



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 6 de julio de 2017

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Albenis Torres Rojas, con C.C. No. 36284178 y Jessica Paola Claros Ortiz, con C.C. No. 1083898994 autoras de la tesis y/o trabajo de grado titulado evaluación de dos filtros anaeróbicos de flujo ascendente en guadua (*angustifolia kunth*) para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la Universidad Surcolombiana Sede Pitalito presentado y aprobado en el año 2017 como requisito para optar al título de INGENIERO AGRÍCOLA.

Autorizamos 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.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: ALBERTO DE LA ROSA

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Paola Claros



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: 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.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Torres Rojas Claros Ortiz	Albenis Jessica Paola

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: Ingeniera Agrícola

CIUDAD: Pitalito

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2017

NÚMERO DE PÁGINAS: 90

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general
Grabados ___ Láminas ___ Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos
Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas o Cuadros



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

MATERIAL ANEXO:

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

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Agua residual domestica	Domestic wastewater
2. Filtro anaerobio	Anaerobic filter
3. Lecho filtrante	Filter bed

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Con el propósito de implementar un sistema que mejore la calidad del vertimiento del agua residual domestica realizado por la Universidad Surcolombiana sede Pitalito a la quebrada el Pital, se construyeron dos Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente, con lecho filtrante en guadua (*Angustifolia kunth*), con dos tipos de figuras geométricas (semicírculos y cuartos de círculo), con el fin de comparar la eficiencia en la remoción de carga contaminante entre estos; determinando las propiedades físicas de la guadua y la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual. Se tomaron 5 muestras del efluente de los filtros para los análisis de laboratorio y se midieron 3 parámetros: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), Solidos Suspendidos (SS) y Coliformes Fecales (CF); in-situ pH y temperatura. En los resultados, se tuvo en cuenta el valor más alto con respecto a las eficiencias de remoción, la DBO5 fue de 47,13% en semicírculos y 12,90% en los cuartos de círculo, los SS fue de 54,54% semicírculos y 46,66% cuartos de círculo y CF 79,58% semicírculos y 95,85% cuartos de círculo, siendo este último el que presentó mejor remoción, cumpliendo con la normatividad ambiental (80%). Estos resultados no fueron los esperados, debido a que el Tanque Séptico de Acción Múltiple que abastece los filtros, recibe la combinación de aguas residuales domésticas y lluvias, aumentando el caudal y disminuyendo el tiempo de retención hidráulico, factor primordial para llevar a cabo la adaptación, crecimiento y adherencia de los microorganismos que realizan la descomposición de la materia orgánica.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)



With the purpose of implementing a system that improves the quality of the domestic wastewater discharged by Universidad Surcolombiana Pitalito headquarters to the stream named Pital, two Anaerobic Flow filters were built, with filter bed in guadua (*Angustifolia Kunth*), with Two types of geometric figures (semicircles and quarter circles), in order to compare the efficiency in the removal of pollutant load among them. For this purpose, the physical properties of the guadua (green bamboo) and the physicochemical and microbiological characterization of the residual water were determined. Five samples were taken from the filter affluent for the laboratory analyzes, where three parameters were measured: Biological Oxygen Demand (BOD5), Suspended Solids (SS) and Fecal Coliform (CF); In-situ pH, and temperature. As a result, we took into account the highest value with respect to the removal efficiencies, the BOD5 was 47.13% in semicircles and 12, 90% in the quarter, the SS were 54.54% Semicircles and 46.66% quarters of circle and CF 79.58% semicircles and 95.85% circle, the latter being the one that presented the best removal, complying with environmental regulations (80%). These results were not expected, because the Multiple Action Septic Tank that supplies the anaerobic filters, receives the combination of domestic wastewater and rainwater, increasing in this way the flow rate and decreasing the hydraulic retention time (HRT), a prime factor for that the adaptation, growth and adhesion of the microorganisms responsible for the decomposition of organic matter are carried out.

APROBACIÓN DE LA TESIS

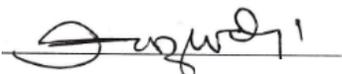
Nombre Presidente Jurado: Edinson Mujica Rodríguez

Firma: 

Nombre Jurado: Wilson Javier Erazo Espinoza

Firma: Wilson. J. Erazo. E

Nombre Jurado: Martin Emilio Orozco Chávarro

Firma: 

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.

ALBENIS TORRES ROJAS
JESSICA PAOLA CLAROS ORTIZ

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
PITALITO HUILA
JUNIO DE 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.

ALBENIS TORRES ROJAS
JESSICA PAOLA CLAROS ORTIZ

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

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

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
PITALITO HUILA
JUNIO DE 2017

Nota de aceptación:

Les doy una nota aprobatoria en
reconocimiento a un buen trabajo.



Firma del Director

EDINSON MUJICA RODRÍGUEZ

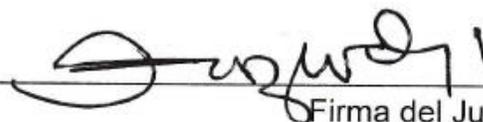
MSc en ingeniería agrícola y uso integral del agua

Wilson. J. Erazo. E

Firma del Jurado

WILSON JAVIER ERAZO

MSc en energías renovables y sostenibilidad energética



Firma del Jurado

EMILIO OROZCO CHAVARRO

Arquitecto

DEDICATORIA

ALBENIS TORRES ROJAS

A ti Dios padre todo poderoso, por guiar mis pasos hacia mi meta, por escucharme y permitirme realizar uno de mis mayores sueños, por ser mi compañía y mi consuelo en los momentos más difíciles, por ti y para ti es este logro, haz de mi un instrumento de tu grandeza, que se haga siempre tu voluntad y nunca la mía. Gracias por toda tu bondad.

A mi esposo Leonardo, por su apoyo incondicional, por su amor, comprensión y ayuda cuando más lo necesité, a mis hijos Santiago y Juliana, que son mi tesoro más valioso. Los amo infinitamente.

A mis padres Marco Fidel y Lucrecia, mis hermanos Nancy, Marco Fidel, Rodrigo y Arbey (Q.E.P.D.). A la tía Bertha y mis sobrinas: María Lizeth, Lina Sofía y Nana, por animarme a continuar sin desistir.

A mi amiga Paola Claros, por ser mi compañera y apoyo en esta travesía que juntas decidimos emprender de la mano de Dios.

Para ustedes con todo mi amor y gratitud.

DEDICATORIA

JESSICA PAOLA CLAROS ORTIZ

Te dedico este trabajo principalmente a ti Dios, por darme la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Por los momentos difíciles que tuve que afrontar y supere con tu ayuda, porque me has enseñado a valorarte y quererte cada día más, permitiéndome alcanzar mis triunfos y haciendo de mí un instrumento tuyo.

A mis padres Margarita y Arley por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, juntos me han enseñado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi dedicación, mi perseverancia, mi coraje para conseguir materializar mis objetivos y lograr ser la profesional que quiero. Los amo infinitamente.

A mis abuelitos, tíos, tías, primas y primos, por su gran apoyo a lo largo de mi carrera. A todos ustedes mi amor y aprecio por haber llenado mi vida de gratos momentos.

A mi novio Wilmer Argote, que durante estos años de carrera ha sabido apoyarme para continuar y nunca renunciar, gracias por su amor incondicional, su comprensión y por su ayuda en mi proyecto. Te amo.

A mi compañera y amiga Albenis Torres porque sin el equipo que formamos, no habiéramos logrado esta meta.

A todos los llevo en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

ALBENIS TORRES Y JESSICA PAOLA CLAROS

A la Universidad Surcolombiana por abrirnos sus puertas al conocimiento. Nuestro lugar de aprendizaje, de adquirir diversas experiencias y de impulsarnos a lograr grandes cosas en la vida profesional.

A todos los profesores que contribuyeron con nuestra formación académica y personal en el transcurso de la carrera, en especial al MSc Miguel Ángel Valenzuela, al Ingeniero Renso Alfredo Aragón, al MSc Yony Arley Chávez, a la MSc Hasbleidy Andrea Pasinga, al ingeniero Eivar Fabián Ortiz y al decano de la facultad de ingeniería MSc Mauricio Duarte, les agradecemos por el apoyo brindado, por su tiempo, su amistad y por todos los conocimientos que nos transmitieron.

A nuestros compañeros por ser parte de este proceso formativo y por todos los momentos que compartimos, jamás olvidaremos nuestras aventuras tanto en la universidad como fuera de ella. Bendiciones

A nuestro director de proyecto de grado MSc Edinson Mujica Rodríguez, por su esfuerzo, dedicación y experiencia, quien con su conocimiento y asesoría fue fundamental para llevar a cabo este proyecto, motivándonos a formarnos como investigadoras.

A doña Gladys Quino, que no solo cumple su función como secretaria en nuestra facultad sino que siempre estuvo atenta a nuestro.

A Gestores de Conocimiento por haber financiado en su totalidad nuestro proyecto de grado y permitir nuestra vinculación a la investigación.

A don Gustavo Salazar el fontanero quien contribuyo con su valioso trabajo para poder llegar a feliz término.

A todos infinitas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	12
SUMMARY.....	13
1 INTRODUCCIÓN.....	13
2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
3 JUSTIFICACIÓN.....	16
4 OBJETIVOS.....	17
4.1 OBJETIVO GENERAL	17
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
5 MARCO REFERENCIAL	18
5.1 AGUAS RESIDUALES	19
5.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	20
5.3 NIVELES DE TRATAMIENTO	21
5.4 PROCESOS BIOLÓGICOS	23
5.4.1 Proceso aerobio	24
5.4.2 Proceso Anaerobio.....	24
5.5 REACTORES ANAEROBIOS	26
5.6 FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE	27
5.6.1 Diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)	28
5.6.2 Desempeño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)	30
5.6.3 Condiciones de operación y mantenimiento.....	33
5.6.4 Arranque del filtro	33
5.6.5 Configuración del filtro.....	34
6 METODOLOGÍA	41
6.1 ETAPAS	41
6.2 LOCALIZACIÓN	42
6.3 FASE 1. APRESTAMIENTO	43
6.3.1 Reconocimiento del lugar.....	43
6.3.2 Limpieza y adecuación del TSAM	44
6.4 FASE 2. LABORATORIO	45

6.4.1	Selección de los Biotipos de Guadua.....	45
6.4.2	Corte de los anillos.....	45
6.4.3	Determinación de las propiedades físicas de los semicírculos y cuartos de círculo de guadua	45
6.4.3.1	Determinación del volumen (cm^3), método medición directa	46
6.4.3.2	Determinación del contenido de humedad (%), método gravimétrico.....	47
6.4.4	Determinación de las propiedades físicas del medio de soporte	48
6.4.4.1	Porosidad del lecho (%), método volumétrico	48
6.4.4.2	Determinación del volumen real (cm^3), método medición directa....	48
6.4.4.3	Área específica de contacto (m^2/m^3)	49
6.4.4.4	Peso específico (g/cm^3).....	50
6.5	FASE 3. TRABAJO DE CAMPO.....	51
6.5.1	Instalación de las Unidades Experimentales (Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente).....	51
6.5.2	Tratamiento preliminar y primario	52
6.5.3	Tratamiento secundario.....	52
6.5.4	Arranque y operación de los FAFAs	54
6.5.4.1	Aforo	54
6.5.4.2	Inoculación.....	55
6.5.4.3	Operación y mantenimiento del sistema	56
6.5.5	Muestreo	57
6.5.5.1	Análisis físico-químico y microbiológico	58
6.5.6	Evaluación de la eficiencia de los FAFAs.....	61
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
7.1	PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SEMICÍRCULOS Y CUARTOS DE CÍRCULO DE GUADUA	62
7.1.1	Volumen de semicírculos y cuartos de círculo	62
7.1.2	Contenido de Humedad	63
7.1.3	Propiedades físicas del lecho.....	63
7.1.3.1	Porosidad.....	63
7.1.3.2	Área específica de contacto	65

7.1.3.3	Peso específico	67
7.2	CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL	68
7.2.1	Temperatura (°C)	68
7.2.2	Potencial de Hidrógeno (pH)	68
7.2.3	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).....	69
7.2.4	Sólidos Suspendidos (SS).....	71
7.2.5	Coliformes Fecales (CF)	73
7.3	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA DBO ₅ , SS Y CF	75
7.3.1	Eficiencia de remoción de DBO ₅ obtenidos en los FAFAs	75
7.3.2	Eficiencia de remoción de los SS obtenidos en los FAFAs	78
7.3.3	Eficiencia de remoción de CF obtenidos en los FAFAs.....	80
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
9	BIBLIOGRAFÍA.....	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de los principales niveles de tratamiento	22
Tabla 2. Ventajas y desventajas del proceso anaerobio	26
Tabla 3. Requerimientos del medio filtrante de los filtros anaerobios.....	36
Tabla 4. Volumen promedio de los semicírculos y cuartos de círculo.	62
Tabla 5. Porosidad promedio de los semicírculos y cuartos de círculo.	64
Tabla 6. Área específica del lecho filtrante para las figuras geométricas.	65
Tabla 7. Media de área específica de contacto de los lechos filtrantes.....	65
Tabla 8. Peso específico de los semicírculos y cuartos de círculo.	67
Tabla 9. Media de DBO ₅ (mgO ₂ /L) en el funcionamiento de los FAFAs.	71
Tabla 10. Media de los SS (mg/L) en el funcionamiento de los FAFAs	72
Tabla 11. Media de los CF en el funcionamiento de los FAFAs.	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Procesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales....	27
Figura 2. Criterios de dimensionamiento de un FAFa.....	28
Figura 3. Corte transversal de un FAFa con falso fondo	35
Figura 4. Diferentes tipos de empaque para filtros.....	37
Figura 5. Diagrama de flujo de las fases de la metodología desarrollada ...	41
Figura 6. Localización zona de estudio	42
Figura 7. Reconocimiento del lugar.....	43
Figura 8. Adecuación para la instalación de todo el sistema	44
Figura 9. Biotipos de guadua y corte.....	45
Figura 10. Determinación del volumen.....	47
Figura 11. Determinación del contenido de humedad.....	48
Figura 12. Determinación de la porosidad	49
Figura 13. Determinación del peso específico	50
Figura 14. Esquema general del sistema.....	51
Figura 15. Tratamiento primario, TSAM	52
Figura 16. Zona de entrada del afluente al filtro.....	53
Figura 17. Material filtrante y accesorios de la zona de empaque	54

Figura 18. Zona de salida del EF de los FAFAs.....	54
Figura 19. Caudal promedio.....	55
Figura 20. Inoculación al arranque del sistema.....	56
Figura 21. Limpieza al sistema.....	57
Figura 22. Esquema general de los puntos de muestreo y FAFAs	58
Figura 23. Descripción de la toma de muestras del AF y EF	59
Figura 24. Valores del pH en los puntos de muestreo	69
Figura 25. Valores de la DBO ₅ en los puntos de muestreo.....	70
Figura 26. Media de DBO ₅ durante el funcionamiento de los FAFAs.....	71
Figura 27. Valores de los SS en los puntos de muestreo	72
Figura 28. Media de los SS durante el funcionamiento de los FAFAs.	73
Figura 29. Valores de los CF en los puntos de muestreo	73
Figura 30. Media de los CF durante el funcionamiento de los FAFAs.	74
Figura 31. Variación de la remoción de la DBO ₅ en semicírculos.....	75
Figura 32. Variación de la remoción de la DBO ₅ en cuartos de círculo.....	76
Figura 33. Eficiencia DBO ₅ vs Porosidad en los FAFAs.	78
Figura 34. Eficiencia DBO ₅ vs Área específica de contacto.....	78
Figura 35. Variación de la remoción de los SS en los semicírculos	79
Figura 36. Variación de la remoción de los SS en los cuartos de círculo....	80
Figura 37. Variación de la remoción de los CF en los semicírculos	80
Figura 38. Variación de la remoción de los CF en los cuartos de círculo....	81

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Plano planta general del sistema TSAM y FAFAs	89
Anexo B. Reporte de resultados muestra N° 3 de laboratorio	90
Anexo C. Reporte de resultados muestra N° 3 de laboratorio	91
Anexo D. Reporte de resultados muestra N° 3 de laboratorio	92

RESUMEN

Con el propósito de implementar un sistema que mejore la calidad del vertimiento del agua residual doméstica realizado por la Universidad Surcolombiana sede Pitalito a la quebrada el Pital, se diseñaron y construyeron dos Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente, con lecho filtrante en guadua *Angustifolia kunth*, con dos tipos de figuras geométricas (semicírculos y cuartos de círculo), con el fin de comparar la eficiencia en la remoción de carga contaminante entre estos. Para ello se determinaron las propiedades físicas de la guadua y la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual. Para agilizar el proceso de arranque de los filtros se realizó la inoculación con lodo procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales. Se tomaron 5 muestras del efluente de los filtros para los análisis de laboratorio, la primera al mes del arranque y las siguientes cuatro con intervalos de 8 días entre sí, donde se midieron 3 parámetros: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos Suspendidos (SS) y Coliformes Fecales (CF); *in – situ* se midió pH, y temperatura.

En los resultados, se tuvo en cuenta el valor más alto con respecto a las eficiencias de remoción, la DBO₅ fue de 47.13% en semicírculos y de 12.90% en los cuartos de círculo, los SS fue de 54.54% semicírculos y 46.66% cuartos de círculo y CF 79.58% semicírculos y 95.85% cuartos de círculo, siendo este último el que presentó mejor porcentaje de remoción, cumpliendo con los requerimientos exigidos por la normatividad ambiental (80%). Estos resultados no fueron los esperados, debido a que el Tanque Séptico de Acción Múltiple (TSAM) que abastece los filtros Anaerobios, recibe la combinación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias, aumentando el caudal y disminuyendo el tiempo de retención hidráulico (TRH), factor primordial para que se lleve a cabo la adaptación, crecimiento y adherencia de los microorganismos encargados de realizar la descomposición de la materia orgánica.

Palabras clave: Agua residual doméstica, filtro Anaerobio, lecho filtrante.

SUMMARY

With the purpose of implementing a system that improves the quality of the domestic wastewater discharged by Universidad Surcolombiana Pitalito headquarters to the stream called Pital, two Anaerobic Flow filters were designed and built with filter bed in guadua *Angustifolia Kunth*, with Two types of geometric figures (semicircles and quarter circles), in order to compare the efficiency in the removal of pollutant load among them. For this purpose, the physical properties of the guadua (green bamboo) and the physicochemical and microbiological characterization of the residual water were determined. In order to expedite the process of starting the filters, the inoculation was carried out with sludge from a wastewater treatment plant. Five samples were taken from the filter affluent for the laboratory analyzes, the first at the start month and the next one four at intervals of eight days with each other, where three parameters were measured: Biological Oxygen Demand (BOD5), Suspended Solids (SS) and Fecal Coliform (CF); In-situ pH, and temperature were measured as well.

As a result, we took into account the highest value with respect to the removal efficiencies, the BOD5 was 47.13% in semicircles and 12, 90% in the quarter of the circle, the SS were 54.54% Semicircles and 46.66% quarters of circle and CF 79.58% semicircles and 95.85% quarter of circle, the latter being the one that presented the best percentage of removal, meeting the requirements required by environmental regulations (80%). These results were not expected, because the Multiple Action Septic Tank that supplies the anaerobic filters, receives the combination of domestic wastewater and rainwater, increasing in this way the flow rate and decreasing the hydraulic retention time (HRT), a prime factor for that the adaptation, growth and adhesion of the microorganisms responsible for the decomposition of organic matter are carried out.

Keywords: Domestic wastewater, anaerobic filter, filter bed

1 INTRODUCCIÓN

En el ámbito mundial, existen numerosos estudios que proporcionan datos alarmantes acerca del impacto negativo que el hombre ocasiona a los recursos hídricos y se observa un incremento de la contaminación de los cuerpos receptores debido al manejo y vertimiento inadecuado de las aguas residuales de origen urbano e industrial (Pérez et al., 2008)

En la actualidad, el tratamiento de aguas residuales tanto domésticas como industriales, se ha vuelto un tema muy común y necesario (García, 2015). Las reservas de agua disponibles para la población en el mundo, están disminuyendo por causas como deforestación acelerada, uso excesivo de aguas subterráneas, crecimiento de la población principalmente en regiones con escasez del líquido, mayor demanda de seguridad alimentaria y bienestar socio económico, y contaminación de origen industrial, urbano y agrícola (Cárdenas & Ortiz, 2014), además, de la pérdida en la calidad del agua por falta de tratamiento de aguas residuales.

Por lo tanto, se han implementado diferentes tecnologías que contribuyen a mejorar esta problemática, entre las más destacadas se encuentran los sistemas de tratamientos anaeróbicos donde la materia orgánica se convierte mediante procesos biológicos en metano y dióxido de carbono. Este proceso se desarrolla dentro de un reactor libre de oxígeno; el agua residual se introduce de forma continua y se retiene dentro del reactor por periodos variables de tiempo, después de los cuales el líquido efluente tiene una carga orgánica reducida y un menor contenido de microorganismos patógenos. En los procesos anaerobios se clasifican en procesos de crecimiento en suspensión y procesos de película bacterial adherida. En los primeros, el agua residual fluye libremente dentro del reactor y las bacterias suspendidas en el flujo se encargan de consumir la materia orgánica, transformándola en productos más sencillos; en los segundos, el agua fluye dentro de un reactor provisto de un medio inerte (piedra, plástico, cerámica, etc.), donde parte de

las bacterias se adhieren al material del medio formando una película biológica donde degradan la materia orgánica y las restantes consumen la materia orgánica presente en los intersticios o vacíos del medio. El proceso de tratamiento de película bacteriana adherida más común es el proceso de filtro anaeróbico de flujo ascendente usado para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (Tchobanoglous & Crites, 2000).

Este proyecto de investigación tiene como objetivo evaluar la utilización de dos lechos filtrantes anaerobios de flujo ascendente FAFAs, en guadua comparando la eficiencia de remoción de carga contaminante entre las figuras geométricas semicírculos y cuartos de círculo, en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Surcolombiana Sede Pitalito.

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación de las fuentes hídricas es una problemática que afecta a una región, a nivel económico, ambiental, social y político. Investigaciones como “Pre-diagnóstico de la Cuenca Quebrada El Pital”, realizada por estudiantes del programa de Ingeniería Agrícola de la sede Pitalito, corroboran que según el índice de calidad del agua en la cuenca quebrada El Pital, ésta no es apta para consumo humano, ya que presenta un alto contenido de contaminación, debido a los vertimientos de aguas residuales domésticas y del beneficio del café, por tanto deben captar el agua de la parte alta de la cuenca, aumentando los costos en la tubería de conducción. Las instituciones educativas no son ajenas a esta problemática, como es el caso de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito, aunque cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, no es eficiente y sus aguas son vertidas a la quebrada el Pital, la cual desemboca en el río Guarapas que es el segundo afluente más importante del municipio.

La contaminación de estas aguas, son una amenaza permanente para la disponibilidad del recurso hídrico aguas abajo, alterando las propiedades físico-químicas y microbiológicas de la quebrada El Pital. De acuerdo con lo

anterior, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Los lechos filtrantes anaeróbicos de flujo ascendente en Guadua (*Angustifolia Kunth*) FAFAs son eficientes para la descontaminación del agua residual doméstica en la Universidad Surcolombiana Sede Pitalito?

3 JUSTIFICACIÓN

La oferta hídrica per cápita accesible, en Colombia, se está viendo influenciada por el fenómeno del calentamiento global, por el crecimiento en la demanda en zonas con déficit hídrico y por acciones antropogénicas como la deforestación; el cambio en el uso del suelo y los vertidos de contaminantes a las fuentes de agua, lo que hacen que se presenten dificultades en la disponibilidad espacial y temporal del agua superficial a nivel regional y local. Las actividades domésticas y agrícolas contribuyen a cambiar directamente la oferta hídrica de una zona, cuando vierte directamente las aguas residuales a las fuentes o indirectamente a través de las emisiones de gases con efecto invernadero provenientes de la descomposición aeróbica o anaeróbica de la materia orgánica constitutiva de los residuos (FNC, 2010).

La depuración de aguas residuales es un tema de gran importancia para controlar los riesgos de polución y por lo tanto es necesario buscar alternativas que permitan mejorar las condiciones de los líquidos para que se puedan verter a fuentes naturales (Marin & Correa, 2010). Como consecuencia se han generado diferentes tratamientos tecnológicos que presentan ventajas y desventajas dependiendo del contexto en el que sean utilizados, entre estos se encuentran las opciones tecnológicas como los filtros anaerobios de flujo ascendente que consiste en un tanque o columna, y como lecho filtrante puede utilizar materiales no convencionales como la Guadua (*Angustifolia Kunth*). Este medio permanece sumergido en el agua residual, permitiendo una concentración alta de biomasa y un afluyente clarificado, además, puede disminuir la carga contaminante

aproximadamente entre el 80-90% de las aguas residuales. Mediante este tratamiento se pueden obtener beneficios económicos y ambientales, son de bajo costo y fácil acceso para la población en general; asimismo contribuyen a disminuir la contaminación de las aguas residuales.

El problema ambiental planteado hasta el momento ha generado una gran cantidad de investigaciones, dando origen a conocimientos y tecnologías que pueden ser empleadas para lograr una producción amigable con el ambiente, y con particular preferencia en el aprovechamiento de subproductos y la optimización del consumo de agua.

Esta investigación se desarrollará según la metodología planteada por Vargas y Silva, (2013). En el trabajo de grado del programa de ingeniería agrícola titulado “Caracterización física de dos lechos filtrantes en guadua y evaluación preliminar del lecho con forma semicírculo en filtro anaerobio de flujo ascendente”.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Determinar la eficiencia de dos lechos filtrantes anaeróbicos de flujo ascendente en Guadua (*Angustifolia Kunth*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Surcolombiana Sede Pitalito.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Construir un prototipo de filtro anaerobio de flujo ascendente con dos lechos filtrantes en guadua (*Angustifolia Kunth*).
- ✓ Caracterizar los dos lechos filtrantes anaeróbicos de flujo ascendente en Guadua (*Angustifolia Kunth*).
- ✓ Evaluar la eficiencia de los dos lechos filtrantes anaeróbicos de flujo ascendente en Guadua (*Angustifolia Kunth*) en el tratamiento de aguas residuales.

5 MARCO REFERENCIAL

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2009) en el 2025 la población mundial será del orden de 7.200 millones de personas y unas dos terceras partes se concentrarán en ciudades. Aunque la urbanización por sí misma no es un problema, los crecimientos mal planeados, por lo general, causan problemas ambientales, como agotamiento y contaminación de los recursos agua, aire y suelo por el vertimiento y manejo inadecuado de los residuos líquidos y sólidos generados (Troschinetz & Mihelcic, 2009).

Una de las prácticas más comunes de disposición final de las aguas residuales domésticas ha sido la disposición directa sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales y en el suelo; sin embargo, la calidad de estas aguas puede generar dos tipos de problemas: de salud pública, particularmente importantes en países tropicales por la alta incidencia de enfermedades infecciosas, cuyos agentes patógenos se dispersan en el ambiente de manera eficiente a través de las excretas o las aguas residuales crudas (Mara, 1996), y los problemas ambientales, por afectar la conservación o protección de los ecosistemas acuáticos y del suelo, lo que contribuye a la pérdida de valor económico del recurso y del medio ambiente y genera a su vez una disminución del bienestar para la comunidad ubicada aguas debajo de las descargas (Silva, Torres, & Madera, 2008).

El vertimiento de aguas residuales no tratadas o tratadas de manera deficiente en cuerpos de agua es un inconveniente tanto por sus impactos ambientales como por los efectos sociales conexos. Las aguas residuales constituyen un importante foco de contaminación de los sistemas acuáticos, siendo necesarios los sistemas de depuración antes de evacuarlas, como medida importante para la conservación de dichos sistemas (Gómez, 2009).

El tratamiento de las aguas residuales tiene como finalidad la reducción del impacto del vertido de éstas a cuerpos receptores, y la consideración

sanitaria del riesgo asociado al contacto del agua residual con las personas. Actualmente prevalecen otras consideraciones más de tipo hídrico y el objetivo de los tratamientos de las aguas residuales pasó a ser el mantenimiento de la calidad del agua, debido a que éste es un factor que limita la disponibilidad del recurso hídrico y restringe el rango de posibles usos, dando así prioridad al recurso de las aguas residuales (Silva, Torres, & Madera, 2008).

Según Hidalgo y Mejía (2010) en Colombia de acuerdo a estudios realizados se considera que el volumen de aguas residuales generadas es aproximadamente un 70-80% del volumen consumido como agua potable, lo que configura el grave problema que se causa por descargas incontroladas de aguas residuales o de aquellas que teniendo sistemas de tratamiento no son funcionales teniendo como causa principal la falta de mantenimiento adecuado de los mismos, siendo así más grave la solución que el problema inicial, si se considera que se han invertido recursos y un gran esfuerzo por parte de los actores involucrados.

5.1 AGUAS RESIDUALES

Definición

Las aguas residuales pueden definirse como aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias. Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual (Pinzon, 2010).

Metcalf y Eddy (2003) citado por (Silva, Torres, & Madera, 2008) afirman que las aguas residuales contienen material suspendido y componentes

disueltos, tanto orgánicos como inorgánicos. Los constituyentes convencionales presentes en aguas residuales domésticas son: sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica e inorgánica medida como demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO, respectivamente), carbono orgánico total (COT), nitrógeno (amoniaco, orgánico, nitritos y nitratos), fósforo, bacterias, protozoarios y virus. Por otro lado, problemas como la predominancia de sistemas de alcantarillado combinados (aguas residuales domésticas con aguas lluvias) y a la potencial mezcla con aguas residuales industriales, pueden encontrarse constituyentes no convencionales (orgánicos refractarios, orgánicos volátiles, tensoactivos, metales, sólidos disueltos) o emergentes (medicinas, detergentes sintéticos, antibióticos veterinarios y humanos, hormonas y esteroides, etc.).

Los riesgos asociados con estas últimas sustancias pueden constituirse en la mayor amenaza para la salud pública en el largo plazo y ser de más difícil manejo que el riesgo causado por los agentes patógenos (Mara, 1996). La cuantificación de estos componentes es condición necesaria para definir una estrategia de tratamiento que garantice técnica y económicamente una calidad del agua residual tratada adecuada para su uso posterior y para minimizar el riesgo potencial para la salud pública y el ambiente.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

La caracterización de las aguas residuales tiene la finalidad de determinar las características físicas, biológicas y químicas, y las concentraciones de los constituyentes de agua residual, así como los medios óptimos de reducir las concentraciones de contaminantes.

Para definir las condiciones en que se encuentran las aguas residuales García (2015) expresa que es importante determinar los parámetros que se explican a continuación:

- ✓ **Sólidos en suspensión:** pueden conducir al desarrollo de depósitos de lodo y condiciones anaerobias cuando se descarga agua residual sin tratar al cuerpo de agua.
- ✓ **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅):** es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento.
- ✓ **Demanda química de oxígeno (DQO):** Es la medida de oxígeno consumido por la oxidación de la materia orgánica e inorgánica en una prueba específica (Serrano, 2005).
- ✓ **pH:** El valor de pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede ser muy restrictivo y crítico, pero generalmente es de 6,5 a 8,5. Para descarga de efluentes de tratamiento secundario se estipula un pH de 6,0 a 9,0; para procesos biológicos de nitrificación se recomiendan valores de pH de 7,2 a 9,0 y para desnitrificación de 6,5 a 7,5.
- ✓ **Coliformes fecales:** el grupo coliforme incluye las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas. Su presencia en el agua se considera un índice de polución fecal y por lo tanto, de contaminación con microorganismos patógenos. En aguas residuales la relación de organismos coliformes con organismos entéricos patógenos es muy grande, del orden de 10⁶/1 Romero (2004) citado por (Marin & Correa, 2010).

5.3 NIVELES DE TRATAMIENTO

Existen diversas clasificaciones para el tratamiento de las aguas residuales: por niveles, por operaciones y procesos, por grado de complejidad y

tratamiento. En todos los casos, una adecuada selección y combinación permitirá dar cumplimiento a los requisitos del tratamiento (Noyola, 1998). La tabla 1 describe para cada nivel de tratamiento el tipo de contaminante removido, las eficiencias de reducción alcanzadas y el tipo de mecanismo predominante.

Tabla 1. Características de los principales niveles de tratamiento

Nivel de tratamiento	ÍTEM		
	Mecanismos predominante	Contaminantes removidos	Eficiencias de reducción
Preliminar	Físico	Sólidos gruesos (basuras, arenas) Grasas Acondicionamiento químico(pH)	SS: <10% DBO: <10% Coliformes: ≈ 0% Nutrientes: ≈ 0%
Primario	Físico	Sólidos suspendidos sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente)	SS: 40-50% DBO: 25-35% Coliformes: 30-40% Nutrientes: <20%
Primario avanzado	Físico y químico	Sólidos suspendidos sedimentables y no sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente) Fosforo	SS: 70-85% DBO: 45-55% Coliformes: 60-90% Nutrientes: 20%N; 50-95%P
Secundario	Biológico o químico	Sólidos no sedimentables Materia orgánica suspendida fina/soluble (parcialmente) Nutrientes (parcialmente) Patógenos (parcialmente)	SS: 60-99% DBO: 60-99% Coliformes: 60-99% Nutrientes: 10-50%
Terciario	Biológico o químico	Contaminantes específicos Materia orgánica fina y soluble (pulimento) Nutrientes Patógenos (principalmente)	SS: >99% DBO: >99% Coliformes: 99.9% Nutrientes: >90%

Fuente: (Torres P. , 2012)

Los procesos de tratamiento pueden ser fisicoquímicos o biológicos; en los primeros se hace uso de las diferencias entre las propiedades de las partículas y el agua, aplicando principios de separación como la sedimentación o flotación. En los procesos químicos se cambia la forma de las partículas que no pueden ser separadas por estos medios, mediante la aplicación de productos químicos para formar partículas de mayor densidad

que luego puedan ser separadas por métodos físicos. Algunos aspectos favorables de estos procesos son la rápida adaptación a cambios en la calidad y cantidad del agua residual y su tamaño compacto cuando se utilizan sedimentadores de alta tasa (Noyola, 1998). Los procesos químicos se utilizan en la depuración de aguas junto a operaciones físicas y procesos biológicos (Muñoz, 2008).

5.4 PROCESOS BIOLÓGICOS

Los procesos biológicos parten de los principios que ocurren de manera natural en ríos, lagos o suelos, donde los microorganismos presentes consumen la materia orgánica y generan nuevo material celular o gas; los objetivos principales son estabilizar la materia orgánica y coagular y remover los sólidos coloidales que no se sedimentan de manera natural (Crites & Tchobanoglou, 2000).

Este tratamiento se puede realizar en todo tipo de aguas y es generalmente un tratamiento secundario. Según el tipo de agua residual a tratar los objetivos en el tratamiento biológico pueden diferenciarse ligeramente; en el tratamiento de aguas residuales domésticas los objetivos son la eliminación de la materia orgánica así como nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo; en aguas residuales industriales el tratamiento persigue la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos, teniendo en cuenta que algunos metales pesados son tóxicos para las bacterias utilizadas en ciertos procesos biológicos. En cuanto a la situación de los microorganismos se dividen en: Procesos de cultivos en suspensión, procesos de cultivo fijo o combinaciones de los mismos. Para Serrano (2005) los microorganismos encargados de la depuración del agua residual, pueden realizar el proceso de digestión en presencia de oxígeno o en ausencia del mismo. Los microorganismos que necesitan la presencia de oxígeno se conocen como aerobios; mientras que los que actúan en ausencia de oxígeno, se conocen como organismos anaerobios. Existen también microorganismos que crecen

con o sin oxígeno, estos se conocen como facultativos. Los microorganismos más utilizados en los tratamientos biológicos son: bacterias, hongos, algas, protozoos, rotíferos, crustáceos y virus (Muñoz, 2008).

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

5.4.1 Proceso aerobio

En los procesos aerobios (en presencia de oxígeno) las bacterias heterótrofas (las que obtienen carbono de compuestos orgánicos) oxidan alrededor de un tercio de la materia orgánica coloidal y disuelta a productos finales estables ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) y transforman los dos tercios en nuevas células microbianas susceptibles de eliminarse de las aguas residuales por sedimentación. (Glynn & Gary, 1996)

A través del tiempo, los procesos biológicos aerobios han sido los más utilizados para el tratamiento de los residuos orgánicos líquidos. Esto se debe a la sencillez del proceso, su estabilidad y la eficiente y rápida conversión de los contaminantes orgánicos en células microbianas, y su operación relativamente libre de olores (Glynn & Gary, 1996).

5.4.2 Proceso Anaerobio

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de comida, restos de hojas y hierbas al

limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales (Acosta & Obaya, 2005).

El tratamiento anaerobio se da por la acción coordinada de cinco grupos diferentes de microorganismos en cuatro etapas secuenciales: *Hidrolisis*, *acidogénesis*, *acetogénesis* y *metagenesis*, en ausencia de oxígeno u otros agentes oxidantes fuertes ($\text{SO}_4^{=4}$, $\text{NO}_3^{=3}$, etc), para obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios Romero (2004) citado por (Batero & Cruz, 2007).

Etapas del proceso Anaerobio (Osorio & Vásquez, 2007)

Generalmente el proceso anaerobio completo se opera mediante cuatro etapas secuenciales:

- ✓ **Hidrolisis:** En esta etapa existe un rompimiento de grandes cadenas poliméricas (proteínas, carbohidratos, lípidos), en compuestos más sencillos (azúcares, aminoácidos, alcoholes)
- ✓ **Acidogénesis:** En esta etapa los monómeros o compuestos sencillos se transforman en ácidos grasos de cadena corta como el acetato, propionato, butirato, etc, además de CO_2 y H_2 .
- ✓ **Acetogénesis:** Las bacterias acetogénicas, transforman los anteriores compuestos en acetato, precursor del metano. Esta etapa junto a la anterior, son conocidas como etapa fermentativa y se caracteriza por su producción de CO_2 y H_2 .
- ✓ **Metanogénesis:** El paso final de la secuencia de reacciones bioquímicas, están a cargo de las bacterias metanogénicas, cuya función es la de transformar el acetato en metano.

En general, se puede considerar que las bacterias metanogénicas constituyen el grupo biológico que determina el mayor o menor éxito del proceso dada su baja velocidad de crecimiento y los estrictos requerimientos de bajo potencial redox (-300 mV) y de pH, así como su alta sensibilidad a la

inhibición por presencia de oxígeno molecular. Cuando en el medio anaerobio (dentro del reactor o digestor) existe una cantidad apreciable de sulfatos se desarrollan con intensidad las bacterias formadoras de sulfuro de hidrógeno (H₂S), comúnmente llamadas sulfobacterias, como es el caso del *Desulfovibrio desulfuricans*. Éstas juegan un papel importantísimo en el proceso ya que si la concentración de sulfuros solubles en el digestor excede los 160 mg/l, las bacterias metanógenas se inhiben (Acosta & Obaya, 2005).

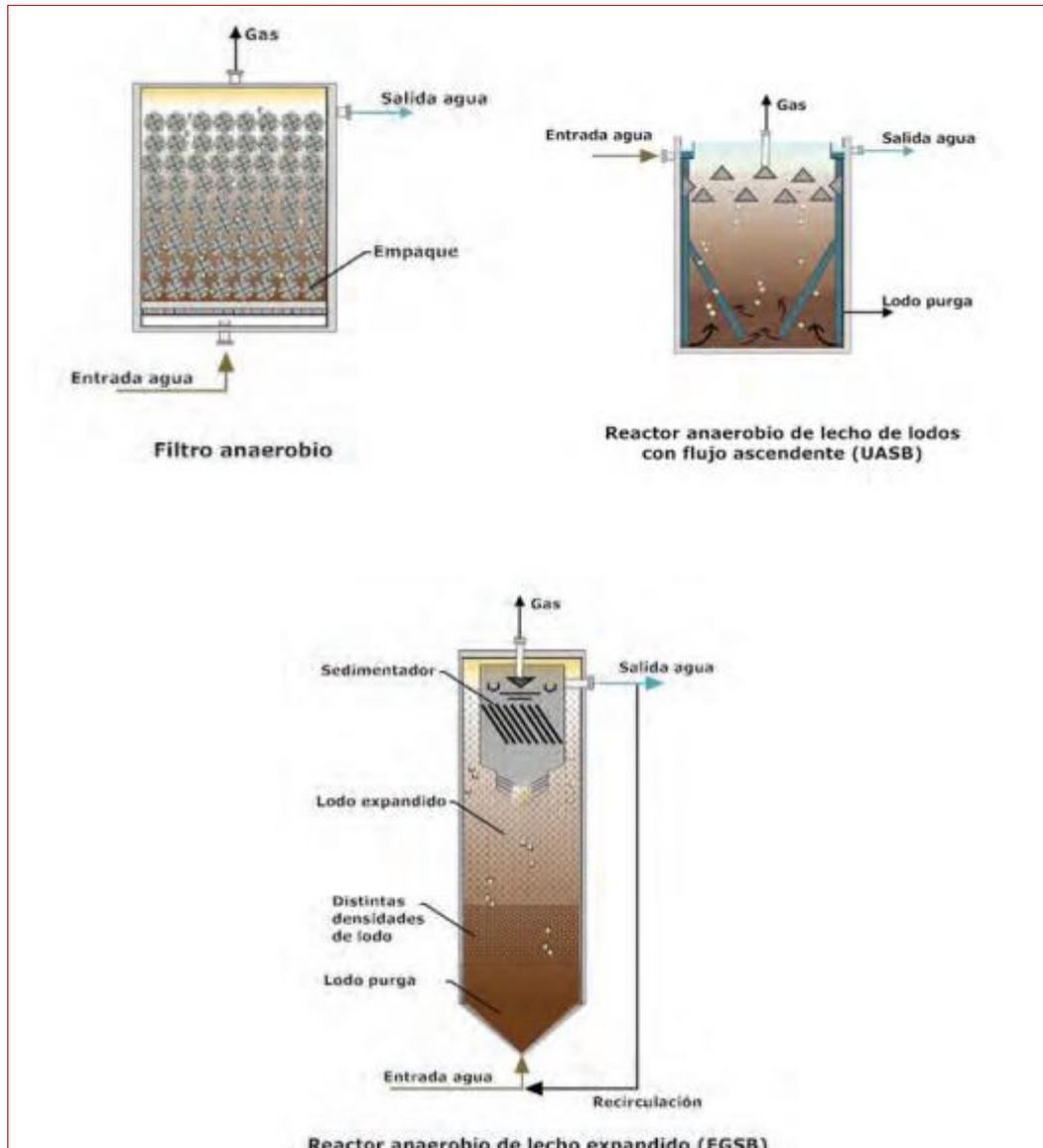
Tabla 2. Ventajas y desventajas del proceso anaerobio

Ventajas	Desventajas
El material organico se convierte en biogas, se puede utilizar como energia calorifica.	Solo puede ser utilizado como pre-tratamiento.
Baja produccion de lodo; y el obtenido puede ser utilizado en el comienzo de nuevos reactores o simplemente se puede se puede perder facilmente en el suelo.	El diseño y construccion de los reactores son diferentes para cada tipo de agua (domestica, ingenios azucareros, fabricas de papel, etc).
El diseño y construccion del reactor son simples, lo cual disminuye aun mas los costos del montaje.	Tiene riesgos de salud y puede presentar olores desagradables por la presencia de H ₂ S.
Bajo consumo de energia.	El medio es corrosivo.
No requiere oxigeno. Por lo tanto usa poca energia electrica y es especialmente aceptable a aguas residuales de alta concentracion organica.	Exige intervalos de operación del pH bastantes restringidos.
Tiene bajos requerimientos nutricionales.	Es sensible a la contaminacion con oxigeno.

Fuente (Osorio & Vásquez, 2007)

5.5 REACTORES ANAEROBIOS

En la actualidad una serie de reactores avanzados de alta tasa que aseguran una eficiente retención de la biomasa, se presentan como nuevas alternativas de tratamiento. Dentro de estos se pueden mencionar los presentes en la figura 1.



Fuente (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013)

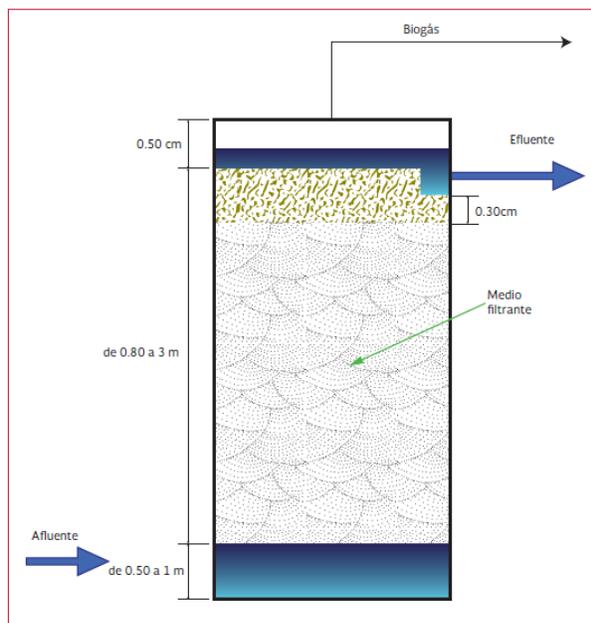
Figura 1. Procesos anaerobios para el tratamiento de aguas residuales

5.6 FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE

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 pretratamiento 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.



Fuente (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013)

Figura 2. Criterios de dimensionamiento de un FAFA

5.6.1 Diseño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

Rosales (2008) establece que el sistema debe cumplir con la característica básica de poseer dimensiones que permitan ser construido dentro del espacio reducido que usualmente se destina para este fin. De esta manera,

se busca que la implantación del FAFA no sea obstáculo para el usuario en cuanto a costo y espacio.

Se debe analizar el espacio disponible, así como los materiales a utilizar y definir dimensiones convenientes para la unidad. Las dimensiones tanto del reactor como de las capas de material a utilizar, deben dar como resultado un tiempo de retención hidráulica que se encuentre dentro del rango recomendado. Asimismo deben conocerse inicialmente las características físicas de los materiales a utilizar. Estas características son: peso volumétrico, densidad aparente, relación de vacíos, tamaño máximo, tamaño mínimo, tamaño promedio, superficie específica.

El siguiente paso es determinar la cantidad de agua que se tratara en el filtro, para esto se debe conocer la dotación de agua por persona por día, de acuerdo con la zona en la cual se localizará el filtro, la cantidad de usuarios de la unidad de tratamiento y el factor de retorno a utilizar.

De acuerdo con los datos anteriores se procede a calcular el volumen disponible en el filtro para albergar los líquidos a tratar, de acuerdo con la ecuación $TRH = V/Q$. Para esto se consideran tres etapas: el líquido ubicado en los medios vacíos entre el medio filtrante (ruta de flujo), el líquido libre después del medio filtrante y el volumen de líquido definido por el ducto que soporta al medio filtrante.

Además, para Viquez (1999) se debe procurar que el sistema siempre opere bajo las siguientes condiciones:

- ✓ Que no ocurran variaciones bruscas de temperatura, se debe mantener una temperatura entre 25 y 35 °C para lograr un correcto funcionamiento del sistema.
- ✓ Mantener el pH, entre 6.5 y 7.3, pues la acidez induce la formación de compuestos tóxicos; inconvenientes para la fase metanogénica.
- ✓ Someter el proceso a cargas orgánicas y tiempos de retención hidráulicos y celulares compatibles con el residuo a ser digerido.

- ✓ Que no existan, en el residuo a ser digerido, cantidades elevadas de compuestos tóxicos como son: metales pesados, metales alcalinos y alcalinotérreos.
- ✓ Evitar la presencia muy elevada de compuestos que pueden transformarse en tóxicos durante el proceso, como el nitrógeno en sus formas de amonio (NH_4^+) y amoníaco (NH_3), el azufre como sulfuro, y otros de los que se tenga conocimiento de un comportamiento similar a los anteriores bajo las mismas condiciones.

5.6.2 Desempeño del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

Los factores que afectan el rendimiento de los FAFA se pueden dividir en dos factores:

- ✓ **Factores físicos**

Los dos factores físicos más importantes en el desempeño de los FAFA son la configuración del reactor y la colocación del medio.

En cuanto a la configuración del reactor estos filtros incluyen tanques cilíndricos y rectangulares con diámetros y alturas que varían desde la totalidad hasta un 50 a 70% de la altura del reactor. El filtro anaerobio está construido por un tanque o columna, relleno con un medio sólido para soporte de crecimiento de piedras, anillos de plástico o bioanillos plásticos, colocados al azar. La mayor parte de la biomasa se acumula en los vacíos intersticiales existentes en el medio. El medio permanece sumergido en el agua residual, permitiendo una concentración alta de biomasa y un efluente clarificado. En el tratamiento de aguas residuales, la filtración es una operación utilizada para remover sólidos, material no sedimentable, turbiedad, fosforo, DBO, DQO y metales pesados (Rojas, 2004)

Dentro de los elementos empleados para este tratamiento, inicialmente se utilizó piedra como material de soporte debido a su bajo costo, pero debido a requerimientos estructurales y a problemas de taponamiento del lecho con

algunos residuos líquidos se comenzó a usar material sintético y matrices plásticas de medio cruzado o tubular como medios de soporte (Campos, 1990). Adicionalmente, se han estudiado alternativas como: anillos de guadua, cáscara de coco, residuos de ladrillera (Torres, Rodríguez, & Uribe, 2003), bambú (Villegas, 2006), etc. El papel del material de empaque en el rendimiento de los filtros anaeróbicos de flujo ascendente ha recibido atención, pero los hallazgos no han sido concluyentes. La superficie específica (área de adherencia por unidad de volumen), la porosidad o volumen de vacíos y el tamaño de poro del medio son considerados como factores importantes que ejercen un efecto favorable; sin embargo, no se ha llegado a un acuerdo sobre su importancia relativa. Estudios previos indican que los medios de alta porosidad tienen ventajas sobre los medios en piedra, permitiendo gran acumulación de biomasa (Manariotis & Grigoropoulos, 2006).

Este proceso no utiliza recirculación ni calentamiento y produce una cantidad mínima de lodo: las pérdidas de energía a través del lecho son mínimas; asimismo este proceso se ha usado a bajas temperaturas, pero preferiblemente la temperatura debe ser mayor de 25 °C. El espesor observado de biopelícula sobre diferentes medios plásticos es de 1 a 3 mm. El residuo debe contener alcalinidad suficiente para mantener un pH, en la zona de lodos, mayor de 6.5; sin embargo, el amonio liberado en la hidrólisis de las proteínas puede reducir la alcalinidad requerida de fuentes externas.

Batero y Cruz (2007) determinaron que el arranque de un proceso de crecimiento adherido puede ser más lento que el de un proceso de crecimiento suspendido, puede demorar unos seis meses en aguas residuales de baja concentración y de temperatura baja. Sin embargo, el filtro anaerobio es poco sensible a variaciones de carga hidráulica y a la operación discontinua pues el medio retiene los sólidos y la biomasa formada en él. En estudios hechos en Brasil se indica que estos filtros logran remociones de DBO del 80%, con lechos de piedra de 4 a 7 mm y altura de 1.20 m. otros

estudios con residuo de DQO igual a 12000 mg/L, carga orgánica volumétrica menor de 4Kg DQO/m³d, tiempo de retención hidráulica de 1 día, edad de lodos de 56 días y temperaturas de 20 a 25 °C, indicaron remociones del 88% de DQO.

✓ Factores hidráulicos

El tiempo de retención hidráulico (TRH) es el factor más determinante en la eficiencia en los filtros anaeróbicos de flujo ascendente; Young (1991) concluye que para un tiempo de retención hidráulico dado, la carga orgánica y la intensidad del desecho afluente no son parámetros de rendimientos principales. Debe tomarse en cuenta que altas tasas de recirculación, pueden causar también altas velocidades en el flujo ascendente y una consecuente pérdida excesiva de biomasa.

Otros factores hidráulicos son la velocidad de flujo ascendente y las variaciones en el caudal y la carga orgánica. Debido a que no se cuenta con datos suficientes que permitan determinar los valores óptimos para estos parámetros, Young (1991) recomienda que las tasas de recirculación y la carga de desecho sean limitadas para obtener una velocidad de flujo ascendente bajo los 10m/d durante el arranque. En este periodo, es importante mantener bajas velocidades para evitar la pérdida de biomasa, que apenas comienza a formarse. Las tasas de recirculación pueden ser aumentadas gradualmente mientras el reactor madura, pero velocidades por encima de los 25 m/d causan excesiva pérdida de sólidos.

En cuanto a la variación de carga y caudal, es reconocido que los filtros anaeróbicos aceptan grandes variaciones en el caudal de desecho y carga orgánica sin colapsar y que el tiempo requerido para la recuperación aumenta conforme aumenta la magnitud y la duración del cambio.

La superficie específica y la orientación de los medios de soporte parecen tener un efecto menor sobre el rendimiento, pero el beneficio general no es

suficiente para justificar el aumento de la superficie específica más allá de aproximadamente $100 \text{ m}^2 / \text{m}^3$. El reciclado de efluentes proporciona sólo una pequeña mejora en la eficiencia del tratamiento, pero puede ser beneficioso para reducir la necesidad de añadir productos químicos para el control de pH (Young, 1991).

5.6.3 Condiciones de operación y mantenimiento

En general, estos elementos requieren de poco mantenimiento y producen una cantidad menor de lodo, que por ejemplo un tanque sedimentador primario. Sin embargo, como todo filtro, se va atascando por el crecimiento de la película biológica, que va limitando el espacio de flujo entre rocas o medio filtrante.

Siempre con referencia a los biofiltros anaeróbicos de flujo ascendente, cuando se determina la necesidad de realizar un lavado del filtro, lo que se reconoce cuando la diferencia de niveles del agua de entrada y salida del filtro es la señalada por el diseño, el procedimiento es el de producir un flujo en sentido contrario; esto produce un arrastre de los excesos de película biológica hacia abajo, en la zona del fondo falso. El material depositado de esta manera puede ser enviado por bombeo al sedimentador primario, donde no representa ningún peligro y más bien favorece la actividad anaeróbica.

El procedimiento debe repetirse hasta que la concentración de película biológica en el agua bombeada sea mínima, pero debe tenerse el cuidado de no exagerar pues se corre el riesgo de remover la totalidad de la materia biológica y por consiguiente un corte en la operación normal del filtro, que obliga a un nuevo y más prolongado período de regeneración (Viquez, 1999).

5.6.4 Arranque del filtro

El período de arranque y operación de los reactores anaerobios es una etapa crítica y relativamente lenta debido a que debe desarrollarse una población microbiana suficiente y equilibrada que frecuentemente determina la eficacia

de operación del reactor. La actividad de la biomasa depende de muchos factores; con relación a los micronutrientes, la deficiencia de uno puede limitar el proceso biológico y las bacterias metanogénicas han demostrado una dependencia crítica por el hierro (Torres, Cardoso, & Rojas, 2004).

Según (Campos & Anderson, 1992) las metodologías para el arranque de reactores se basan fundamentalmente en el aumento paulatino de la carga. Se definen tres fases en éste:

- ✓ Adaptación primaria y crecimiento de bacterias degradadoras de los ácidos acético y propiónico.
- ✓ Formación de biomasa anaerobia metanogénica activa.
- ✓ Formación de un lodo granular, si las condiciones del sustrato lo permiten.
- ✓ El arranque se inicia con la aplicación de cargas orgánicas bajas, las cuales se incrementan cuando la capacidad del sistema lo permite, esto se refiere a contenidos de ácidos grasos volátiles (AGVs) y remoción de materia orgánica (Rodríguez, 2007).

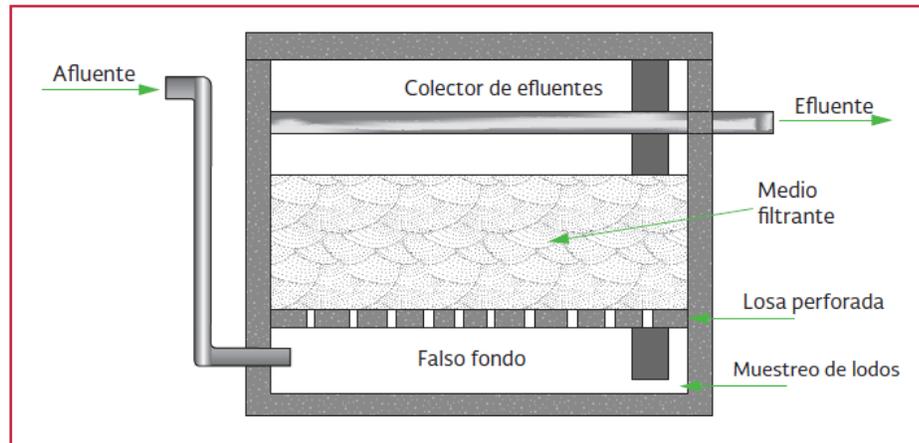
5.6.5 Configuración del filtro

El filtro anaeróbico de flujo ascendente se constituye de tres zonas funcionales: zona de entrada, zona empacada y zona de salida.

✓ Zona de entrada

En el filtro anaeróbico se pueden tener dos tipos de configuración de entrada: sin falso fondo y con falso fondo. En la configuración sin falso fondo, todo el volumen del reactor es ocupado por el medio, en este caso es importante cuidar que el material del fondo sea uniforme y de alta porosidad con el fin de evitar taponamientos. Cuando la configuración es con falso fondo como se observa en la figura 3, este sistema debe ser de un material que facilite el proceso constructivo, y debe tener perforaciones con un espaciamiento no mayor que 2 cm. El material del que esté compuesto este fondo falso, debe

ser resistente a la corrosión que causa el contacto constante con el agua residual. Además, debe estar apoyado de manera que soporte el peso del lecho filtrante Álvarez, G et al. Citado por (Serrano, 2005).



Fuente (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013)

Figura 3. Corte transversal de un FFAA con falso fondo

✓ Zona empacada

Parte del filtro en cual se encuentra el medio filtrante y se presenta el crecimiento de los microorganismos con la consiguiente remoción de contaminantes orgánicos. El medio filtrante sirve de soporte para que la población biológica se desarrolle, por lo cual una principal característica que este debe poseer es una relativamente alta área superficial. Sin embargo estudios han demostrado que a pesar de ocurrir una adherencia de filme biológico al medio de soporte, una mayor porción de los microorganismos se encuentran suspendidos en los intersticios del medio dejando de ser la superficie específica una variable de importancia que afecte la eficiencia desde la perspectiva de la concentración de biomasa activa (Castaño, 2003).

No obstante, el tipo, forma y características del lecho filtrante ejercen influencia sobre la eficiencia, en aspectos diferentes a la cantidad de biomasa activa fija: el medio actúa como separador líquido-gas-sólido; también ayuda a proveer un flujo uniforme del agua residual, propiciando un

mayor contacto del residuo con la masa biológica; el medio retiene la biomasa adherida o en suspensión, generando altos tiempos de retención celular, además del efecto en los tiempos de arranque, la rugosidad del material de soporte, su grado de porosidad, así como el tamaño del poro, afecta a la tasa de colonización de la población microbiana (Castaño, 2003).

Tabla 3. Requerimientos del medio filtrante de los filtros anaerobios

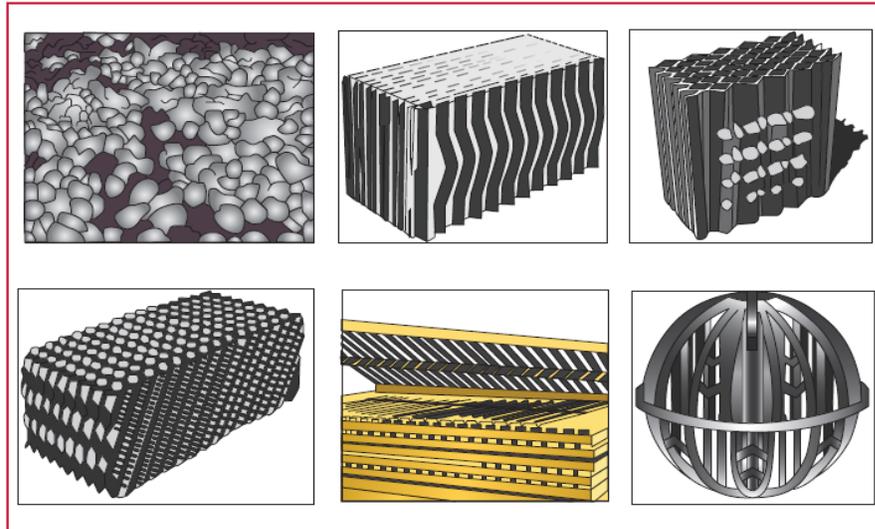
Requerimiento	Objetivo
Ser estructuralmente resistente	No presentar reacciones entre el medio filtrante y los microorganismos
Ser suficientemente ligero	Evitar estructuras ligeras, permitir la construcción de filtros relativamente altos, lo que implica una reducción de la superficie necesaria para la instalación del sistema.
Tener gran área específica	Permitir que se adhieran altas cantidades de sólidos biológicos
Tener una alta porosidad	Permitir un área libre disponible para la acumulación de bacterias y reducir la posibilidad de atascamiento
Agilizar la colonización de microorganismos	Reducir la puesta en marcha del reactor
Presentar una superficie rugosa, carente de formas planas	Asegurar la buena adherencia y alta porosidad
Tener un precio reducido	Hacer el proceso técnica y económicamente factible

Fuente: (De Lemos Chernicharo, 2007)

Tipos de medios

Entre los tipos de medios más utilizados se encuentra la piedra triturada angulosa o redonda (grava sin picos, de tamaño entre 4-7 cm), materiales cerámicos, vidrios, ladrillos, poliésteres, poliuretano. Actualmente se han estudiado otras alternativas no convencionales como son la guadua, el bambú, la cascara de coco, tejas de barro; y otros más sofisticados como los anillos sintéticos, las matrices plásticas de flujo cruzado o tubular; estos últimos de mayores costos por ser más eficientes. Estas nuevas alternativas han suprimido inconvenientes como atascamientos y colmatación que se presentan en los tratamientos con grava, sobre todo cuando esta es

pequeña, afectando negativamente la eficiencia con el paso del tiempo (Castaño, 2003).



Fuente (Noyola, Morgan, & Guereca, 2013)

Figura 4. Diferentes tipos de empaque para filtros

Las características a tomar en cuenta en cuanto al medio filtrante son el material mismo y su área superficial, ya que el área superficial del material filtrante debe ser suficiente para albergar la película biológica. Esta área superficial debe ser igual o superior a $100\text{m}^2/\text{m}^3$ (Young, 1991), sin embargo, no se obtienen grandes mejoras en la eficiencia al aumentar el área superficial del medio. El material utilizado debe ser inerte y resistente a la erosión. La profundidad del lecho suele situarse entre 0.8 y 2.0 metros. La forma puede variar dependiendo de las disponibilidades constructivas y de espacio (Viquez, 1999).

Una biopelícula con un espesor excesivo puede llegar a colmatarse el propio reactor. En los reactores de biomasa adherida la biopelícula no crece de forma indefinida, ya que cuanto mayor es el espesor de la biopelícula, mayor es su resistencia al transporte de sustrato en su interior. Si el sustrato no es capaz de difundir hacia las zonas más internas, la descomposición endógena

y posterior muerte de los microorganismos provocará el desprendimiento de la biopelícula (Espinosa, 2011).

Por lo tanto Otero (2005), concluye que la función de un medio de soporte sólido es la de proporcionar rigidez y estabilidad para la adherencia de la biomasa, además de exponer la máxima área superficial al flujo. La tasa de crecimiento de la biopelícula es independiente del material del soporte, pero está estrechamente relacionada con la rugosidad de la superficie. En superficies rugosas, la adherencia de las bacterias pioneras y su posterior desarrollo se realiza mucho más rápidamente que en superficies lisas. Sin embargo, el mayor efecto de influencia en el desarrollo de la biopelículas es el área superficial, pues a mayor superficie de contacto del medio de soporte, habrá un mayor crecimiento de la biopelículas.

Por otro lado, uno de los materiales que posee alta porosidad es la Guadua. La guadua es de la familia de los pastos, es un pasto gigante que más crece en el mundo y puede alcanzar hasta 30 metros de altura y un grosor hasta de 30 cm (Rural, 1999).

Montoya (2005) establece que las fibras del Bambú crecen diametralmente de adentro hacia afuera, es decir la mayor cantidad de fibras están ubicadas en la parte externa del diámetro cerca de la corteza y también se incrementan de la Cepa a la Basa disminuyendo la cantidad de parénquima, en términos generales entre más fibras hay, menos células de parénquima existen, esto hace variar considerablemente la densidad de la Guadua que puede variar de 0,45 – 0,85 g/cm³. La cantidad de fibras, su longitud así como su diámetro y el grosor de sus paredes celulares determinan la densidad en la Guadua.

✓ **Zona de salida**

Esta zona cumple varias funciones importantes las cuales son: recibir el efluente del filtro, evacuarlo y garantizar una correcta y homogénea circulación del mismo a través de todo el sistema, así se evitara zonas

mueras lo que proporcionara una adecuada eficiencia hidráulica. Cuando se presenta este tipo de inconveniente el tiempo de retención hidráulico calculado en el diseño será mayor que el real, como consecuencia podríamos obtener una baja eficiencia del sistema. Tomando en cuenta todos estos aspectos la zona de salida puede ser a través de una tubería perforada o por medio de un vertedero. Estas dos configuraciones garantizan una recolección homogénea a lo largo del sistema (Castaño, 2003).

En cuanto a resultados obtenidos, Cárdenas (2009) evaluaron cuatro medios de contacto (concha marina, material sintético, material vitrificado y grava de río), a escala de laboratorio, para encontrar el lecho de soporte de filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA más conveniente en condiciones controladas de temperatura, régimen de flujo y acondicionamiento previo del medio bacteriano. La concha marina y el material sintético, ofrecen características de resistencia, durabilidad y facilidad de consecución y alcanzan remociones de materia orgánica mayores del 80%. Sin embargo, la concha marina alcanza las mayores remociones (89.7% para DQO y 87.8 % para DBO) gracias a su estructura física que ofrece un microambiente adecuado y por su composición química, fuente natural de alcalinidad y micronutrientes al sistema, lo que hace que se lo considere como el medio de contacto más adecuado para diseñar e implementar filtros anaerobios de lecho fijo en la industria artesanal panelera. Además, compararon los resultados obtenidos en esta investigación con estudios similares (Torres, 2003; Rivera, 2002) que evalúan diferentes medios de soporte y utilizan aguas residuales con características parecidas al agua miel y bajo condiciones similares a las reportadas en la presente investigación, permiten concluir que los FAFA pueden ser utilizados en el tratamiento primario o secundario para disminuir de manera eficiente la carga contaminante de residuos con concentraciones medias y altas de materia orgánica fácilmente acidificable.

(Mishra, 2015) encontraron la relación de la eficiencia de eliminación demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) con valor entre 0,90 y 0,99, respectivamente, a las 24 h Tiempo de Retención Hidráulico (TRH), lo que demuestra muy alta extracción eficiencia del sistema híbrido. La relación de la eficiencia de eliminación de los sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales fue de alrededor de 1 a 16 h TRH indicando el 100% eficiente y dentro de los límites prescritos por la Central de Control de la Contaminación Junta de la India (CPCB) para tratar efluente de descarga en cuerpos de agua superficiales. Se observó mejor eficiencia de eliminación en el caso del sulfato a baja TRH de 8 h. Se encontró relativa eficiencia de eliminación para fenoles a ser mayor que 1 a 12 h TRH. SSF se encontró que era un sustrato adecuado para el pulido del efluente tratado de pulpa y papel molino de aguas residuales, lo que demuestra prometedora relativa eficiencia.

León Becerril et al. (2016) concluyeron que es posible establecer períodos cortos de tiempo para el arranque en marcha y para la estabilización de un reactor UAF para el tratamiento de aguas residuales de la industria de la carne en frío, mediante la adaptación de la biomasa previamente en un reactor por lotes durante un período de 15 días. Además, el efecto de las características fisicoquímicas de las aguas residuales carne fría era determinante en el rendimiento de la UAF; el contenido de nutrientes, principalmente nitrógeno y sales fosfatadas estaban en cantidades suficientes para asegurar los requisitos metabólicos para los microorganismos anaerobios. Eficiencias de remoción fueron alrededor de 84 y 88% para la DQO y DBO, respectivamente, alcanzado en 20 días para la UAF; por lo tanto, se obtuvieron las tasas de producción alta de metano que puede ser utilizado como una fuente alternativa de energía.

6 METODOLOGÍA

6.1 ETAPAS

Dentro de las etapas y procedimientos desarrollados en el proyecto 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, se tomaron en cuenta las siguientes fases:

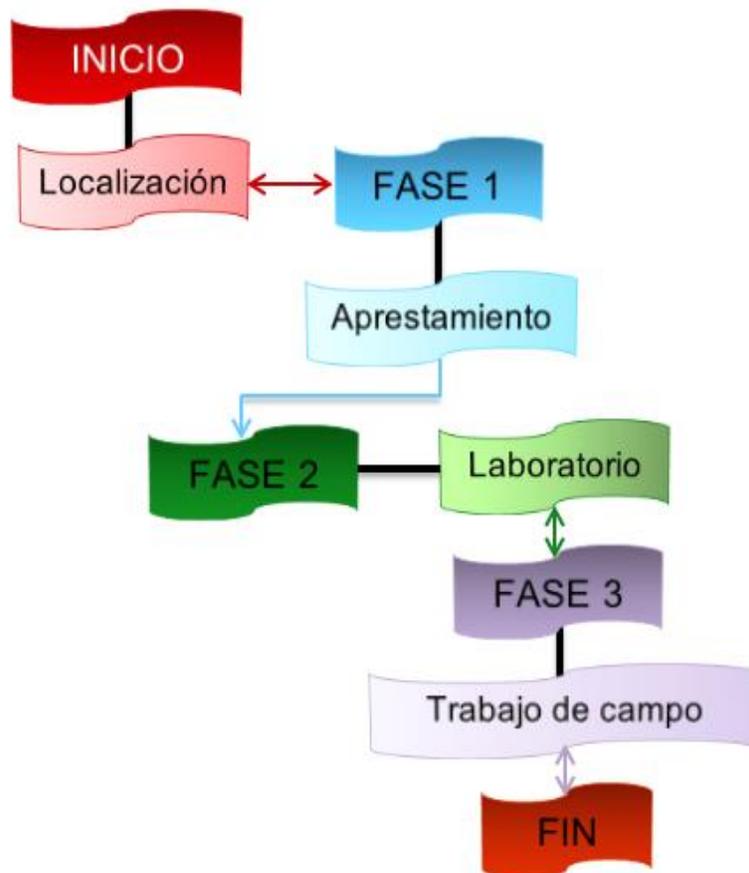


Figura 5. Diagrama de flujo de las fases de la metodología desarrollada

6.2 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se localiza en la universidad Surcolombiana sede Pitalito, en el km 1 vía vereda el Macal. Está situada geográficamente en las coordenadas $1^{\circ}49'59.7''\text{N}$ $76^{\circ}02'30.2''\text{E}$. Dentro de su infraestructura cuenta con un TSAM (Tanque Séptico de Acción Múltiple) para el tratamiento de las Aguas Residuales domésticas, lo que permitió el desarrollo de este proyecto de investigación.



Figura 6. Localización zona de estudio

El municipio de Pitalito se encuentra ubicado al sur del departamento del Huila con las siguientes coordenadas geográficas $1^{\circ}51'14''\text{N}$ y $76^{\circ}3'5''\text{E}$, sobre el valle del Magdalena y en el vértice que forman las cordilleras central y oriental, a 1318 m.s.n.m, 188 km de la capital Neiva y a 485.4 km de Bogotá. Es considerado la estrella vial del Sur Colombiano por su localización estratégica, que permite la comunicación con los departamentos vecinos del Cauca, Caquetá y Putumayo. Se encuentra bañado por los ríos

Guarapas, Guachicos y Magdalena. Su clima es húmedo con variaciones térmicas durante todo el año, predominando el clima templado entre 18 a 21 °C, con precipitación de 1516 mm/año.

6.3 FASE 1. APRESTAMIENTO

6.3.1 Reconocimiento del lugar

Mediante visita de inspección realizada se evidenció el deterioro, falta de mantenimiento y funcionamiento del TSAM (Tanque Séptico de Acción Múltiple), prueba de ello era la presencia de malezas y especies arbustivas que ocasionaron el derrumbe y posterior hundimiento de la tubería, permitiendo la infiltración de las aguas residuales.

Otro factor que se observó fue la falta de alcantarillado de aguas lluvias, ya que solo existe una tubería para la conducción de los dos tipos de aguas presentes en la sede y que son vertidas a la quebrada el Pital.



Figura 7. Reconocimiento del lugar

6.3.2 Limpieza y adecuación del TSAM

Se inició con el levantamiento topográfico (Ver anexo 1) para poder realizar la localización y excavación de la tubería de aducción, haciendo el empalme con tubería de 6", conduciendo el caudal hasta el TSAM, verificando su funcionamiento. Cabe resaltar que dicho tanque hacía más de diez años no estaba en funcionamiento, pero se pudo establecer que se encuentra en óptimas condiciones y estructuralmente no se encontró ninguna fisura que impida su funcionamiento, esto se comprobó al realizar el llenado de este. Al restablecer el funcionamiento del tanque, se realizó la extracción de material sedimentado, ramas y hojas de los arboles existentes sobre el TSAM.



Figura 8. Adecuación para la instalación de todo el sistema

6.4 FASE 2. LABORATORIO

6.4.1 Selección de los Biotipos de Guadua

Como medio de soporte se emplearon biotipos de guadua (*Angustifolia Kunth*) adquiridos en el predio Villa Canela ubicado en la vereda Holanda del municipio de Pitalito con las siguientes coordenadas geográficas: 1°49'16.6"N 76°08'02.5"O, a 1337 m.s.n.m. La guadua que se utilizó pertenece a la variedad Macana, con culmos de paredes gruesas, las cuales se encontraban en perfecto estado, libre de hongos, sin daños superficiales, sin deformaciones ni afectación por insectos. Se escogieron 16 culmos que median 5m de longitud cada uno y con cuatro semanas de corte.

6.4.2 Corte de los semicírculos y cuartos de círculo

Después de haber seleccionado los biotipos de guadua, se trasladaron a una ebanistería del centro del municipio de Pitalito, donde fueron cortadas con la ayuda de una máquina sinfín de cinta dentada, la cual garantizó que los cortes fueran homogéneos sin dañar la estructura de los culmos, permitiendo así que los semicírculos y cuartos de círculo tuvieran la longitud del biotipo requerido (1 cm).



Figura 9. Biotipos de guadua y corte

6.4.3 Determinación de las propiedades físicas de los semicírculos y cuartos de círculo de guadua

Estas pruebas físicas se realizaron en el laboratorio de agroindustria de la sede Pitalito, con ayuda de algunos equipos requeridos y otros suministrados por las autoras del proyecto de investigación. Además se tuvo en cuenta el protocolo para la toma de dichas muestras según la NTC 5525: Norma Técnica Colombiana “Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua *Angustifolia Kunth*”.

6.4.3.1 Determinación del volumen (cm³), método medición directa

La prueba de volumen se realizó a los semicírculos y cuartos de círculo respectivamente, empleando 30 muestras de guadua para cada uno, seleccionadas al azar, para poder obtener un rango estadístico representativo. Se empleó un calibrador de Vernier (rango de medición 150 mm y precisión 0.02 mm) y una cinta métrica, midiendo la sección transversal perpendicularmente desde los puntos opuestos en cada extremo de los semicírculos y cuartos de círculo, el perímetro y el espesor. Los diámetros medidos por cada semicírculo y cuarto de círculo se promediaron, para obtener la medida del diámetro externo promedio (Dep) y diámetro interno promedio (Dip). Seguidamente se procedió a calcular el volumen de las muestras seleccionadas de semicírculos y cuartos de círculo utilizando la siguiente fórmula:

$$V_P = \frac{\pi * (De - Di)^2}{2} * L$$

Dónde:

Vp= Volumen promedio (cm³)

De= Diámetro externo promedio (cm)

Di= Diámetro interno promedio (cm)

L=Longitud (cm)

En el caso de los semicírculos y ¼ de círculo en la fórmula se dividieron en 2 y 4 respectivamente. Estos resultados se procesaron con ayuda de estadística descriptiva las variables Di, De, e, V.



Figura 10. Determinación del volumen

6.4.3.2 Determinación del contenido de humedad (%), método gravimétrico

En la determinación del contenido de humedad se siguió el procedimiento descrito en la Norma Técnica Colombiana NTC 5525. Este procedimiento consiste en calcular el contenido de humedad de las muestras, a partir de la pérdida de peso que ocurre cuando se elimina el agua contenida en la superficie y su interior.

Para ello se emplearon 20 muestras de semicírculos y cuartos de círculo respectivamente. 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), para determinar su peso inicial, continuando con el proceso de secado en una estufa de cultivo (modelo 30-160 marca Memmert un 30), a una temperatura de 105 +/- 1°C, durante 24 horas. Finalizado este tiempo se pesó cada una de las muestras y se obtuvo el valor del peso final. Conocidas las masas de las muestras antes y después del proceso de secado, se calculó su contenido de humedad mediante la siguiente expresión:

$$CH = \frac{m_h - m_o}{m_h} * 100$$

Dónde:

CH= Contenido de Humedad de la guadua en ambiente (%)

m_h = Peso de la guadua en humedad ambiente (g)

m_o = Peso de la guadua con cero humedad – anhidra (g)



Figura 11. Determinación del contenido de humedad

Para obtener el contenido de humedad (CH) se promediaron los datos, al igual que en el volumen mediante estadística descriptiva.

6.4.4 Determinación de las propiedades físicas del medio de soporte

Las propiedades físicas del lecho se realizaron teniendo en cuenta la metodología empleada por Vargas & Silva (2013).

6.4.4.1 Porosidad del lecho (%), método volumétrico

En la determinación de la porosidad del lecho se empleó un recipiente de vidrio con sección cuadrada (espesor 0.6 cm) de 19.4 cm x 19.4 cm (376.36 cm² de área), altura de 40 cm, para un volumen teórico de 15.054 litros. Para obtener el volumen útil o real del recipiente se realizó el aforo, agregando volúmenes de agua conocidos (3000,6000,9000 ml), empleando para ello un Beacker con capacidad de 1000 ml, alcanzando una capacidad de llenado de 14.75 litros. Seguido a esto y teniendo en cuenta los volúmenes conocidos, se colocaron los semicírculos y cuartos de círculo en cada uno de estos, contándolos, realizando 10 repeticiones para un total de 30 respectivamente.

6.4.4.2 Determinación del volumen real (cm³), método medición directa

Teniendo el valor del volumen real y aparente de las 30 muestras de los semicírculos y cuartos de círculo, se determinó la porosidad del lecho mediante la siguiente expresión:

$$P \% = \left[\frac{V_a - V_r}{V_a} \right] * 100$$

Dónde:

P%= Porosidad del medio

V_a= Volumen ocupado por los semicírculos y cuartos en el recipiente (ml)

V_r= Volumen real del número de semicírculos y cuartos de círculo utilizados (ml)



Figura 12. Determinación de la porosidad

6.4.4.3 Área específica de contacto (m²/m³)

La superficie específica es el área del soporte disponible para el desarrollo de biopelícula por unidad de volumen de lecho (m²/m³) (INDITEX, 2015).

Para hallar el área específica de contacto del medio de soporte se tuvo en cuenta los valores hallados en cada uno de los ensayos con semicírculos y cuartos de círculo de los volúmenes conocidos (3000, 6000, 9000 ml) y la longitud. De esta manera se determinó el área específica de contacto tomando el promedio de las muestras y empleando la siguiente ecuación:

$$A_{es} = \frac{\left(\frac{\pi}{4} (De - Di)^2 + \left(2\pi * \left(\frac{De}{2} \right) * L \right) + \left(2\pi * \left(\frac{Di}{2} \right) * L \right) + ((L * L) * 2) \right) * \# \text{ cuartos y semicírculos} / 2}{V_a}$$

Dónde:

De= Diámetro externo promedio de los semicírculos y cuartos de círculo (m)

Di= Diámetro interno promedio de los semicírculos y cuartos de círculo (m)

L= Longitud de los semicírculos y cuartos de círculo (0.01m)

Cuartos y semicírculos= Número total de semicírculos y cuartos de círculo utilizados para formar cada lecho.

Va= Volumen ocupado por los semicírculos y cuartos en el recipiente (m³)

Los resultados obtenidos se analizaron mediante el programa InfoStat, este es un software para análisis estadístico que cubre tanto las necesidades básicas para la obtención de estadísticas descriptivas y gráficos para el análisis exploratorio, como métodos avanzados de modelación estadística.

6.4.4.4 Peso específico (g/cm³)

El peso específico del lecho de soporte se obtuvo teniendo en cuenta el volumen real de los semicírculos y cuartos de círculo hallados por medio del método de medición directa y el peso de la cantidad total de los semicírculos y cuartos de círculo utilizados en la prueba de porosidad obtenido con la balanza digital Silvermax (modelo SM 101 de 30 kg/5g). A continuación se empleó la siguiente ecuación:

$$\rho_e = \frac{M}{V_r}$$

Dónde:

ρ_e = Peso específico del lecho (kg/L)

M= Masa del lecho (kg)

V_r= Volumen real del lecho (L)



Figura 13. Determinación del peso específico

6.5 FASE 3. TRABAJO DE CAMPO

6.5.1 Instalación de las Unidades Experimentales (Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente)

Los filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFAs) son un tratamiento complementario de los tanques sépticos, cuya función 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 (Castaño & Paredes, 2002). Teniendo en cuenta lo anterior se construyeron dos prototipos a escala de FAFAs, con biotipos en guadua, con el fin de comparar la eficiencia en la remoción de carga contaminante entre los dos lechos filtrantes. Dichos filtros se instalaron a continuación del TSAM, que recibe las aguas residuales domésticas y aguas lluvias. En su interior cuenta con cuatro compartimientos: trampa grasas, sedimentación, digestión y almacenamiento de lodos y digestión.

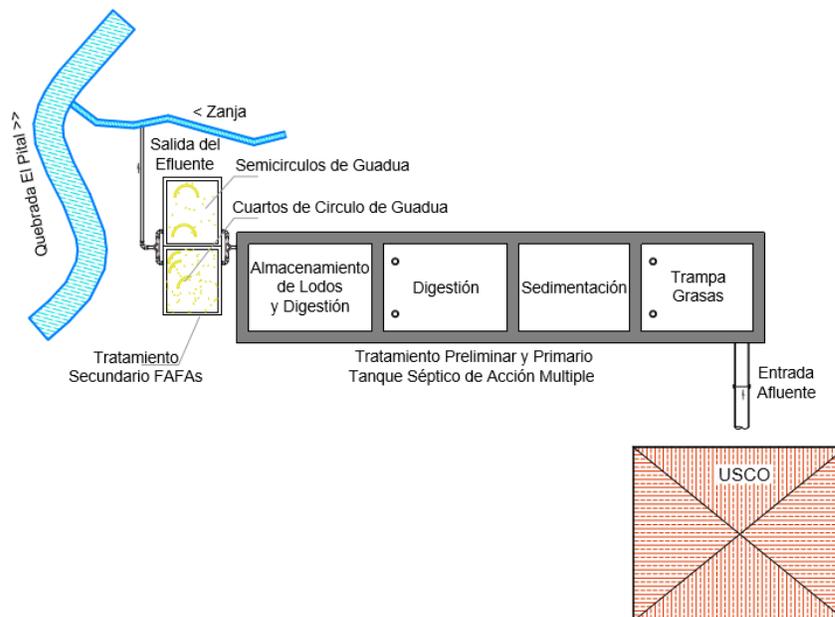


Figura 14. Esquema general del sistema

6.5.2 Tratamiento preliminar y primario

El TSAM actúa como sistema de tratamiento preliminar y primario. Es un sedimentador de las partes gruesas que van al fondo y donde las partículas livianas y las grasas se acumulan en la parte superior (CAM, 2015), cuyo principio de funcionamiento interno es el rebose entre las recamaras, ya que el agua residual se desplaza con flujo horizontal. En esta etapa se realiza la descomposición de la materia orgánica por la acumulación de partículas, las condiciones anaerobias y la biodigestión (Ver anexo A).

El TSAM cuenta con las siguientes dimensiones: $a = 2.40\text{m}$, $L = 8\text{m}$, ($A = 19.2\text{m}^2$), $h = 2\text{m}$, Espesor = 0.25m y un volumen de 38.4 m^3 .



Figura 15. Tratamiento primario, TSAM

6.5.3 Tratamiento secundario

Los filtros anaerobios de flujo ascendente se componen de tres zonas funcionales (Batero & Cruz, 2007).

- ✓ **Zona de entrada:** En este caso la configuración es con falso fondo, el afluente entra directamente en contacto con el medio de soporte por la parte inferior, por lo que la distribución del caudal es uniforme y se hace por medio de una flauta en tubería PVC de $\frac{1}{2}$ ", perforada cada 4 cm y con orificios de 3mm de diámetro.

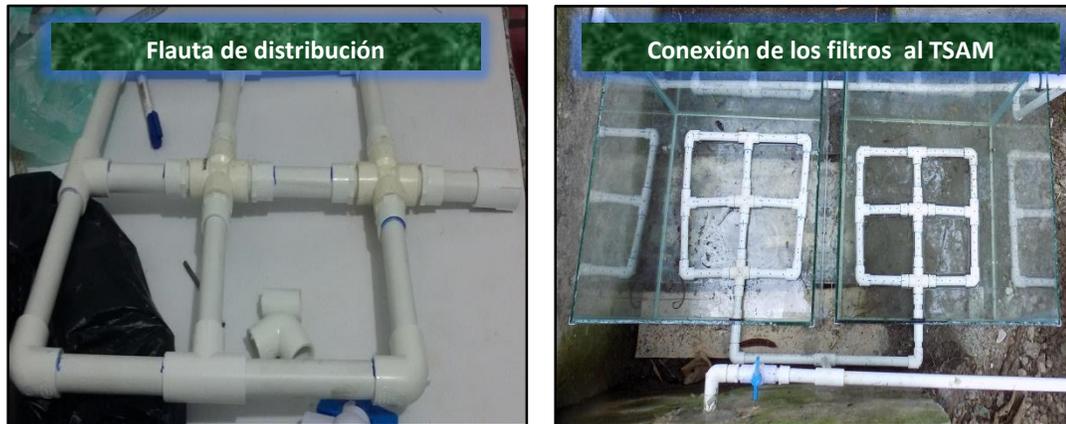


Figura 16. Zona de entrada del afluente al filtro

- ✓ **Zona empacada:** Esta zona de empaque la constituyen dos cajas de vidrio con las mismas dimensiones; largo 0.5m, ancho 0.5m (área 0.25m) y alto 0.6m, para un volumen total de 150L. El material de soporte empleado fue guadua de 1 cm de longitud, cortada en semicírculos y cuartos de círculo, colocados en cada una de las cajas, de forma aleatoria. Fueron necesarios 1640 semicírculos y 3850 cuartos de círculo, alcanzando una altura de llenado de 0.5m, con un sobrenadante de 0.05m, un borde libre de 0.05 m, con un volumen efectivo dentro del filtro de 137.5L. Para continuar este proceso se colocó una malla plástica sobre cada una de las superficies de las cajas de vidrio, con el propósito de evitar la flotación de la guadua, y se finalizó con la instalación de una cubierta en teja de zinc para impedir la presencia de material ajeno al sistema, procedente de la vegetación existente en la zona.





Figura 17. Material filtrante y accesorios de la zona de empaque

- ✓ **Zona de salida:** la zona de salida evacua el efluente del filtro, esta ubicada por encima del lecho filtrante a 0.05m, elaborada en tubería PVC de ½", también se realizó la instalación de 1 llave de paso a cada uno de los filtros, para facilitar la toma de las muestras de los análisis de agua y una salida común para la disposición final hasta la quebrada el Pital.



Figura 18. Zona de salida del EF de los FAFAs

6.5.4 Arranque y operación de los FAFAs

6.5.4.1 Aforo

Para hallar el caudal se empleó el Método volumétrico mediante balde o caneca (IDEAM, 2007), este método se aplica para tubería o canal abierto, cuando el vertimiento presenta una caída de agua en la cual se pueda interponer un recipiente; se requiere un cronómetro y un recipiente aforado (balde de 10 o 20 litros con graduaciones de 1 L, o caneca de 55 galones con graduaciones de 1 a 5 galones). Se utiliza un balde para caudales bajos

o una caneca cuando se deban manejar grandes caudales. El caudal promedio de funcionamiento se halló realizando el aforo durante 12 horas, con intervalos de 2 horas cada uno, para un total de 0.14 L/seg. Presentando una carga hidráulica de agua residual intermitente y suspendiéndose entre las 10 pm y las 6 am, por cese de las actividades en la universidad y un Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) de 1 hora, según la relación: $TRH = V_{\text{filtro}}/Q$.

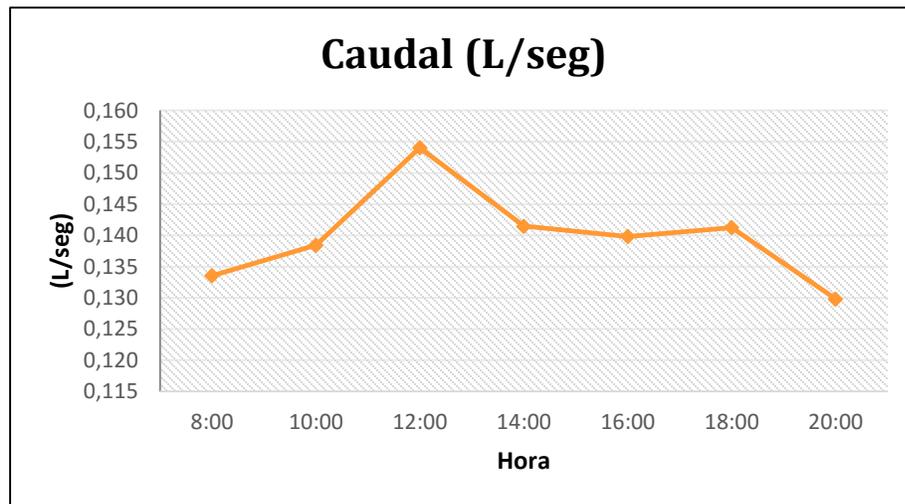


Figura 19. Caudal promedio

6.5.4.2 Inoculación

El sistema se inició mediante el proceso de inoculación, con el fin de minimizar el periodo de arranque de los filtros, suministrando un volumen inicial de lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales del corregimiento de Bruselas, de la siguiente manera: una capa de guadua y una de capa de lodo, hasta completar los 0.50m del lecho, para ello fueron necesarios 3 galones equivalentes a 11.36L en cada uno de los filtros.



Figura 20. Inoculación al arranque del sistema

6.5.4.3 Operación y mantenimiento del sistema

La actividad de los filtros se inició el 14 de noviembre de 2016. A partir de la segunda semana del mes de diciembre el funcionamiento de los filtros fue de forma interrumpida por el cese de actividades en la universidad, funcionando únicamente con el caudal procedente de las aguas lluvias.

En el mantenimiento del sistema se empleó una malla plana de limpiar piscinas, para remover material sobrenadante y grasa acumulada en la superficie, tanto en el TSAM como en los FAFAs, dicho procedimiento se realizó cada ocho días o cuando se presentaban incrementos en el caudal por acción de las precipitaciones, para evitar taponamientos.





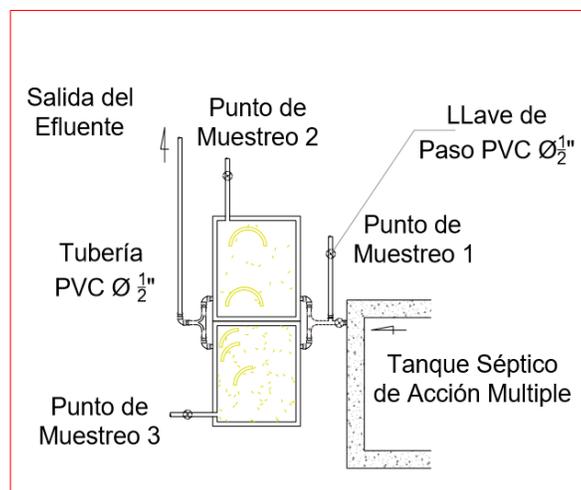
Figura 21. Limpieza al sistema

6.5.5 Muestreo

Para realizar la toma de las muestras se tuvo en cuenta la metodología recomendada por (IDEAM, 2007).

Desde el momento en que se instaló y se dio inicio al funcionamiento de los FAFAs, se realizó un seguimiento periódicamente, con el fin de verificar el correcto funcionamiento del sistema y corregir posibles fallas. Para facilitar la toma de las muestras se instalaron llaves de paso, en cada uno de los puntos de muestreo; ubicados de la siguiente forma:

- ✓ Punto 1: Efluente TSAM y afluente FAFAs
- ✓ Punto 2: Efluente FAFA con semicírculos de guadua
- ✓ Punto 3: Efluente FAFA con cuartos de círculo de guadua



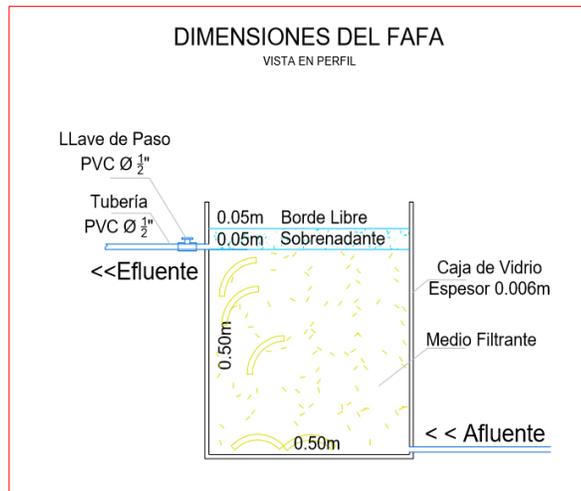


Figura 22. Esquemas generales de los puntos de muestreo y FAFAs

Las muestras se tomaron así: la primera el 15 de diciembre al mes de haber sido instalados los filtros y las siguientes cuatro muestras se tomaron 3 en el mes de febrero con intervalos de ocho días entre sí, en las fechas 13, 24, 28 y una el 6 de marzo, para completar cinco análisis de agua residual. La primera muestra se tomó para conocer las condiciones iniciales del agua residual al mes de la instalación de los FAFAs, la segunda para ver en qué condiciones se encontraba el agua después del receso de actividades en la universidad y las siguientes tres muestras se tomaron cada ocho días, para comparar la eficiencia a la hora pico durante el tiempo del funcionamiento de los FAFAs.

6.5.5.1 Análisis físico-químico y microbiológico

Los análisis físico-químicos y microbiológicos se desarrollaron en el laboratorio Ambiental certificado Diagnosticamos S.A.S de la ciudad de Neiva, teniendo en cuenta el protocolo para la toma, conservación y el transporte de dichas muestras (IDEAM, 2007), empleando para ello frascos de vidrio de 200 ml para el análisis microbiológico, coliformes fecales (CF) y frascos plásticos de 1L para el análisis físico-químico, sólidos suspendidos (SS) y demanda biológica de oxígeno (DBO₅). La preservación de las muestras se realizó por medio de un termo de icopor con hielo plástico (gel

refrigerante de 500 gr) garantizando una temperatura de 4°C hasta la ciudad de Neiva.



Figura 23. Descripción de la toma de muestras del AF y EF

Para determinar la DBO_5 se tuvo en cuenta el ensayo de los 5 días de incubación (SM 5210 B) que es aplicable en muestras de agua superficial, marinas, subterráneas, residual industrial y doméstica. Se requiere la DBO_5 en los análisis de aguas residuales para valorar los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de los cuerpos receptores; asimismo, para evaluar la eficiencia de remoción de los sistemas de tratamiento y para el control de contaminación de corrientes. Los datos de la prueba de DBO_5 se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales (García, 2013).

El análisis de los CF se realizó según el método SM 9223 B (Navarro, 2007) quien afirma que se encuentran con más frecuencia en el medio ambiente, pueden estar en el suelo y en las superficies del agua dulce, por lo que no son siempre intestinales, su identificación en estas fuentes sugieren fallas en la eficiencia del tratamiento y la integridad del sistema de distribución. La prueba de Enzima – sustrato definido se fundamenta en la actividad enzimática de los Coliformes totales y los Coliformes fecales (*E. Coli*).

Así mismo para el análisis de SS, se tuvo en cuenta el método SM 2540 D, que es aplicable en aguas superficiales, marinas, subterráneas, aguas residuales domésticas e industriales. El término sólido, en forma general se

refiere a la materia suspendida (no filtrable), presente en aguas de cualquier origen (naturales, tratadas, residuales). La evaluación de sólidos suspendidos totales se requiere en los análisis de aguas residuales para valorar su concentración, en la evaluación de la calidad de las fuentes de agua superficial o subterránea, o para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento (García, 2013).

Otros parámetros que se determinaron fueron la temperatura y el pH, estos se obtuvieron “in situ” de la siguiente manera:

✓ **Temperatura (°C)**

La temperatura del agua tiene una gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias, aumentando la de los sólidos disueltos y disminuyendo la de los gases. La temperatura se mide mediante termometría realizada “in situ” (Aznar & Barba, 2000).

La temperatura se determinó directamente en la columna de agua, mediante el uso del termómetro de mercurio, sumergiéndolo, procurando mantenerlo siempre a la misma profundidad y separado de las paredes del recipiente.

✓ **Potencial de Hidrogeno (pH)**

El sistema biológico de una planta de tratamiento de aguas residuales funciona adecuadamente con un rango de potencial de hidrogeno (pH) de 6.5 a 8.5. Una condición neutra se considera un valor de pH de 7, en mediciones por encima de 7 son básicas (alcalinas) y por debajo de 7 son consideradas ácidas (Cortes, Sanchez, Betancourt, & Ávila, 2013).

Una vez calibrado el pH metro (Hanna Checker 1 HI 98103) y purgado los recipientes, se procedió a tomar las medidas del pH de las muestras “in situ” introduciendo el electrodo en el recipiente que las contenía, esperando aproximadamente 30 segundos a que se estabilizara para registrar la lectura de las muestras.

6.5.6 Evaluación de la eficiencia de los FAFAs

Para calcular la eficiencia de remoción de DBO y SS en los FAFAs se utilizó la siguiente expresión:

$$E_f = \frac{C_{Af} - C_{Ef}}{C_{Af}} * 100$$

Dónde:

E_f = Eficiencia de remoción del Sistema (%)

C_{Af} = Concentración del afluente

C_{Ef} = Concentración del efluente

El cálculo de la eficiencia de remoción de CF en los FAFAs se realiza con base en la disminución de unidades logarítmicas entre el AF y el Ef; así mismo los resultados obtenidos se analizaron con el programa estadístico InfoStat.

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SEMICÍRCULOS Y CUARTOS DE CÍRCULO DE GUADUA

Después de realizados los ensayos, se tabularon los datos obtenidos y mediante un estudio estadístico se encontraron valores promedio en los distintos tipos de prueba. En las propiedades físicas para la guadua se obtuvo:

7.1.1 Volumen de semicírculos y cuartos de círculo

La tabla 4 muestra los valores promedios obtenidos en los ensayos de volumen para los semicírculos y cuartos de círculo, teniendo en cuenta el perímetro, espesor, diámetros internos y externos.

Tabla 4. Volumen promedio de los semicírculos y cuartos de círculo.

Lecho Filtrante	# de Muestras	Perímetro (cm)	Espesor (cm)	Diámetro Ext (cm)	Diámetro Int (cm)	Volumen (cm ³)
Semicírculos	30	35.40	1.18	11.27	8.91	18.66
Cuartos de Círculo	30	25.19	1.00	8.02	6.02	5.52

De los datos obtenidos con respecto al volumen, se puede concluir que quienes ocupan menor espacio en los filtros son los cuartos de círculo, esto se debe a su forma geométrica. En relación al espesor se puede establecer que cada culmo de Guadua es diferente razón por la cual no se puede estandarizar su geometría (diámetro, espesor, longitud) y su comportamiento. Teniendo en cuenta que las características mecánicas de la Guadua dependen de las especies botánicas, su localización, la edad del tallo cosechada, su contenido de agua y naturalmente del diámetro y grueso de pared, la clasificación se recomienda con esos parámetros (Pantoja & Acuña, 2005).

7.1.2 Contenido de Humedad

Los contenidos de humedad hallados en los semicírculos y cuartos de círculo, fueron de 12.94% y 12.07% respectivamente. Aunque los culmos pertenecen a la misma guadua se observa que el porcentaje de humedad es diferente para cada ensayo. En estudios realizados por (Moreno, Trujillo, & Osorio, 2007) determinaron un valor promedio de 7.1%, este valor tan bajo 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 (Moreno, Trujillo, & Osorio, 2007). Así mismo la caña guadua se contrae con la pérdida de humedad y se dilata cuando ésta aumenta, para reducir los cambios de dimensión, se le debe someter al proceso de secado, aproximándose al contenido de humedad que tendrá cuando esté en uso, entre el 10 y el 15% (Arreaga & Borja, 2014).

Según la NSR-10 en su título G, para uso estructural la guadua al igual que la madera pierde resistencia y rigidez, a medida que aumenta su contenido de humedad. Los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad reportados en las tablas G.12.7-1 y G.12.7-2 fueron calculados para un contenido de humedad de la guadua por encima del 12%. La guadua una vez ha sido cosechada tiende a secarse hasta alcanzar un contenido de humedad de equilibrio con el sitio en donde se encuentra. Si el secado es mecánico y se logra bajar el contenido de humedad de la guadua por debajo del 12%, esta podrá ganar humedad si el sitio final de la edificación tiene una humedad relativa del ambiente muy alta acompañada de una temperatura baja (MINAMBIENTE, 1997).

7.1.3 Propiedades físicas del lecho

7.1.3.1 Porosidad

En la tabla 5 se describen los valores del volumen aparente, así mismo los valores promedios del volumen del lecho, volumen real y el porcentaje de porosidad para los semicírculos y cuartos de círculo

Tabla 5. Porosidad promedio de los semicírculos y cuartos de círculo.

Lecho Filtrante	Volumen Aparente Va (ml)	Numero promedio	Volumen Vp	Volumen Real Vr	Porosidad %
Semicírculos	9000	111.3	18.7	2077.0	76.9
	6000	68.6	18.7	1280.2	78.7
	3000	47.5	18.7	886.4	70.5
Cuartos de Círculo	9000	484	5.5	2669.7	70.3
	6000	312.2	5.5	1722.1	71.3
	3000	153.2	5.5	845.0	71.8

Comparando los valores medios de porosidad entre las formas geométricas semicírculos 75% y cuartos de círculo 71%, se observa que no se presenta una diferencia significativa entre los porcentajes hallados, después de haber utilizado el método de LSD Fisher, con un nivel de significancia ($p>0.05$). Esto indica según (Calle, 2013) que la guadua es un excelente medio de soporte, en razón a que la porosidad permite un mayor volumen de espacios vacíos donde se aloja la comunidad microbiana, en comparación con otros medios de soporte tradicionales. En relación a las características observadas de la guadua, esta no presentó cambios en su estructura ni en su forma tan solo presentó leves cambios de color por la acción de los microorganismos.

Para Batero y Cruz (2007) la mayor parte de la biomasa se acumula en los vacíos intersticiales existentes en el medio. El medio permanece sumergido en el agua residual, permitiendo una concentración de biomasa alta y un efluente clarificado.

Gualteros y Chacón (2015) expresan que la función de un medio filtrante es ofrecer una barrera en la que los poros son más pequeños que las partículas en suspensión, separadas del fluido y retenidas en el filtro. En los medios filtrantes gruesos los poros pueden ser más gruesos que las partículas que se van a separar, las cuales pueden acompañar al fluido alguna distancia a través del medio, pero son retenidas más pronto o más tarde por el medio

filtrante en los finos intersticios que existen entre las partículas que lo constituyen. Estos favorecen las comunidades de microorganismos que crecen adheridos a una superficie inerte o un tejido vivo. Las biopelículas representan la forma habitual de crecimiento de las bacterias en la naturaleza y su presencia ejerce un enorme impacto en diversos aspectos de nuestra vida, como son, el tratamiento de aguas residuales.

7.1.3.2 Área específica de contacto

En la tabla 6 se presentan los diferentes datos del volumen del lecho, los diámetros externos e internos y las áreas específicas de contacto de los semicírculos y cuartos de círculo de guadua.

Tabla 6. Área específica del lecho filtrante para las figuras geométricas.

Lecho Filtrante	Volumen del lecho (m ³)	Cantidad promedio	Longitud (m)	Diámetro Ext (m)	Diámetro Int (m)	Área de contacto (m ² /m ³)
Semicírculos	0.009	111	0.01	0.11	0.09	43.13
	0.006	69	0.01	0.11	0.09	39.88
	0.003	48	0.01	0.11	0.09	55.22
Cuartos de Círculo	0.009	484	0.01	0.08	0.06	132.38
	0.006	312	0.01	0.08	0.06	128.08
	0.003	153	0.01	0.08	0.06	125.71

Tabla 7. Media de área específica de contacto de los lechos filtrantes.

Área específica de contacto	MEDIA
Semicírculos de guadua	46.08±8.09 a
Cuartos de círculo	128.72±3.38 b

Media ± Desviación estándar.

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Según prueba LSD Fisher

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que se presenta una diferencia significativa entre el área específica de contacto de los dos tratamientos evaluados; los semicírculos presentaron un valor promedio de 46.08 m²/m³ y los cuartos de círculo de 128.72 m²/m³, indicando que la forma

geométrica cuartos de círculo es la que tiene mayor área específica de contacto. Según Orozco (2005) citado en (Ipuz & Reyes, 2015) el área superficial ideal de un medio de soporte para tratamiento de agua residual doméstica debe ser $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$, esto quiere decir que el valor hallado en los cuartos de círculo se encuentra por encima de este, en comparación con Ipuz y Reyes (2015), quienes obtuvieron en su proyecto de investigación el 35.6%, indicando que la guadua no cumple con este valor; aunque el área neta es un parámetro fundamental en los tratamientos de lecho fijo, ya que determina la cantidad de biopelícula que se puede formar, existen otras características que se deben analizar a la hora de escoger un medio de soporte.

Por otro lado la guadua es un material que presenta características satisfactorias para ser empleado como medio de soporte ya que ofrece una superficie útil, bastante amplia, lo cual permite establecer diferentes valores de área de contacto dependiendo de la longitud de las unidades a utilizar, están constituidas por “trozos” o anillos procedentes del tallo de la planta (Ipuz & Reyes, 2015). Existen dos formas de disponer los medios dentro del reactor, una al azar que presenta mayor área específica debido a su tamaño y otra ordenada, que es de menor área específica de manera que se tenga una buena distribución del fluido sobre el medio. Cabe anotar que la forma de disponer el medio depende del criterio del diseñador y/o del constructor considerando aspectos como: eficiencia, facilidad de instalación, costos del medio, entre otros (Cubillos, 2006).

Hoy en día, los materiales plásticos son utilizados como soportes y pueden proveer áreas superficiales muy grandes para que los microorganismos se puedan adherir, de hasta $240 \text{ m}^2/\text{m}^3$ en algunas aplicaciones (O'Reilly, Rodgers, & Zhan, 2008).

7.1.3.3 Peso específico

Los valores obtenidos para el peso específico de la guadua estudiada se determinaron mediante los datos de volumen aparente, volumen real y masa, que se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Peso específico de los semicírculos y cuartos de círculo.

Lecho Filtrante	Volumen Aparente Va	Cantidad promedio	Masa (g)	Volumen real (cm ³)	Peso Específico (g/cm ³)
Semicírculos	9000	111.3	1550	2077.02	0.75
	6000	68.6	935	1280.18	0.73
	3000	47.5	330	886.42	0.37
Cuartos de círculo	9000	484	2465	2669.74	0.92
	6000	312.2	1580	1722.09	0.92
	3000	153.2	765	845.05	0.91

De la tabla anterior se deduce que el peso específico promedio fue de 0.62 g/cm³ en los semicírculos y de 0.92 g/cm³ en cuartos de círculo, similar a los datos obtenidos por Vargas y Silva (2013) de 0.96 g/cm³ del lecho filtrante con longitud de 1 cm.

Según Montoya (2005) en la mayoría de las especies en madera y bambú, un incremento del contenido de humedad provoca un aumento tanto de la masa (normalmente en mayor medida) como del volumen de la guadua que a su vez provoca que el valor de la densidad aumente. Por encima del punto de saturación de las fibras este aumento se produce a un ritmo notablemente superior ya que el volumen permanece constante a partir de él. Una guadua con densidad elevada se caracteriza por presentar paredes celulares gruesas y lúmenes de pequeño diámetro, por lo cual ofrecerá una mayor resistencia al paso del agua por su interior que una guadua ligera con grandes lúmenes y paredes muy delgadas. Las guaduas densas tienen capacidad de fijación de agua (higroscópica diferente a las ligeras, a igualdad de contenido de humedad una guadua densa fija en su interior mucha mayor

cantidad de agua que una ligera que se traducirá en tiempos de secado más prolongados.

7.2 CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL

Las siguientes graficas muestran los resultados fisicoquímicos medidos en el agua residual de la Universidad Surcolombiana sede Pitalito, obtenida durante el periodo comprendido entre los meses de noviembre 2016 a marzo de 2017, los muestreos fueron realizados en:

- ✓ Punto 1: Efluente TSAM y afluente FAFAs
- ✓ Punto 2: Efluente FAFA con semicírculos de guadua
- ✓ Punto 3: Efluente FAFA con cuartos de círculo de guadua

La salida del agua residual del TSAM es el abastecimiento de los FAFAs, siendo estos los tratamientos preliminar y primario, y secundario respectivamente. Los valores del punto 1 se utilizan para calcular las eficiencias en cada uno de los filtros o tratamientos de las aguas residuales tratadas.

7.2.1 Temperatura (°C)

Este parámetro presentó un valor promedio de 21°C, el cual se encuentra en el intervalo mesofílico (20 - 40 °C) (Osorio & Vasquez, 2007), 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 (MINAGRICULTURA, 1984) artículo 72, donde la temperatura debe ser <40°C.

7.2.2 Potencial de Hidrogeno (pH)

En la figura 24 se presenta la variación del pH con respecto al tiempo, para el afluente y el efluente. Durante todo el estudio se observó un valor promedio de 6.73 a la entrada del sistema de filtros (punto 1), de 6.83 a la salida del punto 2 y de 6.92 a la salida del punto 3. Lo que indica que en el punto 1

ocurrió una acidificación del agua residual, es decir durante el proceso de hidrólisis sufrió la fermentación de los compuestos orgánicos (Osorio, 1994) y en los puntos 2 y 3 el pH vuelve a aumentar, logrando una disminución del contenido de ácidos en el efluente. Para todo el estudio este parámetro permaneció dentro del rango óptimo de operación de los FAFAs, según lo estipulado en el artículo 72 de las normas de vertimientos, 5 a 9 unidades (MINAGRICULTURA, 1984).

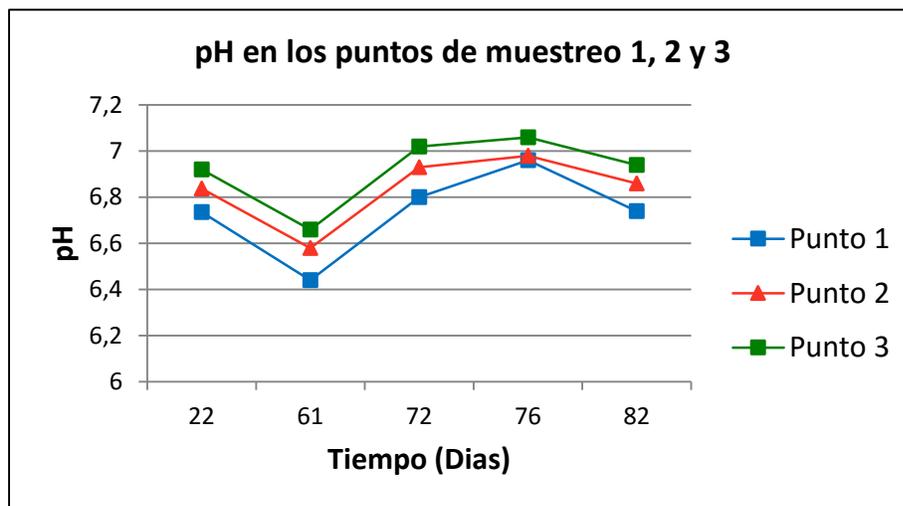


Figura 24. Valores del pH en los puntos de muestreo

7.2.3 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

La figura 25 presenta un resumen de la variación en el comportamiento de la DBO₅ con respecto al tiempo, para todo el periodo experimental. Durante el periodo de evaluación la concentración en el punto 1 fue menor comparada con los demás puntos, lo que indica eficiencias negativas. Demostrando que la calidad del agua es deficiente desde el punto de vista químico, marcada por una alta concentración de materia orgánica. Cabe resaltar que en los puntos de muestreo 2 y 3 se pudo establecer que no era necesario realizar la inoculación para agilizar el arranque del sistema, lo que se logró fue un incremento de carga contaminante.

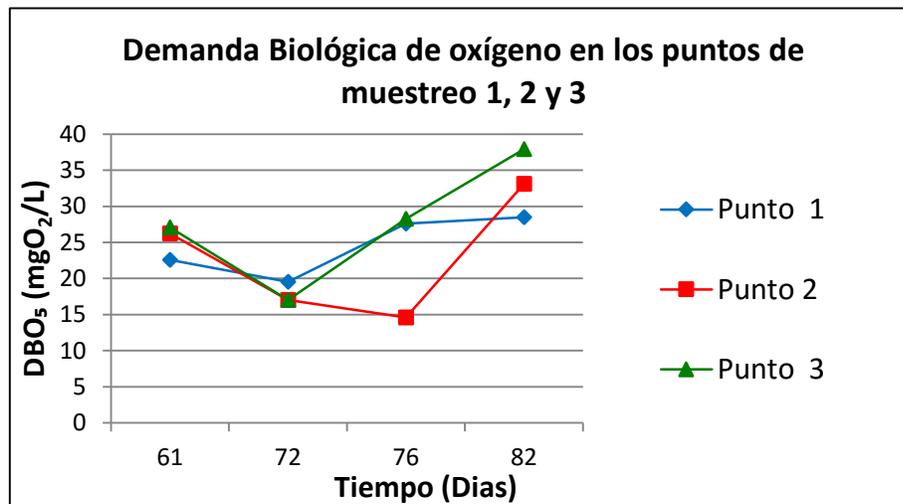


Figura 25. Valores de la DBO₅ en los puntos de muestreo

Esto se debe a una característica particular de los microorganismos anaerobios en el arranque de los FAFAs que es su baja tasa de crecimiento; por lo tanto, al iniciar el proceso de arranque del reactor se requiere de un periodo de tiempo que dependerá de la calidad y cantidad de inóculo utilizado. Sin embargo, en los casos en que no se cuenta con inóculos adecuados, esta etapa se puede prolongar, incluso hasta condiciones críticas en las que nunca alcanza la estabilidad. Por ello, el arranque de filtros anaerobios requiere contar con herramientas apropiadas para la obtención y evaluación de los inóculos más eficientes (Diaz, Espitia, & Molina, 2002). Otra razón por la cual se presentó la variación en este parámetro, fue por las fluctuaciones en el caudal de agua residual proveniente de la universidad, aumentando en la época de estudio y disminuyendo en temporada de vacaciones, además de las diluciones producidas por la lluvia.

Seguido a esto se realizó el análisis de varianza de los dos tratamientos de FAFAs con guadua, utilizando el método de LSD Fisher, con un nivel de significancia ($p > 0.05$), se observa en la tabla 9 que no hay diferencia significativa entre las medias para DBO.

Tabla 9. Media de DBO₅ (mgO₂/L) en el funcionamiento de los FAFAs.

TRATAMIENTO	MEDIA
FAFA con semicírculos de guadua	22.76±8.54 a
FAFA con cuartos de círculo	27.56±8.55 a

Media ± Desviación estándar.

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Según prueba LSD Fisher

Cabe resaltar que el valor de la media para semicírculos fue inferior, demostrando una mejor remoción de materia orgánica, indicando que resulta indiferente utilizar cualquiera de los dos tratamientos.

Igualmente en la Figura 26 puede observarse que hay mayor dispersión para los cuartos de círculo, por otra parte, presenta un valor promedio (mediana) mayor (27.67 mgO₂/L) de DBO₅ que el de los semicírculos, siendo este asimétrico positivo.

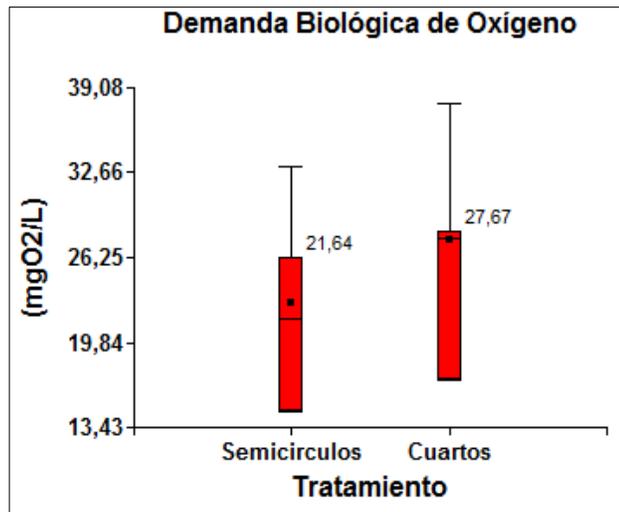


Figura 26. Media de DBO₅ durante el funcionamiento de los FAFAs.

7.2.4 Sólidos Suspendidos (SS)

De la figura 27 se puede distinguir que a los 72 días se presentó una notable disminución en cada uno de los puntos de muestreo, sin embargo a medida que transcurre el tiempo aumenta la diferencia entre el valor de SS del afluente y del efluente. Es de resaltar el punto 3, donde su comportamiento

es constante en los últimos días del experimento, indicando que presento mejor remoción de sólidos

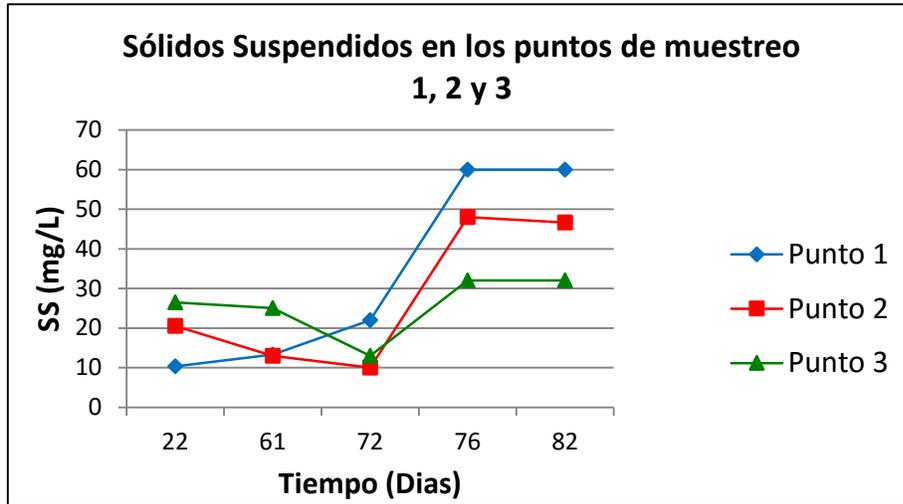


Figura 27. Valores de los SS en los puntos de muestreo

Haciendo referencia al comportamiento de los SS durante el periodo de estudio, se observa en la tabla 10 no hubo diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) en la reducción de los SS.

Tabla 10. Media de los SS (mg/L) en el funcionamiento de los FAFAs

TRATAMIENTO	MEDIAS
FAFA con semicírculos de guadua	27.63±18.39 a
FAFA con cuartos de círculo	25.70±7.77 a

Media ± Desviación estándar.

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Según prueba LSD Fisher

El valor de la media para los cuartos de círculo es menor, posiblemente debido a lo expuesto por Cardona y García (2008) donde expresan que los materiales particulados presentes en las aguas residuales pueden ser sedimentables fácilmente aunque hay unos que no lo son.

Del mismo modo, se observa en la Figura 28 que en los semicírculos la caja y los bigotes es más larga, esto se debe a la dispersión que existe en la distribución de los datos de los SS para este tratamiento, además se presenta una asimetría negativa encontrándose la media por encima de la

mediana. Para los cuartos de círculo se evidencia un valor atípico y una simetría negativa y a diferencia de los semicírculos la media se encuentra por debajo de la mediana presentándose variabilidad.

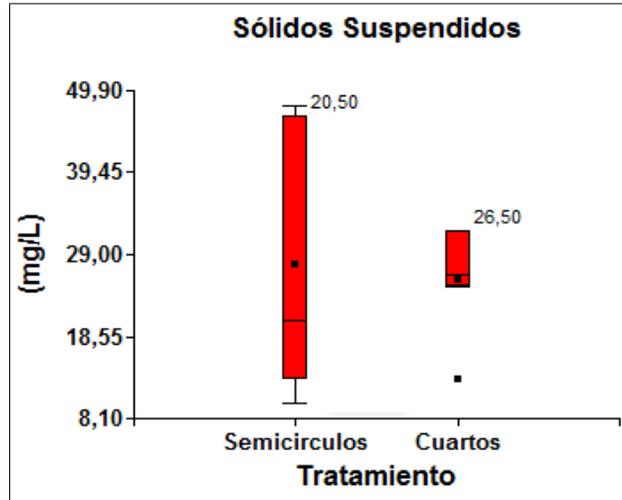


Figura 28. Media de los SS durante el funcionamiento de los FAFAs.

7.2.5 Coliformes Fecales (CF)

Se observa en la figura 29, que hay una disminución importante en la presencia de coliformes fecales al inicio del experimento, al pasar de NMP 130000 a la entrada, a una condición de NMP 5400 a la salida del punto de muestreo 3. Del mismo modo se evidencia que a los 72 días el comportamiento es constante en los puntos de muestreo 2 y 3, mientras que en el punto de muestreo 1 se incrementa notoriamente el número de microorganismos haciendo deficiente la calidad del agua.

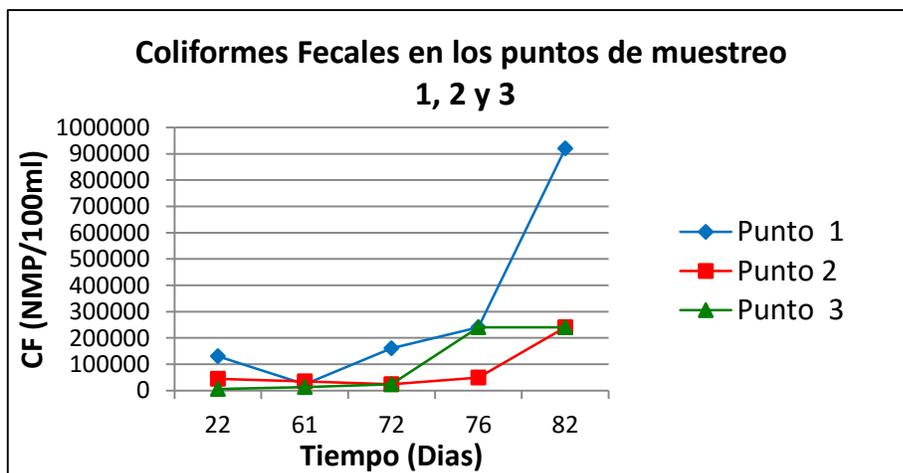


Figura 29. Valores de los CF en los puntos de muestreo

Según el texto guía de Saneamiento Rural (Valencia & Olaya, 1997) los resultados que se deben obtener en los FAFAs son de 10^6 NMP/100ml, es decir que los valores obtenidos durante toda la fase experimental para los puntos de muestreo 2 y 3 se encuentran en este rango.

Por otro lado no se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los dos tratamientos evaluados en cuanto a la remoción de CF. Esta insignificancia estadística pudo deberse a la variación de los datos obtenidos.

Tabla 11. Media de los CF en el funcionamiento de los FAFAs.

TRATAMIENTO	MEDIAS
FABA con semicírculos de guadua	78600 ± 90743.04 a
FABA con cuartos de círculo	104480 ± 123888,87 a

Media ± Desviación estándar.

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Según prueba LSD Fisher

Sin embargo se puede considerar que los semicírculos de guadua presentan una mayor remoción con respecto a los cuartos de círculo, como se refleja en la tabla 11.

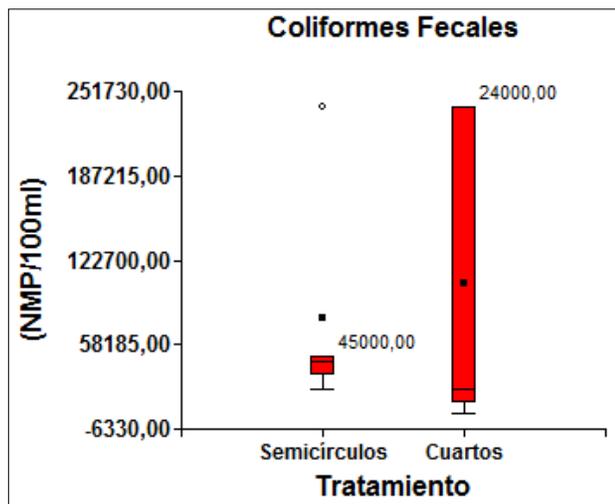


Figura 30. Media de los CF durante el funcionamiento de los FAFAs.

En la figura 30 se observa que existe una gran diferencia entre los semicírculos y cuartos de círculo, asimismo los semicírculos presentan una media más baja y a su vez cuentan con un valor atípico; mientras que los

cuartos de círculo la media es mayor que la mediana; es decir el valor de los CF presenta una distribución asimétrica positiva.

7.3 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA DBO₅, SS Y CF

De acuerdo a los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica del agua residual y evaluación de los FAFAs, se determinaron las siguientes eficiencias de los tratamientos en cuanto a la DBO₅, SS y CF.

7.3.1 Eficiencia de remoción de DBO₅ obtenidos en los FAFAs

Según la eficiencia de remoción de DBO₅ de la tabla E.4.20 del RAS 2000 título E (MIN DESARROLLO, 2000), el tratamiento con semicírculos de guadua, con eficiencia del 47.13 %, presentada a los 76 días de funcionamiento, cumple con el valor de 40 – 65 %, mencionado en dicha norma. Inferior al porcentaje de remoción promedio 70% obtenido por Vargas y Silva (2013), con semicírculos de guadua de 1 cm de longitud, en el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana ubicada en el municipio de Palermo, y el mismo valor reportado en el texto guía de Saneamiento Rural para filtros anaerobios (Valencia & Olaya, 1997).

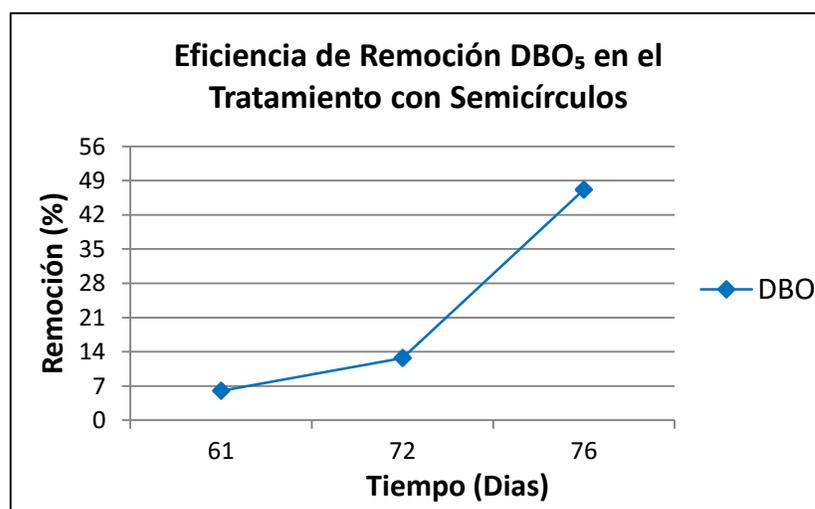


Figura 31. Variación de la remoción de la DBO₅ en semicírculos

De los cinco muestreos para determinación de la DBO_5 se eliminó el primer y último resultado por encontrarse eficiencias negativas, que se interpretan como un aporte de materia orgánica durante el paso del agua residual por los tratamientos, justificable para el primer muestreo por el lodo que se aplicó para el arranque de los filtros (Ver figura 31). Recalcando que las tres eficiencias que se tomaron como referencia van aumentando con el transcurso del tiempo, pero se desconoce hasta qué punto puede llegar la eficiencia y en qué momento disminuye. Por lo que se recomienda prolongar el tiempo de evaluación para determinar estas dos variables.

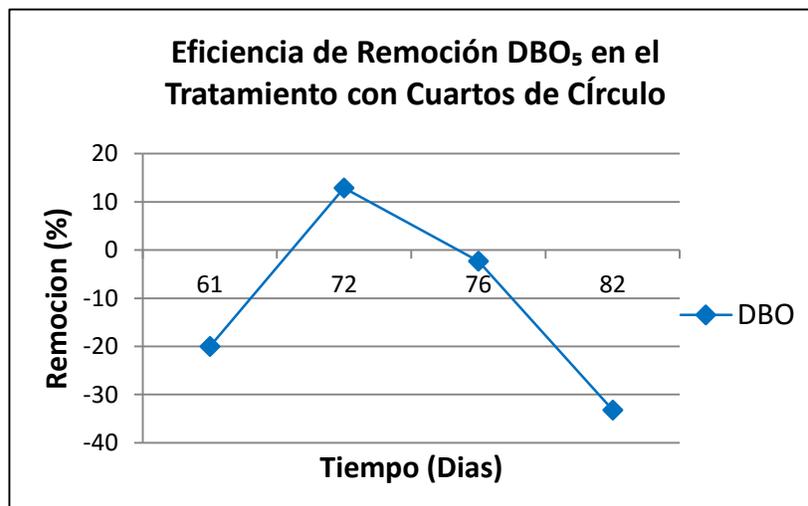


Figura 32. Variación de la remoción de la DBO_5 en cuartos de círculo.

El tratamiento con cuartos de círculos de guadua, presentó la mejor eficiencia a los 72 días, con 12.90 % de remoción de DBO_5 . Este resultado es deficiente debido aparentemente al aumento en las precipitaciones durante el periodo de toma de las muestras, generando una disminución de los microorganismos encargados de realizar la labor de descomposición de la materia orgánica y a la vez disminuyendo el tiempo de retención hidráulico (TRH). A causa de que el TSAM que abastece los tratamientos recibe la combinación de aguas lluvias y residuales domésticas (Ver figura 32).

Otro factor que influyó fue el arranque, ya que no se inoculó adecuadamente, según Lobo (2005) se debe realizar un análisis para su caracterización

cualitativa, incluyendo los siguientes parámetros: pH, alcalinidad, ácidos grasos volátiles, sólidos totales, sólidos volátiles totales y la actividad metanogénica específica. La inoculación se recomienda con el filtro vacío, se debe cuidar que el lodo se descargue en el fondo, evitando las turbulencias, además se debe dejar en reposo por un periodo aproximado de 12 a 24 horas con el objetivo de que se dé una adaptación gradual a la temperatura del medio ambiente.

Con los resultados obtenidos se observa que la eficiencia aumento hasta los 72 días, y se eliminó el valor del primer muestreo. Sin embargo, este tratamiento fue ineficiente en cuanto a la descomposición de materia orgánica comparado al tratamiento de semicírculos de guadua 47.13%, a la norma RAS título E, 40-65%, al reportado por Vargas y Silva (2013) y en el texto guía de Saneamiento Rural de (Valencia & Olaya, 1997) ambos con valor del 70%. Además Mishra (2015) alcanzo una eficiencia de DBO_5 con un valor de 90% a las 24 horas con un tiempo de retención hidráulico (TRH), lo que demuestra una alta eficiencia en este tipo de tratamientos.

En las figuras 33 y 34 se compara la eficiencia de remoción de DBO_5 con la porosidad se observa que son directamente proporcionales e inversamente proporcionales con el área específica de contacto. Según Castaño y Paredes (2002) estos resultados confirman la tesis de que el medio filtrante, en especial su área específica, no tiene una fuerte influencia en el desempeño del reactor. Es de esperarse, sin embargo, que al no ser un parámetro limitante la superficie específica, los microorganismos presentaran su crecimiento principalmente en los espacios libres seguido de crecimiento en el medio de soporte. Quiere decir esto que la principal actividad biológica se da por microorganismos suspendidos.

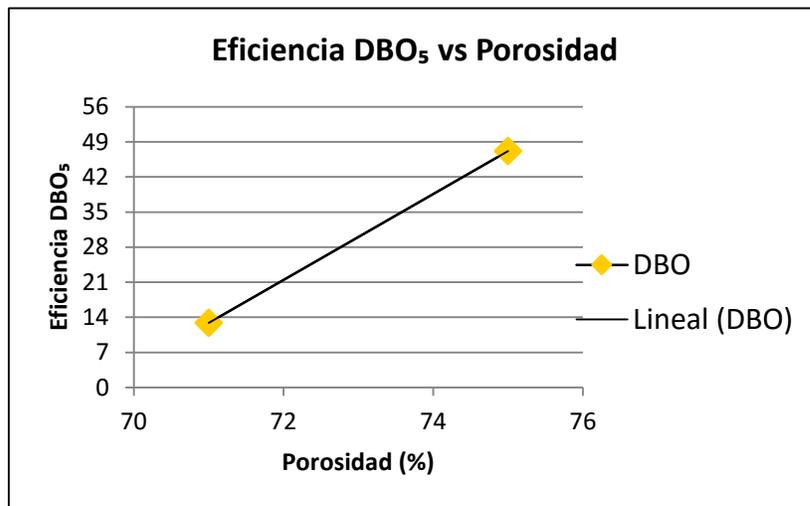


Figura 33. Eficiencia DBO₅ vs Porosidad en los FAFAs.

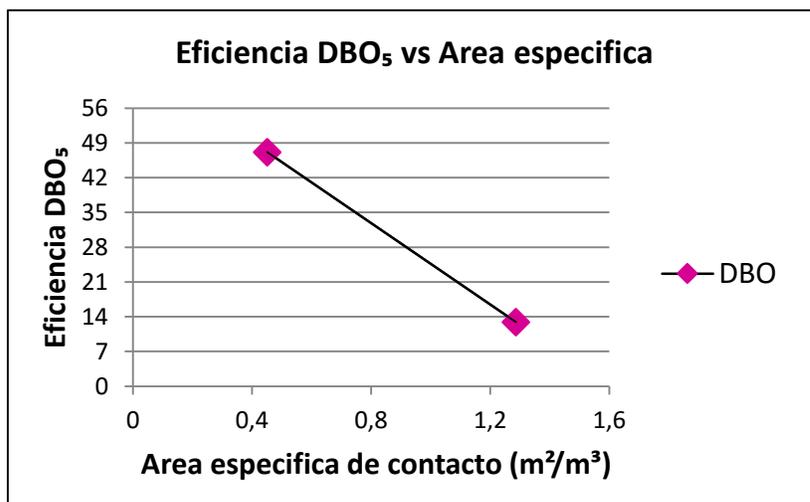


Figura 34. Eficiencia DBO₅ vs Área específica de contacto

7.3.2 Eficiencia de remoción de los SS obtenidos en los FAFAs

Con respecto a la remoción de los Solidos Suspendidos, la figura 35 muestra la eficiencia de dicho parámetro en el tratamiento de los semicírculos de guadua, el mayor porcentaje se presenta a los 72 días de inicio de operación de los filtros, pasando del 2% a los 61 días a un 54.54%. El mayor resultado encontrado es igual al obtenido por Vargas y Silva (2013), 54%, e inferior a la eficiencia que se presenta en el texto guía de Saneamiento Rural, 70% (Valencia & Olaya, 1997).

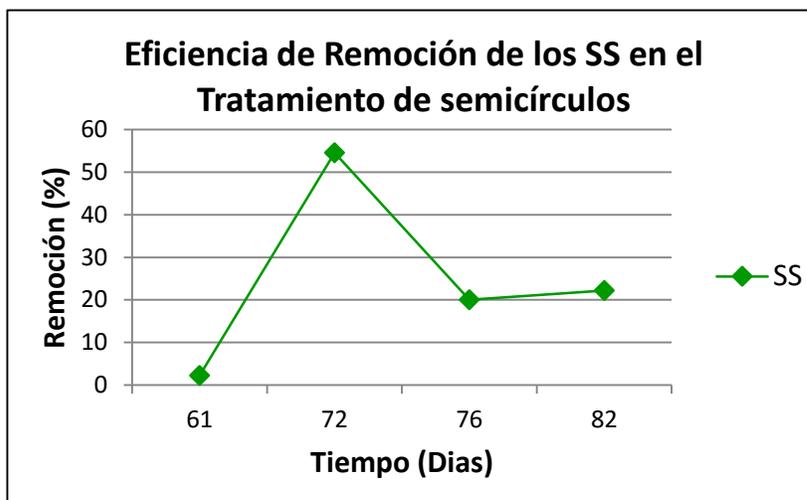


Figura 35. Variación de la remoción de los SS en los semicírculos

Según se aprecia en la figura 36 el tratamiento con cuartos de círculo alcanzó su máximo porcentaje de remoción entre los 76 y 82 días, con un valor de 46.66%. Este tratamiento fue ineficiente debido a la combinación de aguas lluvias y domesticas que se disponen en el TSAM que abastece los tratamientos, afectando la variación del caudal y disminuyendo el TRH. (Torres, Rodriguez, & Uribe, 2003) Presentaron una eficiencia del 88% respectivamente, con un tiempo de retención hidráulico (TRH) óptimo de 15 horas, mientras que Vargas y Silva (2013) reportaron un valor cercano al tratamiento de semicírculos de guadua del 47.13%; asimismo en el texto guía de Saneamiento Rural (Valencia & Olaya, 1997) 70% y según los criterios de calidad del Decreto 1594 de 1984 Artículo 72 que establece las normas de vertimientos con remoción del 80% (MIN AGRICULTURA, 1984).

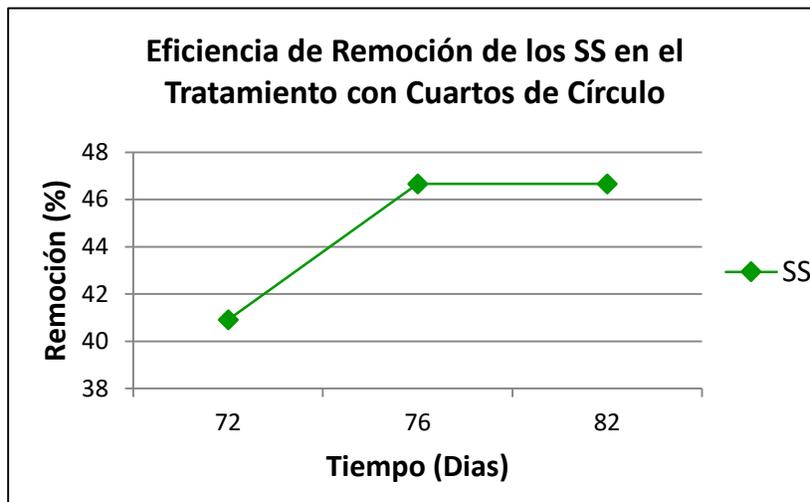


Figura 36. Variación de la remoción de los SS en los cuartos de círculo

7.3.3 Eficiencia de remoción de CF obtenidos en los FAFAs

A partir de los resultados obtenidos se concluye que la mayor remoción en los semicírculos se presenta a los 76 días, con un valor del 79.58 %, superando el resultado obtenido por Vargas y Silva (2013) del 70%, lo cual indica la disminución en la concentración de *E. Coli*, ya que no cuentan con los factores necesarios para su reproducción como lo son la materia orgánica y el pH, que pueden ser elevados en aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento o por sistemas ineficientes (ver figura 37).

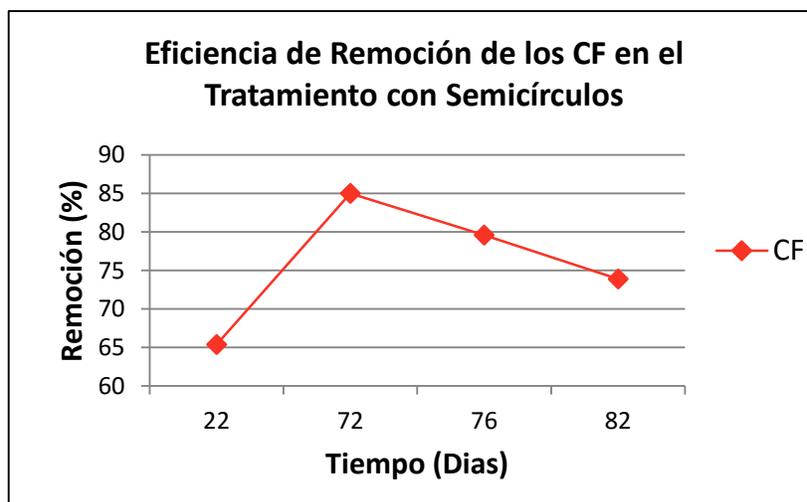


Figura 37. Variación de la remoción de los CF en los semicírculos

En la figura 38 se observa que los cuartos de círculo alcanzan el valor máximo a los 22 días con el 95.85% de eficiencia, presentando mayor disminución en la concentración de coliformes fecales, durante el tiempo de operación del filtro. Dicho resultado sufrió una variación a los 61 días aumentando la concentración de *E. Coli*, disminuyendo la eficiencia en un 45.84%. Al final del experimento se logró comprobar que este tratamiento es más eficiente comparado con los resultados obtenidos en los semicírculos.

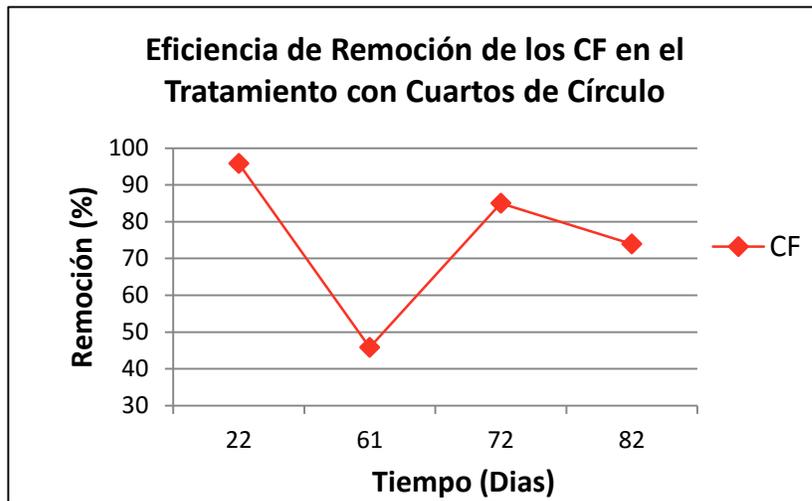


Figura 38. Variación de la remoción de los CF en los cuartos de círculo

En gran medida esto se debe a que los microorganismos al no encontrarse en un ambiente favorable con nutrientes necesarios para su crecimiento se hacen inactivos.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Teniendo en cuenta que los FAFAs implementados no alcanzaron la eficiencia de remoción esperada 60-70%, con un TRH de 5 a 24 horas, no se puede interpretar como un resultado negativo, esto se debe a la ineficiencia del sistema que abastece los filtros, ya que presenta fallas de diseño y construcción en el sistema colector de aguas lluvias y aguas residuales domésticas interfiriendo desfavorablemente en los procesos biológicos que se llevan a cabo en los FAFAs, de ahí que los mayores resultados obtenidos fueron; DBO₅ 47%, SS 51% y CF 82%. Una de las causas es el exceso de caudal, que aumenta con las precipitaciones, excediendo el de diseño, provocando así una disminución en el TRH del sistema (1 hora), factor fundamental en el proceso de digestión anaerobia. Por tal motivo se recomienda hacer la separación de los dos tipos de alcantarillado que abastecen el TSAM, así mismo el rediseño de la planta de tratamiento según las especificaciones técnicas conforme a la normatividad colombiana decreto 1594/84 Art. 72 y el RAS.
- ✓ A la hora de implementar los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente, es necesario verificar que exista un tratamiento preliminar y primario para las aguas residuales, que garantice su correcto funcionamiento. Antes de realizar el proceso de inoculación de los lechos filtrantes, es necesario establecer las condiciones en las que se encuentra el lodo, realizando su caracterización, utilizando lodo producto de la sedimentación secundaria y no de la primaria, ya que esto perjudica el crecimiento bacterial al momento del arranque del sistema, influyendo en el proceso de digestión anaerobia.
- ✓ Se pudo establecer que la construcción y operación de filtros anaerobios de flujo ascendente con medio de soporte en guadua, son una alternativa sencilla, ecológica y económica para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, ya que es un recurso renovable y sus propiedades

físicas la convierten en un material resistente, liviano, con buena rugosidad, permitiendo mayor adherencia de los microorganismos; es fácil de adquirir en la región y sobre todo, no sufre alteraciones en su composición, porque presenta una alta resistencia al agua, debido a su superficie semipermeable.

- ✓ Se pudo establecer que aunque el área específica de contacto del tratamiento con cuartos de círculo fue mayor ($128.72 \text{ m}^2/\text{m}^3$) con respecto al tratamiento con semicírculos ($46.08 \text{ m}^2/\text{m}^3$), esto no garantiza que a mayor área de contacto mayor sea el porcentaje de remoción, debido a que la principal actividad biológica se da por microorganismos suspendidos. Las otras propiedades físicas estudiadas, como el volumen, contenido de humedad, porosidad y peso específico, estaban dentro de los valores para ser utilizados en este tipo de tratamiento como material filtrante.

9 BIBLIOGRAFÍA

Acosta, L., & Obaya, C. (2005). La digestión anaerobia, aspectos teóricos. Parte I. Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la caña de azúcar, 35-48.

Arreaga, J., & Borja, M. (8 de Diciembre de 2014). El Bambu (guadua angustifolia). Quito, Ecuador.

Batero, Y. C., & Cruz, E. M. (2007). Evaluación de Filtros Anaerobios (FAFAs) con filtro en Guadua para la remoción de Materia orgánica de un agua residual sintética. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Batero, Y., & Cruz, E. (2007). Evaluación de filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFAs) con medio de soporte en guadua para la remoción de materia orgánica de un agua residual sintética. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Calle, J. (2013). Evaluación de la eficiencia de aros de guadua como medio de soporte para filtros de agua de flujo ascendente a escala piloto en la Universidad Pontificia Bucaramanga. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bucaramanga.

CAM. (2015). Resolución Licencia y/o permiso. Neiva: Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM.

Campos, C., & Anderson, G. (1992). The effect of the liquid upflow velocity and the substrate concentration on the start-up and the steady state periods of lab-scale UASB reactors. *Water science and Technology*, 25, 41-50.

Campos, J. (1990). Alternativas para tratamiento de esgotos sanitarios. Das Badas dos Ríos: Piracicaba e Capibari.

Cardenas, G. L. (2009). Evaluación de la eficiencia de reactores de lecho fijo utilizando aguas mieles residuales de trapiches artesanales. 25-38.

Cárdenas, R., & Ortiz, J. E. (2014). Manejo integrado del recurso agua, en el proceso de beneficio húmedo del café, para la asociación de productores de café especial "ACAFETO" en el municipio de Fresno, departamento del Tolima. Manizales: Universidad de Manizales.

Cardona, J., & García, L. (2008). Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (EM) sobre la calidad de un agua residual doméstica. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Castaño Rojas, J. M., & Paredes Cuervo, D. (2002). Uso de aros de guadua en filtro anaerobios para el tratamiento de aguas residuales. Pereira: Seminario avances sobre investigación sobre la guadua, 1-6

Castaño, J. M. (2003). Influencia del medio de soporte en el comportamiento del filtros anaerobicos de flujo ascendente bajo diferentes tiempos de retencion hidraulica. . Santiago de Cali: Universidad del valle.

Crites, R., & Tchobanoglou, G. (2000). Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones. Bogotá: McGraw Hill.

Cubillos, H. (2006). Puesta en marcha y evaluación de un reactor anaerobio de flujo a pistón para el Manejo de Lixiviados del relleno sanitario de Villavicencio "Don Juanito". Bogotá: Universidad de la Salle.

De Lemos Chernicharo, C. A. (2007). Biological Wastewater Treatment Series (Vol. 4). Brazil: IWA Publishing.

Diaz, M., Espitia, S., & Molina, F. (2002). Digestión Anaerobia una aproximación a la tecnología. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Espinosa, J. (2011). Tratamiento de aguas residuales de matadero con elevado contenido en sangre mediante la combinación de procesos anaerobio de película fija (BAPF) y aerobio de membrana (MBR). Burgos, España: Universidad de Burgos.

García, J. F. (2015). Aplicación del metodo winkler como sustitucion de la respirometria en la determinacion de la demanda bioquimica de oxigeno en efluentes del proceso de beneficio humedo de cafe. Guatemala: Universidad de San carlos .

García, M. (2013). Protocolo para la determinación de sólidos suspendidos totales secados a 103-105 °C. La Guajira: Universida de la Guajira.

Glynn, H., & Gary, H. (1996). Ingeniria Ambiental. Mexico: Segunda Edicion. Prentice Hall. Inc.

Gómez, D. R. (2009). Determinación de la eficiencia de un tanque séptico aerobio inoculado con microorganismos en el tratamiento de las aguas residuales del mercado campesino de la Mesa de los Santos Santander. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Gualteros, L. J., & Chacón, M. A. (2015). Estudio de la eficiencia de lechos filtrantes para la potabilizacion de agua proveniente de la quebrada la despensa en el municipio Guaduas Cundinamarca vereda la Yerbabuena. Bogotá: Universidad de la Salle.

Hidalgo, M., & Mejía, E. (2010). Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada la macana, san antonio de prado municipio de medellín. Medellín: Universidad de Antioquia.

IDEAM. (10 de 09 de 2007). INSTRUCTIVO PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428

INDITEX. (2015). Lecho Aireable Sumergido. España: Universidad de Coruña.

León-Becerril, E., García-Camacho, J. E., Del Real-Olvera, J., & López-López, A. (2016). Performance of an upflow anaerobic filter in the treatment of cold meat industry wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, 102, 385-391.

Ipuz, A. M., & Reyes, M. A. (2015). Diseño, construcción y arranque de un Reactor Anaerobio de flujo a Pistón (RAP) con guadua como medio de soporte, para el tratamiento de agua residual doméstica de un campamento de trabajadores de una piscícola. Bogotá: Universidad de la Salle.

Lobo, K. (2005). Evaluación de procesos operativos en sistemas anaerobios para el tratamiento de aguas residuales. San José de Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

Manariotis, I., & Grigoropoulos, S. (2006). Municipal waste water treatment using Up flow-Anaerobic filters. *Water environment research*.

Mara, D. (1996). Waste stabilization ponds: effluent quality requirements. *Water Science & Technology*, 23-31.

Marin, J. P., & Correa, J. C. (2010). Evaluacion de la remocion de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la guadua angustifolia Kunth . Pereira: Universidad tecnologica de pereira.

Metcalf, & Eddy. (2003). *Waste engineering: treatment and reuse*. Nueva York: McGraw-Hill.

MIN DESARROLLO. (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento basico RAS - 2000 seccion II Título C . Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico.

MINAGRICULTURA. (1984). Decreto 1594. Bogotá: Ministerio de Agricultura.

MINAMBIENTE. (1997). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Título G. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento Técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS 2000. En *Tratamiento de Aguas*

Mishra, T., Ramola, S., Shankhwar, A. K., Rabha, A. K., & Srivastava, R. (2015). Pulp and paper mill effluent treatment by hybrid anaerobic upflow fixed-bed bioreactor combined with slow sand filter. *Desalination and Water Treatment*, 1-9.

Residuales (pág. 36). Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Montoya, J. A. (2005). *Silvicultura y manejo postcosecha de la guada.* Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Moreno, L. E., Trujillo, E., & Osorio, L. (2007). Estudio de las características físicas de haces de fibra de guadua angustifolia. *Scientia Et Technica*, XIII(34), 613-618.

Muñoz, A. (2008). *Caracterización y tratamiento de aguas residuales.* Mexico: Universidad autónoma del estado de Hidalgo.

Navarro, M. O. (2007). *Coliformes Totales y E. Coli por el método NMP.* Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Noyola, A. (1998). Anaerobio vs aerobio, un debate (casi) superado. *Biologico vs primario avanzado, en nuevo debate? Ingeniería y ciencias ambientales*, 10, 10-14.

O'Reilly, M., Rodgers, M., & Zhan, X. (2008). Pumped flow biofilm reactors (PFBR) for treating municipal wastewater. *Water Sci Technol*, 1857-1865.

Osorio. (1994). El filtro anaeróbico con guadua: una alternativa para el tratamiento de las aguas mieles. *Gaceta Ambiental*, 14-18.

Osorio, A., & Vasquéz, J. (2007). Evaluación de la remoción de la materia orgánica en filtros anaerobios de flujo ascendente utilizando aguas residuales sintéticas. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Otero, L. (2005). Efecto hidráulico de estructuras de soporte de biopelículas en tuberías de Alcantarillado. Bogotá: Universidad de los Andes.

Pantoja, N. H., & Acuña, D. F. (2005). Resistencia al corte paralelo a ala fibra de la guadua angustifolia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Pérez, M. M., Domínguez, E. R., Martínez, P. d., López, M. E., Gonzáles, Y. M., & Monteagudo, M. (2008). Eficiencia de diferentes sustratos de filtros de suelo plantados en la depuración de aguas residuales domésticas. *CENIC, Ciencias Biológicas*, 181-185.

Pinzon, L. F. (2010). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un modelo de tratamiento para las aguas residuales generadas en la producción de panela.* Bucaramanga: Universidad de Santander.

Rivera, A. G., Jorge; Castro, Reinaldo; Guerrero, Barbarita; Gertrudis, Nieves. (2002). Tratamiento de efluentes de destilería en un Filtro anaerobio de flujo ascendente. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 18, 131-137.

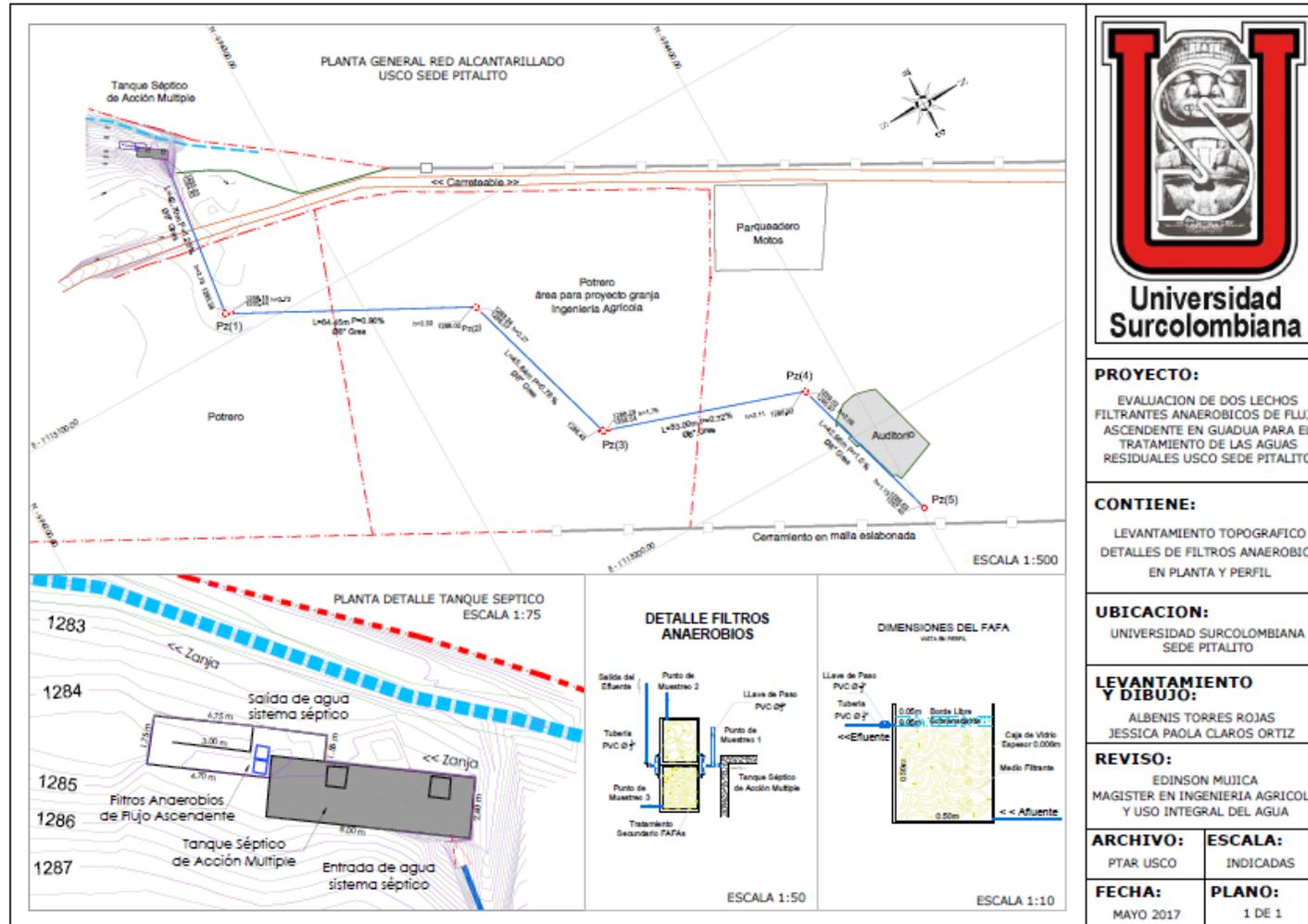
Rodríguez, J. (2007). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales.* Cali: Universidad del Valle.

Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño.* Bogotá: (4 ed) Santafé de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Rosales, E. (2008). Tanques sépticos- Conceptos teóricos base y aplicaciones. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Rural, M. D. (1999). Centro internacional de la agricultura organica. Tarea ambiental, 31.
- Serrano, H. (2005). Evaluación ambiental y sanitaria de dos sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la construcción de prototipos en escala natural. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 347-359.
- Tchobanoglous, G., & Crites, R. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. 455-453.
- Torres, P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domesticas en paises en desarrollo. *Revista EIA*, 115-129.
- Torres, P., Cardoso, A., & Rojas, O. (Mayo de 2004). Mejoramiento de la Calidad de Lodos Anaerobios. Influencia de la Adición de Cloruro Férrico. *Ingeniería y competitividad*, 5(2), 23-31.
- Torres, P., Rodriguez, J., & Uribe, I. (2003). Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: Influencia del medio de soporte. *Manizales: Scientia et Technica*.
- Troschinetz, A., & Mihelcic, J. (2009). Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Management*, 915-923.
- UNEP. (2009). Global environment outlook (GEO). Recuperado el 8 de Febrero de 2017, de <<http://geodata.grid.unep.ch/>>
- Valencia, E., & Olaya, M. (1997). Saneamiento Rural. Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Vargas, G., & Silva, J. E. (2013). Caracterizacion física de dos lechos filtrantes en guadua y evaluacion preliminar del lecho con forma semicirculo en Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente . Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Villegas, G. (2006). Septic Tank (ST)-Up Flow Anaerobic Filter (UFAF) - Subsurface Flow Constructed Wetland (SSF-CW) systems aimed at wastewater treatment in small localities in Colombia. *Revista Tec . Ing*.
- Viquez, E. G. (1999). Evaluacion preliminar de dos tipos de biofiltro utilizados como tratamientos secundarios de agaus residuales domesticas. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Young, J. (1991). Factors Affecting the Design and Performance of Upflow Anaerobic Filters. *Water Science & Technology*, 24, 133-155.

ANEXOS

Anexo A. Plano planta general del sistema TSAM y FAFAs



Universidad Surcolombiana

PROYECTO:

EVALUACION DE DOS LECHOS FILTRANTES ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE EN GUADUA PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES USCO SEDE PITALITO

CONTIENE:

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO
DETALLES DE FILTROS ANAEROBIOS
EN PLANTA Y PERFIL

UBICACION:

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
SEDE PITALITO

LEVANTAMIENTO Y DIBUJO:

ALBENIS TORRES ROJAS
JESSICA PAOLA CLAROS ORTIZ

REVISO:

EDINSON MUJICA
MAGISTER EN INGENIERIA AGRICOLA
Y USO INTEGRAL DEL AGUA

ARCHIVO:

PTAR USCO

ESCALA:

INDICADAS

FECHA:

MAYO 2017

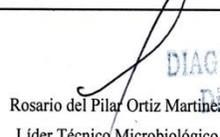
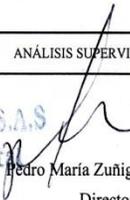
PLANO:

1 DE 1

Anexo B. Reporte de resultados muestra N° 3 de laboratorio

SISLAB-17025 SI-TECNOLOGIA LTDA..

Página 1 de 1

	DIAGNOSTICAMOS DIVISION AMBIENTAL			 IDEAM INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES Laboratorio Acreditado NTC ISO/IEC 17025 Resolución IDEAM 2746 de 2015			
REPORTE DE RESULTADOS N°	7003	FECHA DE EMISIÓN	2017-MAR-06				
DATOS DEL CLIENTE							
NOMBRE	CORPORACION UNIVERSITARIA DEL HUILA CORHUILA	DIRECCIÓN	CALLE 21 N°6-01				
CONTACTO	ALBENIS TORRES	TELÉFONO	311822214				
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA							
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	AGUA RESIDUAL				
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE	RADICADO INTERNO	7003				
PLAN DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE TOMA	2017-FEB-23				
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	NO APLICA	FECHA DE RECEPCIÓN	2017-FEB-24				
FUENTE DE MUESTREO	AGUA RESIDUAL DOMESTICA	FECHA DE ANÁLISIS	2017-02-24 / 2017-03-01				
LUGAR DE MUESTREO	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA PITALITO	PUNTO DE MUESTREO	1				
OTROS ¿Cuáles?	no reporta						
REPORTE DE RESULTADOS							
PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (UC)	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO	SM 5210B Y US EPA 360.3	mg O ₂ /L	19.52	2.76	2017-03-01	NO APLICA	NO APLICA
NMP COLIFORMES FECALES	SM 9223 E	NMP/100 ml muestra	1600 x 100	0.022	2017-02-24	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540 D	mg/L	22	1.2	2017-02-27	NO APLICA	NO APLICA
OBSERVACIÓN:							
Los parámetros analizados para la muestra son comparados con los límites establecidos para agua potable según la resolución 2115 del 2007. Parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 2682 del 28 de octubre de 2013, 2354 de octubre de 2015, 2746 de diciembre de 2015 y 0834 de mayo 2016 para aguas crudas y residuales. Parámetros Solicitados por el Cliente							
ANÁLISIS REALIZADO POR		ANÁLISIS REALIZADO POR			ANÁLISIS SUPERVISADOS POR		
 ALEJANDRO GARCÍA MURCIA Líder Técnico Físicoquímico		 Rosario del Pilar Ortiz Martínez Líder Técnico Microbiológico			 Pedro María Zuñiga Camacho Director		

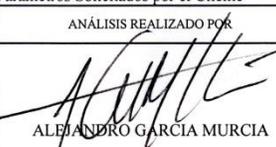
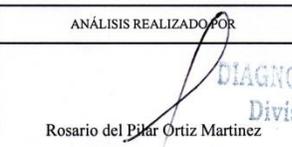
Nota: El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es válido exclusivamente para los ensayos presentados.
ER-FR-01 REPORTE DE RESULTADOS Vigente desde 2014-01-10 / Versión 02

<http://192.168.1.116/sislab17025/CONSULTAS/ResultadosLaboratorio.asp?codigomuestra=7003&validai...> 06/03/2017

Anexo C. Reporte de resultados muestra N° 3 de laboratorio

SISLAB-17025 SI-TECNOLOGIA LTDA..

Página 1 de 1

		DIAGNOSTICAMOS DIVISION AMBIENTAL				 IDEAM INSTITUTO DE AMBIENTE, METEOROLOGIA Y SERVICIOS ESPECIALIZADOS Laboratorio Acreditado NTC ISO/IEC 17025 Resolución IDEAM 2746 de 2015	
REPORTE DE RESULTADOS N°		7004		FECHA DE EMISIÓN		2017-MAR-06	
DATOS DEL CLIENTE							
NOMBRE	CORPORACION UNIVERSITARIA DEL HUILA CORHUILA			DIRECCIÓN	CALLE 21 N°6-01		
CONTACTO	ALBENIS TORRES			TELÉFONO	311822214		
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA							
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	AGUA RESIDUAL			
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE		RADICADO INTERNO	7004			
PLAN DE MUESTREO	NO APLICA		FECHA DE TOMA	2017-FEB-23			
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	NO APLICA		FECHA DE RECEPCIÓN	2017-FEB-24			
FUENTE DE MUESTREO	AGUA RESIDUAL DOMESTICA		FECHA DE ANÁLISIS	2017-02-24 / 2017-03-01			
LUGAR DE MUESTREO	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA PITALITO		PUNTO DE MUESTREO	2			
OTROS ¿Cuáles?	NO REPORTA						
REPORTE DE RESULTADOS							
PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (UC)	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO	SM 5210B Y US EPA 360.3	mg O2 /L	17.04	2.76	2017-03-01	NO APLICA	NO APLICA
NMP COLIFORMES FECALES	SM 9223 E	NMP/100 ml muestra	240 x 1000	0.022	2017-02-24	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540 D	mg/L	10	1.2	2017-02-27	NO APLICA	NO APLICA
OBSERVACIÓN:							
<p>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 %".</p> <p>Parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 2682 del 28 de octubre de 2013, 2354 de octubre de 2015, 2746 de diciembre de 2015 y 0834 de mayo 2016 para aguas crudas y residuales.</p> <p>Parámetros Solicitados por el Cliente</p>							
ANÁLISIS REALIZADO POR		ANÁLISIS REALIZADO POR			ANÁLISIS SUPERVISADOS POR		
 ALEJANDRO GARCÍA MURCIA Líder Técnico Físicoquímico		 Rosario del Pilar Ortiz Martínez Líder Técnico Microbiológico			 Pedro María Zuñiga Camacho Director		

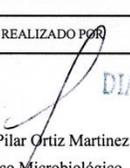
Nota: El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es válido exclusivamente para los ensayos presentados.
ER-FR-01 REPORTE DE RESULTADOS Vigente desde 2014-01-10 / Versión 02

<http://192.168.1.116/sislab17025/CONSULTAS/ResultadosLaboratorio.asp?codigomuestra=7004&validai...> 06/03/2017

Anexo D. Reporte de resultados muestra N° 3 de laboratorio

SISLAB-17025 SI-TECNOLOGIA LTDA..

Página 1 de 1

 DIAGNOSTICAMOS 							
REPORTE DE RESULTADOS N°		7005		FECHA DE EMISIÓN		2017-MAR-06	
DATOS DEL CLIENTE							
NOMBRE	CORPORACION UNIVERSITARIA DEL HUILA CORHUILA			DIRECCIÓN	CALLE 21 N°6-01		
CONTACTO	ALBENIS TORRES			TELÉFONO	31182214		
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA							
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	AGUA RESIDUAL			
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE		RADICADO INTERNO	7005			
PLAN DE MUESTREO	NO APLICA		FECHA DE TOMA	2017-FEB-23			
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	NO APLICA		FECHA DE RECEPCIÓN	2017-FEB-24			
FUENTE DE MUESTREO	AGUA RESIDUAL DOMESTICA		FECHA DE ANÁLISIS	2017-02-24 / 2017-03-01			
LUGAR DE MUESTREO	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA PITALITO		PUNTO DE MUESTREO	3			
OTROS ¿Cuáles?	NO REPORTA						
REPORTE DE RESULTADOS							
PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (UC)	FECHA DE ANÁLISIS	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO	SM 5210B Y US EPA 360.3	mg O ₂ /L	17	2.76	2017-03-01	NO APLICA	NO APLICA
NMP COLIFORMES FECALES	SM 9223 E	NMP/100 ml muestra	240 x 1000	0.022	2017-02-24	NO APLICA	NO APLICA
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540 D	mg/L	13	1.2	2017-02-27	NO APLICA	NO APLICA
OBSERVACIÓN:							
Parámetros acreditados por el IDEAM según las resoluciones 2682 del 28 de octubre de 2013, 2354 de octubre de 2015, 2746 de diciembre de 2015 y 0834 de mayo 2016 para aguas crudas y residuales. 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 %". Parámetros Solicitados por el Cliente							
ANÁLISIS REALIZADO POR		ANÁLISIS REALIZADO POR		ANÁLISIS SUPERVISADOS POR			
 ALEJANDRO GARCÍA MURCIA Líder Técnico Físicoquímico		 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							

<http://192.168.1.116/sislab17025/CONSULTAS/ResultadosLaboratorio.asp?codigomuestra=7005&validai...> 06/03/2017