Microbiológico	 Pedro Maria Zuñiga Camacho Director

Nota: El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es válido exclusivamente para los ensayos presentados.
ER-FR-01 REPORTE DE RESULTADOS Vigente desde 2014-01-10 / Versión 02

Anexo 4. Parámetros analizados en la salida de la PTAR. (2 análisis)



LABORATORIO DIAGNOSTICAMOS SAS
DIVISION AMBIENTAL
Nit 800 179 073-9
 Carrera 11 N° 7-45, Neiva - Huila.
 Teléfonos 8723922 - 8714977 - 8717909 ext. 303, Celular 3204124326
 E-mail: comercial@diagnosticamos.com. Web: www.diagnosticamos.com



Pag. 1 de 1



RESULTADOS DE ANÁLISIS
R 80396



FOR 04 050, Versión 05.13/2019-04-03

Empresa: DIAGNOSTICAMOS SAS	Fecha Recepción: 2019-06-06	
Nit: N.R	Fecha de Emisión de Resultados: 2019-06-21	
Dirección: N.R	Fecha de Muestreo: 2019-06-04	
Solicitado por: ANDRES LEONARDO RODRIGUEZ	Muestreo a Cargo de: CLIENTE	
Telefono: N.R	Plan de muestreo: No Reporta	
Celular: --	Procedimiento de muestreo: No Reporta	
E-mail:	Número total de muestras: 1	
Orden de Servicio: 35382	Lugar de Muestreo: SALIDA DE PTAR	
	Tipo de muestreo: Compuesta	
	Tipo de Muestra: ARI() ARD(X) ARnD() AN() AP() AM() S() AX()	

Reporte de Resultados							
Item	Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)	Parámetro	Método	Técnica	Limite de Cuantificación del método	Unidad	15922
							MD125224
1	2019-06-13	Nitrógeno total Kjeldahl*	Semi-micro Kjeldahl SM 4500-Norg C, SM 4500 NH3 B,C	Digestión - kjeldahl	3,00	mg N/L	16,4
2	2019-06-10	Potasio Total*	SM 3030 E, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	0,125	mg K/L	9,42
3	2019-06-17	Sodio Total*	SM 3030 E, SM 3111 B	Digestión- AA - Llama Aire Acetileno	0,05	mgNa/L	15,6

ARI: Agua Residual Industrial, ARD: Agua Residual Doméstica, ARnD: Agua Residual no Doméstica, AN: Agua Superficial o Subterránea, AP: Agua Potable, S: Suelo, AM: Agua Marina, AX: Otros
 * ChemiLab tiene estos parámetros acreditados mediante Resolución 0288 de 2019-IDEAM
 ** Análisis realizados por laboratorio subcontratado acreditado
 *** Análisis realizados por laboratorio subcontratado no acreditado
 Parámetro no acreditado

Anexo 5. Parámetros analizados en la descarga. (2 análisis)



LABORATORIO DIAGNOSTICAMOS SAS
DIVISION AMBIENTAL
 Nit 800.179.073-9
 Carrera 11 N° 7-45, Naiva - Huila.
 Teléfonos 8723922 – 8714977 – 8717909 ext. 303, Celular 3204124326
 E-mail: comercial@diagnosticamos.com. Web: www.diagnosticamos.com



IDEAM
 INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
 INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
 Laboratorio Ambiental
 NIT 804621728
 Reconocido ISO 9001:2015
 2017

Pag. 1 de 1

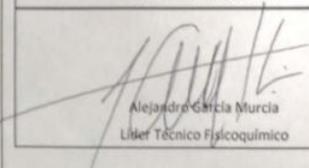
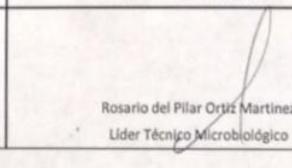
REPORTE DE RESULTADOS No	15923	FECHA DE EMISIÓN	2019-JUN-14
DATOS DEL CLIENTE			
NOMBRE	ANDRES LEONARDO MUÑOZ RODRIGUEZ	DIRECCIÓN	CLL 22 SUR # 3-09 SOLARTE
CONTACTO	ANDRES LEONARDO MUÑOZ RODRIGUEZ	TELÉFONO	3134086711
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	AGUA SUPERFICIAL
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE	RADICADO INTERNO	15923
PLAN DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE TOMA	2019-JUN-04
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE RECEPCIÓN	2019-JUN-05
FUENTE DE MUESTREO	QUEBRADA EL PITAL	FECHA DE ANÁLISIS	2019-JUN-05 / 2019-JUN-10
LUGAR DE MUESTREO	USCO SEDE PITALITO	PUNTO DE MUESTREO	AGUAS ABAJO 5 METROS
OTROS ¿Cuales?	NO REPORTA		

CONV	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (UC)	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
	% SATURACIÓN DE OXÍGENO	ELECTROMÉTRICO	%	98.5	NO REPORTA	2019-JUN-05	NO APLICA	NO APLICA
a.	ALCALINIDAD TOTAL	SM 2320 B	mg CaCO3/L	35.7	0.057	2019-JUN-05	NO APLICA	NO APLICA
A	COLIFORMES TOTALES	SM9223B	0 UFC/100 CM3	2400	N/R	2019-JUN-05	NO APLICA	NO APLICA
a	CONDUCTIVIDAD	SM 2510 B	µS/cm	89.99	0.21	2019-JUN-05	NO APLICA	NO APLICA
a.	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO	SM 5210B Y ASTM D888 METODO C	mg O2 /L	< 10	1.4	2019-JUN-05	NO APLICA	NO APLICA
a	DUREZA TOTAL	SM 2340C	mg CaCO3/L	20.0	0.49	2019-JUN-07	NO APLICA	NO APLICA
a.	FÓSFORO TOTAL	SM22 4500 -P B,D	mg PO4-P/L	0.73	0.15	2019-JUN-10	NO APLICA	NO APLICA
a	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540 D	mg/L	13.5	0.18	2019-JUN-06	NO APLICA	NO APLICA

OBSERVACION

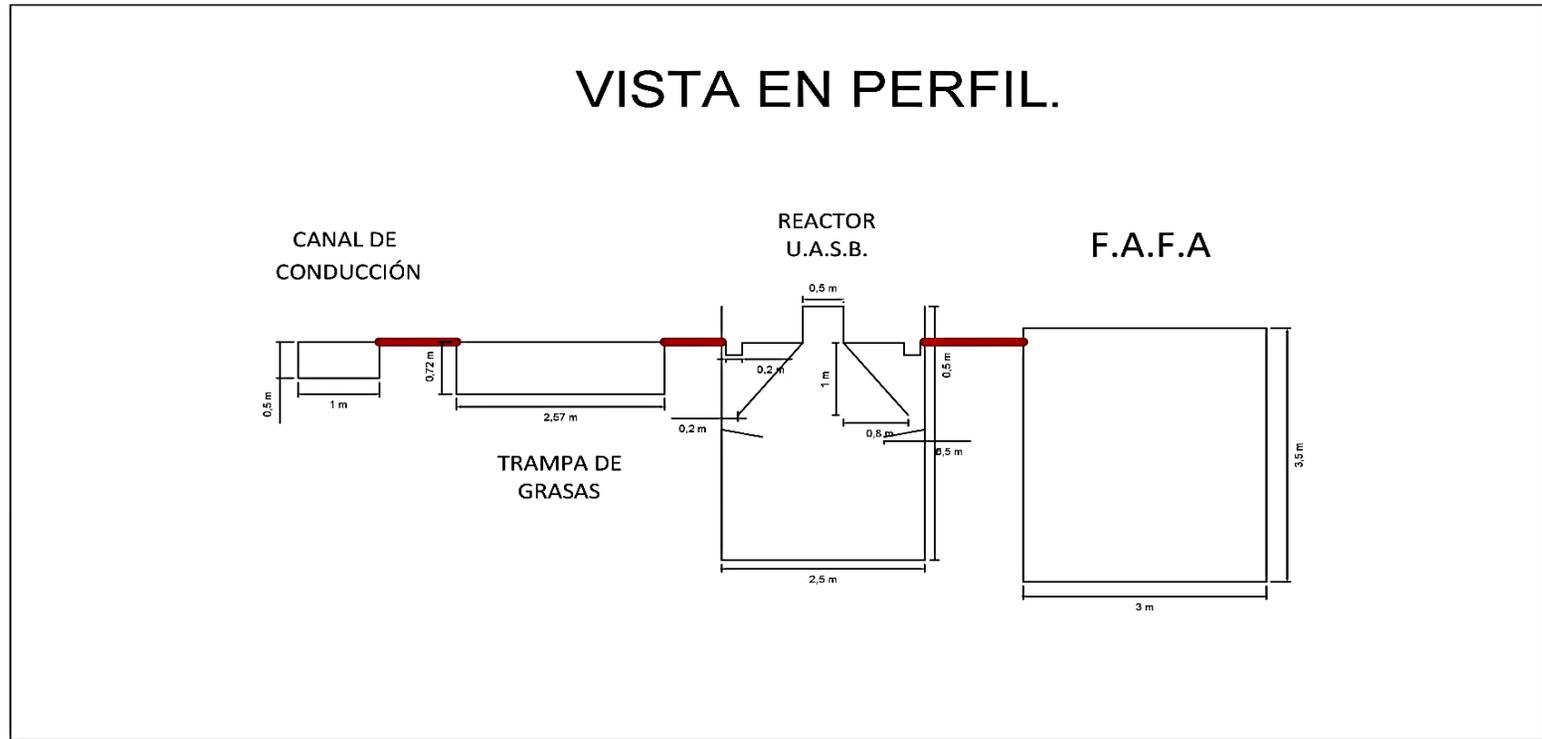
Nota 1: Cuando se incluya la incertidumbre en un informe, el resultado se reporta como: "Resultado ± Uc mg/L; la incertidumbre expandida se calculó con un factor de cobertura de 2, que equivale a un nivel de confianza de aproximadamente 95 %".

Nota 2: (a) – Parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 1562 del 2017, 2593 de 2017 y 1557 de 2018 para aguas crudas y residuales.

ANÁLISIS REALIZADO POR	ANÁLISIS REALIZADOR POR	ANÁLISIS SUPERVISADOS POR
 Alejandro García Murcia Líder Técnico Fisicoquímico	 Rosario del Pilar Ortiz Martínez Líder Técnico Microbiológico	 Pedro María Zuñiga Camacho Director

Nota: El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es válido exclusivamente para los ensayos presentados.
 ER-FR-01 REPORTE DE RESULTADOS Vigente desde 2014-01-10 / Versión 02

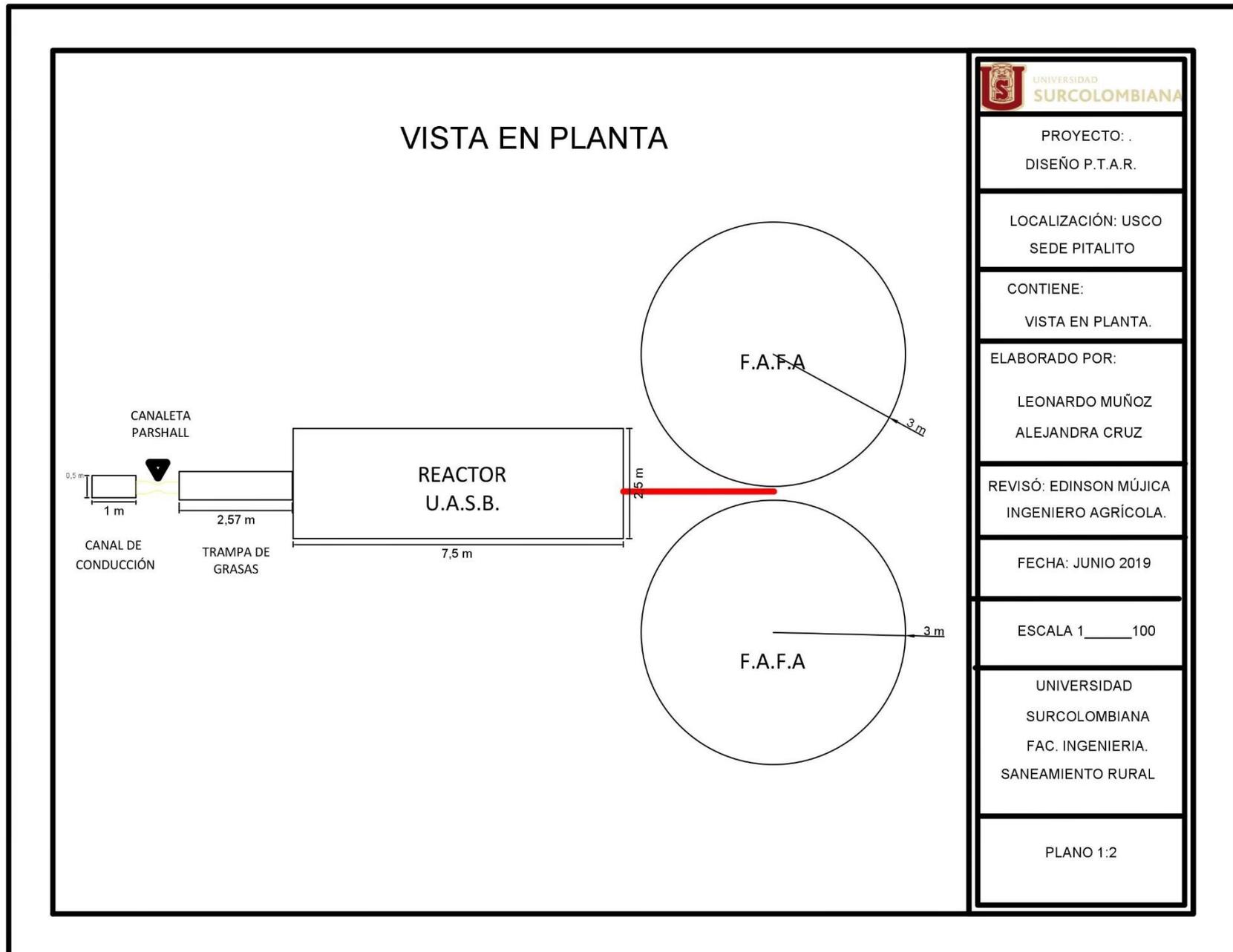
Anexo 6. Vista en perfil



PROYECTO: . DISEÑO P.T.A.R.	CONTIENE: VISTA EN PLANTA.	ELABORADO POR: LEONARDO MUÑOZ ALEJANDRA CRUZ	ESCALA 1__75
LOCALIZACIÓN: USCO SEDE PITALITO	FECHA: JUNIO 2019	REVISÓ: EDINSON MÚJICA	PLANO 1:2



Anexo 7. Vista en planta



Anexo 8. Presupuesto del tratamiento UASB

PRESUPUESTO DE OBRA				MUNICIPIO: Pitalito		
PRESUPUESTO PARA INSTALACIÓN DE UASB				LOCALIZACIÓN: Universidad Surcolombiana		
				FECHA: 14/09/2019		
				PRESENTÓ: Erika Alejandra Cruz; Andrés Leonardo Muñoz		
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	VALOR UNITARIO	V/TOTAL	REF. VALOR UNITARIO
1	PRELIMINARES					
1.1	Localización Y Replanteo	M ²	18,75	\$ 2.187,0	\$ 41.006,3	Alcaldía De Pitalito
1.2	Demolición De Concreto Con Retiro	M ²	18,75	\$ 16.507,0	\$ 309.506,3	Alcaldía De Pitalito
				SUBTOTAL	\$ 350.512,5	
2	EXCAVACION Y RELLENOS					
2.1	Excavación Manual Con Retiro. h=2.9m	M ³	37,50	\$ 30.651,0	\$ 1.149.412,5	Alcaldía De Pitalito
2.2	Relleno En Recebo Compactación Mecánica	M ³	37,50	\$ 47.402,0	\$ 1.777.575,0	Alcaldía De Pitalito
				SUBTOTAL	\$ 2.926.987,5	
3	CIMENTACION Y ESTRUCTURA					
3.1	Concreto Ciclópeo F'c= 17,5Mpa De Sección 0.30x0.30m	M ³	1,8	\$ 370.000,0	\$ 666.000,0	Alcaldía De Pitalito
3.2	Vigas De Cimentación En Concreto De F' C=21 Mpa Sección 0.20*0.25m	M ³	1	\$ 705.013,0	\$ 705.013,0	Alcaldía De Pitalito
3.3	Acero De Refuerzo Fy =60000psi En Varilla 4 #4 Para Viga De Cimentación Y Estribos Cada 20 Cm	KG	170	\$ 4.761,0	\$ 809.370,0	Alcaldía De Pitalito
3.4	Columna De 30x30cm En Concreto 3000 Psi Con Varilla De 1/2	M ³	1,62	\$ 843.274,0	\$ 1.366.103,9	Alcaldía De Pitalito
3.5	Vigas De Amarre En Concreto De 3000psi Sección 0.20*0.15 M Con Refuerzo De 3/8	M ³	0,6	\$ 505.013,0	\$ 303.007,8	Alcaldía De Pitalito
3.6	Placa En Concreto De 3000psi Esp=010mt	M ²	37,50	\$ 65.375,0	\$ 2.451.562,5	Alcaldía De Pitalito
3.7	Deflectores En Concreto De F' C=21 Mpa e = 0.07m	M ²	7,50	\$ 67.890,0	\$ 509.175,0	Alcaldía De Pitalito
				SUBTOTAL	\$ 6.810.232,2	
4.	MAMPOSTERÍA					
4.1	Muro En Bloque °N 5 Incluyen Mortero De Pega E Instalación	M ²	52,8	\$ 43.000,0	\$ 2.270.400,0	Alcaldía De Pitalito
4.2	Mortero 1:3 De Nivelación Impermeabilizado Espesor 2,5cm	M ²	120	\$ 43.850,0	\$ 5.262.000,0	Alcaldía De Pitalito
4.3	SIKATOP - SEAL 107 20 Kg (Impermeabilizante de muros de contención y tanques de almacenamiento parte interna)	UNI	2	\$ 114.900,0	\$ 229.800,0	Alcaldía De Pitalito
				SUBTOTAL	\$ 7.762.200,0	
5	TUBERÍA					
5.1	Tubo Metálico De Alta Resistencia De 6 Pulgadas	ML	15	\$ 105.977,0	\$ 1.589.655,0	Coval
5.2	Tubo Corrugado En Pvc De 12 Pulgadas	ML	14	\$ 87.417,0	\$ 1.223.838,0	Pavco
				SUBTOTAL	\$ 2.813.493,0	
6	ACCESORIOS					
6.1	Tapa De Hierro De 50x50 Cm	UNI	1	\$ 250.000,00	\$ 525.000,0	Homecenter
				SUBTOTAL	\$ 525.000,0	
				SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS	\$ 21.188.425,2	
COSTOS INDIRECTOS (Sobre los costos directos)						
(A) ADMINISTRACION				15%	\$ 3.178.263,8	
(I) IMPREVISO				5%	\$ 1.059.421,3	
(U) UTILIDAD				5%	\$ 1.059.421,3	
IVA SOBRE UTILIDAD				19%	\$ 201.290,0	
				SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS	\$ 5.498.396,3	
				VALOR TOTAL DE LA OBRA	\$ 26.686.821,5	
				Valor por m2	\$ 1.423.297,1	

Anexo 9. Presupuesto del tratamiento FAFA

PRESUPUESTO DE OBRA (FAFA)				MUNICIPIO: Pitalito		
PRESUPUESTO PARA INSTALACIÓN DE LOS DOS FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE CON LECHO DE GUADUA Y CAFÉ				LOCALIZACION: Universidad Surcolombiana		
				FECHA: 14/09/2019		
				PRESENTÓ: Erika Alejandra Cruz; Andrés Leonardo Muñoz		
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	VALOR UNITARIO	V/TOTAL	REF. VALOR UNITARIO
1	PRELIMINARES					
1.1	Localización y replanteo	M ²	32	\$ 2.187,0	\$ 69.984,0	Alcaldía De Pitalito
1.2	Demolición de concreto con retiro	M ²	32	\$ 16.507,0	\$ 528.224,0	Alcaldía De Pitalito
				SUBTOTAL	\$ 598.208,0	
2	EXCAVACION Y RELLENOS					
2.1	Excavación manual con retiro. h =1 m	M ³	32	\$ 30.651,0	\$ 980.832,0	Alcaldía De Pitalito
2.2	Relleno en recebo compactación mecánica	M ³	32	\$ 47.402,0	\$ 1.516.864,0	Alcaldía De Pitalito
				SUBTOTAL	\$ 2.497.696,0	
3	CIMENTACION Y ESTRUCTURA					
3.2	Vigas de cimentación en concreto de f'c=21 Mpa sección 0.20*0.25 m	M ³	1,16	\$ 705.013,0	\$ 1.410.026,0	Alcaldía De Pitalito
3.3	Acero de refuerzo fy= 60000 psi en varilla 4#4 para viga de cimienta en concreto f'c=21mpa sección 0.20*0.25 m	KG	111	\$ 4.761,0	\$ 528.471,0	Alcaldía De Pitalito
3.3	Placa de piso en concreto de 3000psi esp=010mt	M ²	32	\$ 65.375,0	\$ 2.092.000,0	Alcaldía De Pitalito
				SUBTOTAL	\$ 4.030.497,0	
4.	ACCESORIOS					
4.1	Tubería de 6"	ML	6,5	\$ 26.150,0	\$ 169.975,0	Alcaldía De Pitalito
				SUBTOTAL	\$ 169.975,0	
5	TANQUE EN FIBRA DE VIDRIO FAFA					
4.1	Tanque en fibra de vidrio FAFA de 3 m de diámetro por 3.5 de alto	UNI	2	\$ 15.600.000,0	\$ 31.200.000,0	Alcaldía De Pitalito
				SUBTOTAL	\$ 31.200.000,0	
				SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS	\$ 38.496.376,0	
COSTOS INDIRECTOS (Sobre los costos directos)						
(A) ADMINISTRACION				15%	\$ 5.774.456,4	
(I) IMPREVISIO				5%	\$ 1.924.818,8	
(U) UTILIDAD				5%	\$ 1.924.818,8	
IVA SOBRE UTILIDAD				19%	\$ 7.314.311,4	
				SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS	\$ 16.938.405,4	
				VALOR TOTAL DE LA OBRA	\$ 55.434.781,4	
				Valor por m2	\$ 1.732.336,9	

**Los valores en los presupuestos fueron sacados de la página SECOP (sistema electrónico de contratación pública).

Anexo 10. Cotización de los filtros FAFA



REGIMEN SIMPLIFICADO

RUT

71638037-1

RUT 43066827-4

Todo lo relacionado con la fibra de Vidrio
Fabricacion de Tanques para almacenamiento de agua,
Plantas para Tto de agua residual-potable, Pozos Septicos
Cajones Domiciliarios, Coches-tilines venta Helados
Modelos-Moldes-Trabajos Especiales.

DIR: Calle 68 No 147-65 TELEFAX:5362061
VEREDA TRAVESIAS- SAN CRISTOBAL
Cels:3166322014-3157670319
Email: fibraswaz@yahoo.com.co
[Email:fibraswaz1@gmail.com](mailto:fibraswaz1@gmail.com)
www.cylex.com:fibraswaz
[FACEBOOK:facebook.com/fibraswaz](https://www.facebook.com/fibraswaz)
MEDELLIN-COLOMBIA

Medellin, Septiembre 23 de 2019
SEÑORA
[ALEJANDRA CRUZ](#)

[Email:a_lejandra_2512@hotmail.com](mailto:a_lejandra_2512@hotmail.com)
[Ciudad](#)
[Estamos dando respuesta a su](#)
[solicitud de cotizacion de:](#)

COTIZACION
No 1121-19

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	V/UNITARIO	V/TOTAL
	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PTAR EN FIBRA DE VIDRIO DE 3 MTS DE DIAMETRO X 3.50 DE LARGO	15.600.000	15.600.000

ESPECIFICACIONES: CAPACIDAD SUMINISTRADA POR EL CLIENTE
FABRICADA EN POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO MATT 450 Grs, WOVEN ROVING DE 800 Grs,
GANCHOS DE ISAJE, ACCESORIOS EN PVC, PINTURA TOP COAT EXTERIOR CON PROTECCION UV

FIBRAS WAZ NO ASUME FLETES
VALIDEZ DE ESTA OFERTA: 30 DIAS

VALOR TOTAL:
TIEMPO DE ENTREGA: A CONVENIR
GARANTIA: 3 AÑOS POR DEFECTOS DE FABRICACION
FORMA DE PAGO: **60% ANTICIPO AL INICIAR OBRA...SALDO CONTRA AVISO DE DESPACHO (SIN EXCEPCION
NO SE HACE ENTREGA DE MERCANCIA HASTA TANTO NO SE VERIFIQUE CONSIGNACION DEL SALDO EN
NUESTRA CUENTA)**
**NOTA: EN CASO DE SER APROBADA ESTA COTIZACION SE INICIA PRODUCCION
UN DIA DESPUES DE VERIFICADA CONSIGNACION DEL ANTICIPO.**

NOTA: ESTE VALOR ES UNITARIO, SIN RETEFUENTE

Cualquier información adicional con gusto la suministraremos

Atentamente,
FIBRAS WAZ
Gloria Patricia Velasquez M
Gerente

Anexo 11. Imágenes de la planta actual

