

CARACTERIZACION FÍSICA DE DOS LECHOS FILTRANTES EN GUADUA Y
EVALUACION PRELIMINAR DEL LECHO CON FORMA SEMICIRCULO EN
FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE

GABRIELA VARGAS TAMAYO
JORGE ELIECER SILVA MANCHOLA



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA - HUILA
2013

CARACTERIZACION FÍSICA DE DOS LECHOS FILTRANTES EN GUADUA Y
EVALUACION PRELIMINAR DEL LECHO CON FORMA SEMICIRCULO EN
FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE

GABRIELA VARGAS TAMAYO
JORGE ELIECER SILVA MANCHOLA

Trabajo de grado presentado como requisito
Para optar el título de Ingeniero Agrícola

Director:

Ing. EDUARDO VALENCIA GRANADA
Msc. Ingeniería Sanitaria y Ambiental

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA - HUILA
2013

Nota de aceptación

Firma del Jurado
Ing. Mauricio Duarte Toro
Msc. en Ingeniería Civil

Firma del Jurado
Ing. Jaime Izquierdo Bautista
Msc. en Ingeniería Civil

DEDICATORIA

A Dios, que me ha permitido
alcanzar parte de mis proyectos de vida.

A toda mi familia, especialmente a
mi mamá por toda su dedicación
y apoyo toda la vida.

Pensamientos = Sueños = Cosas

Gabriela Vargas Tamayo

Quiero darle gracias a Dios por permitir la culminación de mi carrera profesional; esta tesis se la dedico a mi mamá Victoria Manchola motor de mi vida y la que me brinda cada día el impulso para ser mejor; agradezco también de corazón a mis hermanas y sobrinos por su apoyo filial y compañía

Jorge Eliccer Silva Manchola

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento:

Al Msc. Eduardo Valencia Granada, profesor asociado del programa de Ingeniería Agrícola y director de la tesis, por su asesoría, colaboración y dedicación durante el desarrollo del proyecto de grado.

Al Msc. Mauricio Duarte Toro, director del Semillero de Investigación "ECOMANCUS" en el área de Construcciones Rurales, por su colaboración en la gestión de los recursos para los Análisis de Aguas.

Al Msc. Nelson Gutiérrez, por su asesoría en la parte estadística del procesamiento de datos.

A la Universidad Surcolombiana, por los recursos económicos y físicos brindados para la elaboración de este proyecto, incluyendo el Laboratorio de Aguas de la Facultad de Ingeniería, por la elaboración de los análisis fisicoquímico y microbiológico de las muestras de Agua Residual.

A Doña Gladys, secretaria del programa de Ingeniería Agrícola, por toda su colaboración durante el desarrollo de la carrera.

A los profesores del programa de Ingeniería Agrícola, especialmente a quienes siembran en nosotros el deseo de trascender (Rodrigo Pachón).

A mi familia, mis hermanas, sobrinos y con especialmente afecto a mi mamá Lucy Tamayo; solo ella tiene tan grande paciencia y devoción por su familia.

A Jorge Silva por su cariño, compañía y desbordada paciencia, a mis amigos Karito Méndez, Jhon Anderson, Angelita Ramos, Mao Polania, Mayra Soto, Cristian Manrique por hacer de mi paso por la universidad toda una anécdota.

Gabriela Vargas Tamayo

AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a Dios por permitirme culminar mi proyecto de grado al profesor Eduardo Valencia por su paciencia y gran colaboración que nos brindó para poder terminar el proyecto, al semillero ECOMANCUS por la gestión de recursos para los estudios de aguas, a la Universidad Surcolombiana por la prestación de sus instalaciones para realizar el montaje del prototipo; a la señora Gladys por habernos aguantado toda la carrera y porque siempre estuvo presente para darnos una solución para poder lograr el título de Ingeniero Agrícola y de una u otra forma a mis compañeros de universidad con los cuales sufrí, compartí, reí, llore y disfrute muchas cosas; a ellos muchas gracias. TOTALES.

Jorge Eliecer Silva Manchola

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Requisitos para el uso de medios de soporte en Filtros Anaerobios
- Tabla 2.** Características del lecho de empaque en los Filtros Anaerobios.
- Tabla 3.** Características del Filtro Anaerobio con diferentes medios de soporte.
- Tabla 4.** Características del medio de soporte utilizado en el Filtro Anaerobio.
- Tabla 5.** Eficiencia de remoción promedio de los FAFAs.
- Tabla 6.** Características de los medios de soporte utilizados en la investigación.
- Tabla 7.** Diámetro interno, externo, espesor y volumen promedio de los anillos y semicírculos de guadua utilizados.
- Tabla 8.** Volumen real del lecho para cada longitud de anillos evaluada.
- Tabla 9.** Porosidad del medio filtrante (%) formado por anillos y semicírculo de guadua.
- Tabla 10.** Área específica de contacto (m^2/m^3) del lecho formado por anillos y semicírculos de guadua.
- Tabla 11.** Peso específico del medio filtrante.
- Tabla 12.** Eficiencia de remoción en los parámetros de DBO, SS y CF obtenidos por el FAFAs.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Algunos medios de soporte utilizados en FAFAs.
- Figura 2.** Trozos de manguera como medio de soporte en FAFAs para el proceso de filtración de aguas residuales industriales de trapiches paneleros.
- Figura 3.** Vasos de polietileno como medio de soporte para el tratamiento de vinazas.
- Figura 4.** Botellas plásticas como medio de soporte para aguas residuales del lavado del café.
- Figura 5.** Medios de soporte utilizados para la evaluación del tratamiento en FAFAs de aguas mieles de trapiches paneleros.
- Figura 6.** Localización física del proyecto.
- Figura 7.** Guadua Angustifolia Kunth seleccionada-Biotipo Macana.
- Figura 8.** Corte de anillos con cinta dentada “sin fin”
- Figura 9.** Medición del diámetro interno y externo con el calibrador.
- Figura 10.** Pesaje de los anillos y secado en horno eléctrico para determinación del %CH.
- Figura 11.** Determinación del volumen aparente de anillos y semicírculos.
- Figura 12.** Pesaje del número total de anillos que componen el medio filtrante.
- Figura 13.** Esquema general del sistema.
- Figura 14.** Sedimentador – detalle de rejillas o celdas filtrantes.
- Figura 15.** Zona de entrada el AF al filtro.
- Figura 16.** Malla de alambre y lecho filtrante.
- Figura 17.** Zona de salida del filtro.
- Figura 18.** Detalle del sistema utilizado-tratamiento primario y secundario.
- Figura 19.** Capa biológica formada sobre el material filtrante.
- Figura 20.** Muestras de AR a la entrada y salida del FAFAs.
- Figura 21.** Puntos de muestreo
- Figura 22.** Descripción de la toma de muestras Af y Ef del FAFAs.
- Figura 23.** Deformación durante el secado natural y presencia de manchas negras producto del ataque de hongos en anillos cortados verdes.
- Figura 24.** Relación área específica Vs porosidad del lecho formado por anillos de guadua.
- Figura 25.** Relación área específica Vs porosidad del lecho formado por semicírculos de guadua.

SIMBOLOS Y TÉRMINOS ABREVIADOS

a: Ancho
A: Área
Af: Afluente
AR: Agua residual
C: Concentración
CF: Coliformes fecales
CO: Carga orgánica
COV: Carga Orgánica Volumétrica
CVC: Corporación Regional del Valle del Cauca
CV: Carga Volumétrica
DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno
De: Diámetro externo
Di: Diámetro interno
DQO: Demanda Química de Oxígeno
e: Espesor
Ef: Efluente
FAFAs: Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
FAG: Filtro Anaerobio con Guadua
h: Altura
HASFF: Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial
I: Longitud
L: Litros
MO: Materia Orgánica
SMTA: Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio
SS: Sólidos Suspendidos
SST: Sólidos Suspendidos Totales
TRH: Tiempo de Retención Hidráulica
TS: Tanque Séptico
TSAM: Tanque Séptico de Acción Múltiple
UAF: Upflow Anaerobic Filter
UASB: Reactor Anaerobio de Lecho de Lodos con Flujo Ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	12
ABSTRAC.....	12
INTRODUCCION.....	14
1. REVISION DE LITERATURA.....	15
2. METODOLOGÍA	32
2.1. Localizacion.....	32
2.2. Materiales y metodos.....	33
2.2.1. Fase 1. Laboratorio.....	33
2.2.1.1. Actividad 1. Selección de biotipos de guadua.....	33
2.2.1.2. Actividad 2. Corte de anillos.....	33
2.2.1.3. Actividad 3. Determinacion de las propiedades físicas de los anillos y semicírculos de guadua.....	34
2.2.1.4. Actividad 4. Determinación de las propiedades físicas del medio de soporte.....	36
2.2.2. Fase 2. Experimental en campo.....	39
2.2.2.1. Actividad 1. Instalación de la unidad experimental (Filtro Anaerobio de flujo Ascendente)	39
2.2.2.2. Actividad 2. Arranque del FAFAs.....	42
2.2.2.3. Actividad 3. Operación y mantenimiento del sistema.....	43
2.2.2.4. Actividad 4. Muestreo.....	44
2.2.2.5. Actividad 5. Evaluación de la eficiencia del FAFAs.....	45
3. RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	46
3.1 Propiedades físicas de los anillos y semicírculos.....	46

3.2	Propiedades físicas del lecho.....	48
3.3	Evaluación preliminar del sistema de tratamiento mediante los parámetros de DBO, SS, CF.....	53
4.0	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
	BIBLIOGRAFIA.....	57
	LISTA DE ANEXOS.....	63

RESUMEN

Para el estudio del uso de trozos de guadua *Angustifolia Kunth* como lecho filtrante de FAFAs en sistemas de tratamiento de AR para zonas rurales, en el laboratorio de Construcciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana, se determinaron las siguientes características físicas: peso específico, contenido de humedad, porosidad y área específica de contacto de anillos y semicírculos de guadua de 1, 2, 3, 4, 5, y 10 cm de longitud; posteriormente en la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana, en un prototipo de sistema de tratamiento de AR compuesto por pretratamiento y FAFAs, se evaluaron las eficiencias de remoción del lecho seleccionado en términos de DBO, SS y CF. Los resultados obtenidos muestran que el contenido de humedad de los trozos debe ser de aproximadamente 16% para evitar deformaciones o presencia de hongos; su peso específico es bajo ($0,8 \text{ g/cm}^3$); las porosidades obtenidas en los anillos (83,10%) y semicírculos (77,95%) no presentaron diferencias significativas, sin embargo, es más apropiado el uso de semicírculos por cuanto su área específica ($73,48 \text{ m}^2/\text{m}^3$) es mayor que la obtenida por los anillos ($55,84 \text{ m}^2/\text{m}^3$); como existe similitud entre las porosidades y el área específica obtenida entre los lechos (anillos y semicírculos) cualquiera que sea la longitud evaluada, resulta indiferente utilizar medios filtrantes con trozos de guadua de 1,2, 3, 4, 5 o 10 cm de longitud. Las eficiencias de remoción obtenidas en el FAFAs con lecho en semicírculos de guadua de 1cm de longitud fueron: DBO= 70% considerado alta, SS= 54% como aceptable y CF= 70% bajo.

Palabras clave: Tratamiento de Agua residuales, guadua, lecho filtrante.

ABSTRACT

For the study of the use of pieces of bamboo *Angustifolia Kunth* as filtering bed the UFAF in treatment systems AR to rural areas, in the laboratory of buildings of the Faculty of Engineering of the University Surcolombiana identified the following physical characteristics: specific weight, moisture content, porosity and specific area of contact of rings and semicircles of bamboo 1, 2, 3, 4, 5, and 10 cm in length; Later in the Experimental Farm of the University Surcolombiana in a prototype system for the treatment of AR composed of pretreatment and UFAF, assessed the removal efficiencies of selected bed in terms of BOD, SS and CF. The results obtained show that the moisture content of the pieces should be approximately 16% to avoid deformations or presence of fungi; its specific gravity is low (0.8 g/cm^3); he porosities obtained in the rings (83.10 %) and semicircles (77.95 %) did not show significant differences, however, is more appropriate to use semicircles as its specific area ($73.48 \text{ m}^2/\text{m}^3$) is greater than that obtained by the rings ($55.84 \text{ m}^2/\text{m}^3$); As there is a similarity between the porosity and the specific area obtained between the beds (rings and semicircles) whatever the length evaluated, it is indifferent use filter media with pieces of bamboo of 1.2 , 3, 4, 5 or 10 cm in length.

Removal efficiencies obtained in the bed with UFAF crescents of bamboo of 1cm in length were: BOD= 70% considered high, SS= 54% as acceptable CF= 70% low.

Keywords: Treatment of waste water, bamboo, filtering bed

INTRODUCCION

En la mayoría de las zonas rurales las AR se vierten a las fuentes de agua sin ningún tipo de tratamiento, generando un impacto ambiental consistente en el aumento desmesurado de la contaminación, problemas de salud pública y deterioro en la calidad de los cuerpos de agua, que en muchas ocasiones son la fuente utilizada para el consumo humano aguas abajo.

Para el tratamiento de las aguas servidas de origen doméstico en el sector rural, se utilizan sistemas centralizados (colectivos) y descentralizados (individuales). La tendencia actual, es la utilización de sistemas descentralizados tales como tanques sépticos, biodigestores, albercas biológicas, filtros y humedales, como una alternativa a los sistemas centralizados que requieren la construcción de alcantarillados y unidades de tratamiento costosas y que no son operadas y mantenidas correctamente.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales está compuesto de varias unidades, cada una de las cuales cumple un objetivo específico en el tratamiento, los filtros son una de estas unidades.

Tradicionalmente los filtros se han diseñado y construidos con arenas y grava como lecho filtrante, pero los sistemas de filtración con materiales no convencionales están siendo ampliamente utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas rurales, principalmente por su alta capacidad de remoción de contaminantes y su bajo costo de operación y mantenimiento.

Este trabajo propone una solución alterna de lecho filtrante, anillos o semicírculos de guadua como medio de empaque en FAFAs, utilizado como unidad de tratamiento secundario de aguas residuales domésticas en zonas rurales; como una forma de utilizar materiales no convencionales, económicos y de fácil consecución y manejo, y con el que se puede lograr eficiencias iguales o superiores a los filtros tradicionales.

1. REVISION DE LITERATURA

Según Wegelin, Galvis y Latorre (1998), un filtro es una estructura impermeable, cuya forma es normalmente rectangular, con paredes verticales y que contiene un material filtrante. Sin embargo dependiendo de las técnicas de construcción locales, también se pueden construir tanques circulares, o estructuras con paredes inclinadas. Respecto a los medios filtrantes son comunes las gravas de río o de montaña, aunque se puede utilizar cualquier tipo de material inerte resistente a fuerzas mecánicas, insoluble y que no altere la calidad del agua en su olor o color. En un filtro las impurezas que contiene el agua se eliminan mediante una combinación de fases, en forma general ocurren procesos de: sedimentación, adsorción y actividades de tipo biológico y bioquímico. Las partículas son transportadas y posteriormente adheridas a la superficie del lecho filtrante, donde es transformada por procesos biológicos y bioquímicos.

En Colombia se ha utilizado tradicionalmente la grava y la arena como medios filtrantes, con eficientes resultados en los procesos de remoción de bacterias y virus en las arenas y eficientes procesos de sedimentación de partículas coloidales en las gravas, sin embargo este material ha sido reemplazado poco a poco por otros materiales como trozos de ladrillo quemado, fibra de palma, fibra de coco, material plástico, carbón vegetal, trozos de guadua, etc. (Wegelin, Galvis y Latorre, 1998).

En general los filtros se pueden clasificar en aerobios y anaerobios. Según Orozco (2005), en los filtros aerobios el agua residual gotea por encima del filtro o sobre la superficie de un medio poroso pasando sobre él y dejando suficiente espacio para que fluya el aire en sentido contrario garantizando así las condiciones aerobias. Este tipo de tratamiento basa su principio de funcionamiento, en la formación de bacterias que degradan la materia orgánica, utilizando la superficie del lecho filtrante para su adherencia y crecimiento formando una biopelícula bacteriana, garantizando así una población bastante estable que no pueda ser arrastrada hacia la salida. Este tipo de filtro es aconsejable para AR con carga orgánica moderada, soluble o que se degrade fácilmente. (Kamiyama, 1993)

De acuerdo con Orozco (2005), comúnmente un filtro aerobio, se compone de las siguientes instalaciones: **Reactor o filtro:** Consta de un recipiente cilíndrico (puede ser rectangular), con diámetros variables, hasta de 60 cm y con profundidad de 1,50 m a 2,50 m, mientras más profundo, mayor es la pérdida de carga. **Medio de contacto:** Es el material que llena el filtro y consiste, generalmente en gravas de 5 a 10 cm de diámetro, pero más a menudo de un lecho sintético, compuesto de láminas de plástico entrelazadas, dispuestos como un panal de abejas, o con otra disposición que mejore el área y la porosidad; el objetivo es que el medio sea poroso y se eviten tanto como sea posible obstrucciones y facilite la ventilación. **Ventilación:** Es de gran importancia, si se desea mantener el filtro en condiciones aerobias. El flujo de aire debe ser de alrededor de $0,3 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{min}$ de área filtrante.

Drenaje inferior: Recibe el agua residual tratada y la conduce a un canal de evacuación principal.

Los filtros anaerobios se componen de tres partes: **Zona de entrada:** puede ser con falso o sin falso fondo; La distribución del AR en cualquiera de las dos configuraciones se realiza con una tubería de PVC perforada. En la configuración sin fondo falso, el medio de soporte es ocupado en su totalidad en el volumen del reactor, lo que conlleva a un posible taponamiento si el material no es uniforme e idealmente de alta porosidad; en cambio en la configuración con fondo falso, se promueve una mejor sedimentabilidad del floc, y menor riesgo de taponamiento. No obstante esta configuración es más costosa debido a su mayor profundidad. **Zona empacada:** en la zona empacada se encuentra el medio filtrante, el cual ejerce influencia sobre la eficiencia, ya que el medio actúa como separador líquido-gas, también ayuda a proveer un flujo uniforme del agua residual reduciendo las posibilidades de pasos directos a través del reactor, propiciando un mayor contacto del residuo con la masa biológica; además el medio retiene la biomasa adherida o en suspensión, generando altos tiempos de retención celular, según Ros (2011), pueden ser del orden de los 100 días, lo cual es indispensable para el correcto funcionamiento del sistema. **Zona de salida:** esta zona además de recibir y evacuar el efluente del filtro, tiene la responsabilidad de garantizar la distribución correcta del caudal de salida, para una adecuada eficiencia hidráulica del sistema. La configuración de la zona de salida afecta también la distribución a través del medio, lo que se puede representar en flujos sin uniformidad que afectan la eficiencia del sistema. (Castaño, 2002).

Generalmente se piensa que los filtros son como un tamiz o microcriba que atrapa el material suspendido entre los espacios del medio filtrante. Sin embargo la acción de colar, cribar o tamizar el agua es la menos importante en el proceso de filtración, puesto que la mayoría de las partículas suspendidas pueden pasar fácilmente a través de los espacios existentes en el medio filtrante; la principal función es que los microorganismos que se fijan o se suspenden en el medio transformen MO. Las variables principales en el diseño de filtros son: Características del medio filtrante, porosidad del lecho, profundidad del lecho, tasa de filtración, pérdida de la carga disponible y características del afluente. La filtración depende de una combinación compleja de mecanismos físicos y químicos, tales como: cribado, sedimentación, intercepción, adhesión, adsorción química, adsorción física y crecimiento biológico. (Igwe y Abia, 2006)

El Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente FAFAs, es un tanque o columna rellena con un material de empaque en el cual el agua a tratar fluye en sentido ascendente; contiene un lodo anaeróbico el cual no es arrastrado y se retiene en el reactor por sus propiedades de sedimentación, o por su forma de crecimiento en torno al material de empaque, el cual puede ser cualquier medio sólido o material inorgánico inerte con una superficie específica grande. El agua a tratar fluye en sentido ascendente, entrando en contacto con el medio sobre el que se desarrollan y fijan las bacterias anaerobias (Wasser, 1995). Según Valencia y otros (1997), El

material de relleno se encuentra completamente sumergido e inundado en el agua residual, por lo tanto el lecho siempre se encontrará desprovisto de oxígeno disuelto, originándose de esta forma las condiciones de vida anaerobia, lo cual no permite eliminar en forma suficiente el olor séptico, obligando a desarrollar un tratamiento posterior que cumpla esta función, en cuanto al AR a tratar no debe contener fracciones apreciables de sólidos en suspensión porque provocan problemas de atasco.

Castaño (2003), menciona que el proceso dentro del filtro se lleva a cabo de la siguiente forma: El agua residual con un flujo ascendente se hace pasar uniformemente sobre o a través de una masa de sólidos biológicos, contenidos en un reactor con material de empaque fuerte (grava, piedra de mano, trozos de material sintético, etc.); este relleno puede ser desordenado.

En los filtros anaerobios de flujo ascendente, se puede decir que el contacto entre el agua residual y los microorganismos que se encargarán de reducir su carga contaminante, se realiza así: Young (1991), el residuo alimenta al reactor a través de un falso fondo por donde el flujo se distribuye uniformemente. Luego el agua residual a tratar se hace pasar sobre o a través de una masa de sólidos biológicos suspendidos (o cerca al estado coloidal), contenidos dentro del sistema por un medio fijo de soporte. Los microorganismos en el reactor se adhieren a la superficie del medio en forma de una fina biopelícula que puede ser según Batero y Cruz (2007), de hasta 3 mm, o bien se agrupan en forma de una masa flocular atrapada dentro de los intersticios del soporte inerte que rellena el digestor, suspendidos en el líquido como un lodo granular o floculento que tiende a decantarse debajo del medio. Los compuestos orgánicos solubles y los nutrientes existentes en el agua residual afluyente se difunden dentro de los sólidos biológicos, adheridos al medio o en suspensión, donde se realiza el proceso de degradación anaerobia. Según Castaño (2003), finalmente los compuestos del agua residual se convierten en productos intermedios y finales, específicamente en metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y otros subproductos que son eliminados del sistema mediante su conversión en gases que escapan a la atmósfera y en biomasa extraíble mediante sedimentación, logrando de esta manera remover la contaminación de tipo orgánico; de acuerdo a la anterior descripción los filtros anaerobios pueden considerarse alternativamente como reactores de cultivo fijo o en suspensión. (Parra, 2006)

El agua ingresa al filtro en forma continua y permanece en su interior durante periodos de tiempo variables, obteniéndose como ventaja importante que el fango estabilizado que se extrae del proceso tiene un bajo contenido de materia orgánica patógena y no es putrescible. Debido a que el agua es alimentada desde el fondo se pone en contacto con el lodo y la degradación ocurre en el lecho mismo, y en la parte superior del tanque es retenida la biomasa por la presencia del material filtrante. Por otro lado, el lodo que ha sido estabilizado se deposita en el fondo del filtro, por lo que el agua se extrae por la parte de arriba del filtro. (Metcalf y Eddy, 1996).

Los filtros anaeróbicos permiten la aplicación de tiempos de retención hidráulica cortos y altas cargas orgánicas, ya que su operación es bastante estable. (Noyola y Morgan, 1997). Este sistema de tratamiento fue propuesto inicialmente por Young y McCarty en 1969, para el tratamiento de los residuos solubles. De los sistemas de tratamiento anaerobio, el filtro es el más sencillo de mantener porque la biomasa permanece como una película microbial adherida que no es arrastrada por el efluente y porque como el flujo es ascendente, el riesgo de taponamiento es mínimo. (Romero, 1999)

Los filtros anaerobios son una alternativa para aguas residuales domésticas e industriales de concentración media y alta (superior a DQO = 1500 mg/L) y con buen desempeño en el tratamiento de desechos del procesamiento de las carnes, la leche, ácido láctico y de otros productos agroindustriales como la caña de azúcar y café. (Torres, Rodríguez y Uribe 2003).

Según Metcalf y Eddy (1996), los parámetros operación más utilizados para un filtro anaerobio son la DQO de entrada que puede estar dentro de un rango aproximado de 10000 y 20 000 mg/L, un tiempo de retención hidráulica que va desde las 24 a las 48 horas, una carga orgánica que varía entre 0.96 y 4.80 g de DQO/L día y debe tener un porcentaje de eliminación de DQO entre 75 y 85%.

El material de soporte utilizado para el filtro como medio de adherencia de las bacterias tiene una gran importancia en la eficiencia del tratamiento, según Méndez y Rodríguez (2004), los medios de soporte o lechos fijos se definen como: elementos sólidos en los cuales se desarrolla la película biológica que realiza la digestión de la materia orgánica contenida en el agua residual, ya que cualquier superficie en contacto con un medio de nutrientes que contenga microorganismos, desarrollará una capa biológicamente estable; dichos medios, mejoran la distribución hidráulica del flujo dentro del reactor y evitan la compactación de la biomasa. Este material generalmente ocupa entre 50 a 70% de la altura total del reactor. (Torres, Rodríguez y Uribe 2003)

Según Méndez y Rodríguez (2004), los tipos de empaque de uso común se pueden clasificar en dos grupos principales: medios minerales o convencionales y los medios sintéticos, construidos generalmente por materiales plásticos. Wegelin, Schertenleib y Boller (1987), mencionan algunos materiales que podrían ser utilizados como medio filtrante: **Grava** extraída del lecho de un río o del suelo; **piedras o rocas trituradas** extraídas de cantera; **trozos de ladrillo quemado**; **material plástico** en pequeños fragmentos o en módulos (por ejemplo, los utilizados en filtros percoladores), si el material está disponible localmente (al seleccionar el material tener en cuenta, las fuerzas de empuje del agua); **posiblemente carbón vegetal**, aunque existe riesgo de desintegración del material durante la limpieza del medio filtrante, solamente debe ser considerado en casos especiales (por ejemplo, para la remoción de materia orgánica disuelta); **posiblemente fibra de coco**, sin embargo, debido al riesgo de suministrar sabor al agua durante los periodos de operación, su empleo debe ser cuidadoso.

(Castaño y paredes, 2002) mencionan la utilización de medios más sofisticados como los anillos sintéticos, las matrices plásticas de flujo cruzado o tubular, que aunque más eficientes resultan más costosas. Algunos de estos medios se muestran en la figura 1.

Los desperdicios del coco (estopa y cáscara) pueden ser considerados como un medio de soporte apropiado para filtros anaerobios, ya que, además de ser un material abundante y de muy bajo costo, posee condiciones óptimas como: gran superficie específica para adherencia de microorganismos, alto porcentaje de vacíos (83%) que facilitan el flujo, bajo peso específico que permiten que las estructuras de contención sean menos complejas y con vida útil prolongada. También es posible la utilización de **bloques cerámicos o teja de barro partida, espumas, materiales plásticos (suspendido en forma de cinta), conchas de ostras y mejillones, bloques modulares de PVC, granito, esferas de polietileno, bambú.** (Torres, Rodríguez y Uribe, 2003).

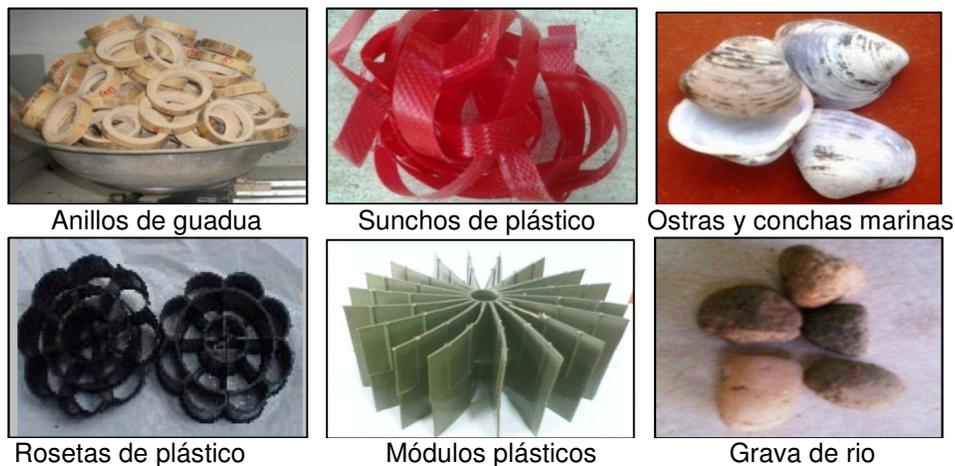


Figura 1. Algunos medios de soporte utilizados en FAFAs

Existen dos formas de disponer los medios de soporte en los reactores, una de ellas es de manera ordenada, donde las superficies sólidas de soporte son orientadas cuidadosamente a fin de proporcionar una óptima distribución del líquido que fluye sobre las mismas, generalmente se ensamblan como módulos del tamaño conveniente los cuales se apilan para formar la cama del reactor. También pueden ser dispuestos de manera aleatoria o desordenada, este tipo de distribución se compone de elementos individuales de menor tamaño y de mayor superficie específica dispuestos directamente en el lecho sin ninguna orientación. (Méndez y Rodríguez, 2004).

Según Castaño y Paredes (2002), el medio filtrante en la práctica es el eje del sistema, pues aquí es donde se presenta el crecimiento celular de microorganismos y la consiguiente remoción de contaminantes orgánicos. El medio filtrante sirve de soporte o lecho para que una población biológica se desarrolle, por lo cual una principal característica que este debe poseer es una relativamente alta

área superficial. Young (1991) establece que, sin importar su tipo, la superficie específica debe tener como valor promedio $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Orozco (2005), recalca que el lecho o medio de contacto sintético, debe poseer una alta relación área/volumen para la adherencia del filme biológico encargado de efectuar la remoción de la materia orgánica. Esta relación a la que denomina área neta, a , medida en m^2 de área superficial disponible para el crecimiento del biofilme por m^3 de material filtrante (m^2/m^3), indica la cantidad de biofilme que se puede formar en el reactor de medio fijo. Es claro que a mayor área neta mayor cantidad de biomasa en el filtro, pero también hace más difícil dejar espacio suficiente para la aireación adecuada de la biomasa. Es por ello que el diseño del material filtrante es crucial para su desempeño.

En contraste con lo anterior, Campos (1991), establece que en filtros anaeróbicos se ha encontrado que a pesar de ocurrir una adherencia del filme biológico al medio de soporte, una mayor porción de los microorganismos se encuentran principalmente suspendidos en los intersticios del medio; en consecuencia la superficie o área específica deja de ser una variable de importancia que afecte la eficiencia desde la perspectiva de la concentración de biomasa activa; de lo anterior se concluye que un incremento del área específica del medio filtrante no implica un mejor desempeño del sistema.

No obstante, parece ser que la forma y características del lecho filtrante ejercen influencia sobre la eficiencia, en aspectos diferentes a la cantidad de biomasa activa fija, esto es: el medio actúa como separador líquido gas; también ayuda a proveer un flujo uniforme del agua residual reduciendo las posibilidades de pasos directos a través del reactor, propiciando un mayor contacto del residuo con la masa biológica; por otro lado, el medio retiene la biomasa adherida o en suspensión, generando altos tiempos de retención celular, indispensables para el correcto funcionamiento del sistema. (Castaño y Paredes, 2002).

Otro asunto en el que las características del medio cobra importancia según Weiland et al, 1991; Hickey et al, 1991; Picanço et al, 2001; citados por Castaño y Paredes, (2002) es el relacionado con el tiempo de arranque: existe evidencia de que la forma y característica del medio afectan los tiempos de arranque de los filtros anaeróbicos, en la medida en que provean una adecuada superficie de "anclaje" para los microorganismos antes de la formación de una biopelícula propiamente dicha.

El medio de soporte debe cumplir con diferentes exigencias como: alta superficie de contacto para las bacterias, capacidad adecuada de filtración, así como alta resistencia física y química contra el desgaste provocado por las aguas residuales domésticas. (Universidad Tecnológica de Pereira y otros, 2002). De esta forma Méndez y Rodríguez (2004), afirman que el medio de soporte podrá cumplir con los siguientes propósitos: Mejorar el contacto entre el sustrato y los sólidos biológicos contenidos en el reactor; facilitar un flujo uniforme en el reactor; Permitir la

acumulación de gran cantidad de biomasa; Actuar como una barrera física, evitando que los sólidos sean arrastrados por fuera del sistema de tratamiento; Actuar como un dispositivo para separar los sólidos de los gases.

Torres, Rodríguez y Uribe (2003), recomiendan que cumpla con requisitos tales como: ser biológica y químicamente inerte, resistente, limpio e insoluble, liviano, tener alta porosidad para que permita la distribución uniforme del flujo, tener una estructura resistente y ser de costo reducido. Pruebas de filtración han revelado que ni la rugosidad, ni la forma estructural del material filtrante tienen gran influencia en la eficiencia del filtro. (Wegelin, Schertenleib y Boller, 1987).

Las dos propiedades más importantes de los medios de soporte fijo, son la superficie específica o área de contacto y el porcentaje de orificios. La superficie específica se define como los m² de superficie de relleno por m³ de volumen total; cuanto mayor sea la superficie específica, mayor será la cantidad de película biológica por unidad de volumen. Por otra parte a mayor porcentaje de orificios, se consiguen cargas hidráulicas superiores sin peligro de inundación por colmatación. Méndez y Rodríguez (2004), además su grado de porosidad y el tamaño del poro, afecta a la tasa de colonización de la población microbiana.

La tabla 1, presenta los requisitos básicos y objetivos que debe poseer el medio de soporte en filtros anaerobios para propiciar el correcto funcionamiento y lograr las eficiencias de remoción esperadas (Pinto y Chernicharo, 1996).

Tabla 1. Requisitos para el uso de medios de soporte en Filtros Anaerobios

REQUISITO	OBJETIVO
Ser estructuralmente resistente.	Soportar el propio peso, adicionado al peso de los sólidos biológicos adheridos a su superficie.
Ser biológica y químicamente estable.	Evitar reacción entre el lecho y los microorganismos.
Ser suficientemente liviano.	Evitar la necesidad de estructuras complejas, así como permitir la construcción de filtros más altos para reducir áreas e tratamiento.
Poseer superficie específica y porosidad elevadas.	Permitir la adherencia de microorganismos y reducir la posibilidad de colmatación.
Permitir la rápida proliferación de microorganismo.	Disminuir el tiempo de arranque del reactor.
No presentar superficie lisa.	Garantizar una porosidad elevada.
Precio reducido.	Viabilizar económicamente el proceso.
Presentar espacios entre las superficies adyacentes.	Permitir el crecimiento de la película sin bloquear los intersticios.

Fuente: Pinto y Chernicharo, 1996

En todas las investigaciones y trabajos realizados, el medio filtrante ha sido un aspecto polémico. Kamiyama (1993), menciona los trabajos desarrollados por Song y Young, en los cuales concluyen, después de operar reactores con diferentes tipos de medios filtrantes, que el área específica del material filtrante tiene una baja influencia sobre el desempeño del reactor, lo que significa que un incremento del área específica del medio filtrante no implica un mejor desempeño del reactor. (Universidad Tecnológica de Pereira y otros, 2002).

Sin embargo, según Camargo (2001), la forma del lecho filtrante si ejerce una influencia sobre la eficiencia, ya que en la medida que se reduzcan las posibilidades de pasos directos a través del lecho (canales), se propiciará un mayor contacto del residuo con la masa biológica. Con esta condición en los primeros 60 cm del lecho filtrante, en dirección del flujo, se presenta la mayor remoción de materia orgánica y por encima de 1.2 metros no se registran incrementos de eficiencias de remoción.

La baja influencia que tiene el medio sobre la eficiencia de remoción está aparentemente relacionada con la forma en que los microorganismos se desarrollan en los filtros; en los de flujo ascendente, la biomasa en suspensión en forma de flóculos es su forma predominante, siendo la función del medio filtrante la remoción de esta. En los sistemas de lecho fijo con flujo descendente, se presenta predominancia de microorganismos en la forma de biopelícula adherida sobre la superficie o pared del medio filtrante, además de la adhesión en las paredes del reactor, por lo que el área específica tiene una gran importancia (Kamiyama, 1993).

En Colombia se ha utilizado tradicionalmente la grava como medio: Actualmente el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento (RAS 1998), recomienda utilizar como material de soporte piedra triturada angulosa o redonda (grava), sin finos, de tamaño entre 4-7 cm. Sin embargo, en los casos en que el medio de soporte ha sido la grava, se presenta pérdida de eficiencia con el paso del tiempo, debido a colmatación y atascamiento del medio. (Universidad Tecnológica de Pereira y otros, 2002).

Algunos estudios han sido desarrollados con otros tipos de material filtrante diferente a la grava, con el propósito de evitar las obstrucciones y facilitar la operación y mantenimiento. Se han reportado experiencias de la Corporación Autónoma Regional del Valle de Cauca - CVC, tratando desechos del beneficio del café, con filtros anaeróbicos de flujo ascendente usando guadua, puesta en forma desordenada, como material filtrante: Se han obtenido remociones superiores al 90% en términos de DQO y 75% en SST, aplicando una carga de 12.3 Kg DQO/m³.día y un tiempo de retención hidráulico de 2 días. Después de 18 meses de operación el sistema no presentó problemas de taponamiento. (Castaño y Paredes, 2002)

Aunque las ventajas de la digestión anaeróbica sobre la aeróbica se hacen más evidentes a medida que la concentración de materia orgánica se incrementa,

diferentes estudios (Rama y Khan a finales de los 60, Genung et al, 1982, Kobayhasi et al, 1983; Pretrorius, 1981; Young y Yang, 1989; citados por Noyola y Morgan, 1997) reportan la utilización de filtros anaeróbicos en el tratamiento de aguas residuales domésticas (diluidas) con eficiencias de remoción de materia orgánica de hasta 84%.

Según Osorio (2001), la actividad cafetera en el país genera hasta 150 ton DBO₅/día en época de cosecha, llegando a ser la mayor carga contaminante si se compara con otras actividades y en la necesidad creciente de encontrar sistemas de tratamiento económicos, eficientes y de fácil operación, se ha venido implementado el uso de anillos de guadua en filtros anaeróbicos como lecho filtrante en el tratamiento de las aguas mieles producto del beneficio del café, por esta razón, durante casi un año se realizó un estudio de tratabilidad en el laboratorio de aguas de la CVC, usando un filtro anaeróbico de flujo ascendente con medio de soporte en guadua para el tratamiento de las aguas mieles que se produce en el beneficio del café. El sistema de tratamiento está conformado por un tanque de homogenización-sedimentación-acidificación, una cámara con piedra caliza y un filtro anaeróbico con guadua (FAG). Se emplearon 13 guaduas de 10m de longitud, divididas en trozos de 0.3 a 0.5m, que ocupan un 30% del volumen total; se colocaron en forma desordenada en el fondo del filtro. Los resultados de esta investigación demuestran que este filtro (FAG), es una solución sencilla, eficiente y económica para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café e igualmente se puede utilizar para el tratamiento de otro tipo de aguas residuales.

Zambrano et al (1999), recomienda para el tratamiento de aguas procedentes del beneficio del café la construcción de filtros anaerobios de flujo ascendente usando anillos de guadua de 15 cm de largo, puesta en forma desordenada, como parte del sistema de tratamiento, indicando que las remociones en esta unidad pueden ser superiores al 80% en carga de DQO y que después de cuatro años de operación no se han presentado problemas de taponamiento ni ha sido necesario reponer la guadua.

Experiencias del grupo de investigación en agua y saneamiento de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira (Castaño, Paredes 2002), han demostrado mediante una fase de investigación que usar anillos de guadua de cinco centímetros de longitud como medio de empaque alternativo al medio tradicional (grava) en FAFAs, tratando un efluente de un Tanque Séptico de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), es posible obtener las mismas eficiencias que las obtenidas con la grava. Igualmente se determinó el efecto de duplicar el tiempo de residencia hidráulico (TRH) sobre la eficiencia del tratamiento. El registro de datos se inició después de un mes de aclimatación del inóculo y como variables de respuesta del experimento se usaron las eficiencias de remoción de DQO, DBO₅ y SST determinadas en laboratorio siguiendo los Métodos Estándar. Obtuvieron como respuesta que para iguales cargas hidráulicas, no existen diferencias significativas ($p = 0,266$) entre medios en cuanto a remoción de

MO y SS, por lo cual parece viable el remplazar el medio tradicional de grava por el de guadua; una vez verificada la hipótesis de que los aros de guadua pueden ser utilizados como medio filtrante, se procedió a determinar el impacto que este medio tendría sobre costos directos asociados a la construcción del sistema; se concluyó que el principal ahorro se debe al medio filtrante, ya que otras unidades de filtración se afectan tanto en el costo del medio filtrante como en las necesidades de resistencia en las estructuras, pues para altos volúmenes del medio tradicional (piedra) se tiene una densidad de 2.4 veces más alta que la de la guadua. La densidad de los aros de guadua es cercana a 1 kg/L, muy similar a la del agua, mientras que la de la piedra puede tener valores entre 2,4 y 2,6 kg/L.

Otro ahorro importante en el uso de aros de guadua como medio filtrante, lo constituye su porosidad. Mientras que la porosidad de la piedra de mano esta entre 0.4 y 0.5, dependiendo del diámetro, los aros de guadua presentan valores de 0.75 (de. +/- 0.003, según ensayos de los autores). Esto significa que es posible disminuir los volúmenes requeridos en el tratamiento para el mismo caudal de diseño cuando se utilizan aros de guadua lo que redundaría en unidades sometidas a menores cargas estructurales y de volúmenes reducidos en un porcentaje cercano al 30%, debido a la mayor porosidad y menor densidad aparente y real de este tipo de lecho, logrando reducir cargas estructurales y tamaño de las unidades con la ventaja adicional de que los costos de inversión inicial pueden reducirse entre un 10 y 35%, dependiendo del tamaño del sistema. Otro factor que puede incidir en los costos, que no ha sido evaluado hasta el momento, lo constituye las inversiones a ejecutar por operación y mantenimiento, en especial en momentos de taponamiento que presentan los filtros en piedra. En cuanto al TRH se demostró que para tratar aguas residuales domésticas diluidas, TRH mayores a 4 horas no contribuyen a incrementos significativos de eficiencia de remoción y resultan en sobre costos de construcción. (Castaño, Paredes 2002)

Villegas, Guerrero y otros (2006), evaluaron diferentes alternativas tecnológicas para el tratamiento de aguas residuales en pequeños y medianos municipios de Colombia, que incluyen Tanque Séptico (TS), Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFAs), y Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS). Se empezó por estudiar el efecto de diferentes medios de soporte en FAFAs (fragmentos de llanta, anillos de guadua) alternativos al medio tradicional de grava (ver tabla 2), en unidades operando a tiempos diferentes de residencia (4, 6, 8 y 12 horas). No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a remoción en gravas y anillos de guadua, variaron aproximadamente entre 50% y 70% para DQO_t , y 40% y 55% para DBO_5 . En las unidades con fragmentos de llanta, la eficiencia media no supero el 50% para todos los parámetros. Posteriormente, descartando los fragmentos de llanta, se estudió el efecto de duplicar el tiempo de retención ya fuera conectando una segunda unidad en serie, o alimentando la mitad del caudal a una unidad de igual volumen. Nuevamente no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a eficiencias de remoción de DQO y DBO_5 (49.5% y 56.6% en promedio respectivamente). Una vez claro que el conjunto TS-FAFA, no permite alcanzar el mínimo del 80% de remoción en carga

establecido por la legislación colombiana, se procedió a evaluar el sistema de pos tratamiento. Ocho unidades piloto de HAFSS tratando aguas residuales domésticas provenientes de FAFAs, fueron sometidas a estudio. Tres especies vegetales de la zona cafetera colombiana; Typha (Typha sp), Junco (Juncos sp) y Jengibre (Renealmia alpina), se sembraron en medios filtrantes de grava y arena, dejando 2 unidades sin sembrar como controles. Con tiempos de retención hidráulicos inferiores a 1 día se reportaron remociones de 44%-66% de DQO, 34%-69% de DBO₅, 13%-70% de SST, y reducciones en indicadores bacterianos inferiores a dos ciclos log. No se evidenciaron diferencias significativas de rendimiento según especie sembrada, medio filtrante, o entre unidades sembradas y controles. De acuerdo con los resultados obtenidos en cuanto a tasas de remoción de DBO₅, los HAFSS pueden completar remociones del 80%, en el conjunto TS-FAFA-HAFSS.

Tabla 2. Características del lecho de empaque en los Filtros Anaerobios

PARAMETRO	GRAVA	GUADUA	LLANTA
Volumen (Litros)	148	148	148
Porosidad	0,42	0,76	0,82
Volumen de Vacíos (Litros)	62	112	122
Altura del Lecho (m)	0,6	0,6	0,6
Forma	Canto rodado	Anillos	Trozos
Diámetro (cm)	06-10	11	--
Longitud (cm)	--	15	<20

Fuente: Villegas, Guerrero y otros, 2006

A partir de los resultados obtenidos en el conjunto TS-FAFA-HAFSS, se realizó el escalamiento a la situación real optimizando un sistema existente para el tratamiento de las aguas residuales en el corregimiento "La Florida" del municipio de Pereira, mediante mecanismos de sensibilización, participación y apropiación comunitaria. En el sistema se adecuó un sistema de rejillas y desarenador previo a un TS, se reemplazó el medio de los FAFAs por aros de guadua y se construyeron siete HAFSS con un área total de 750 m², en los que se alternó el medio de soporte (grava y arena gruesa) y la especie vegetal sembrada (jengibre, papiro y Typha sp). La planta optimizada se encuentra en operación desde diciembre de 2004, y se le ha realizado seguimiento. El sistema se encuentra en periodo de aclimatación tras la construcción de los humedales y ha demostrado eficiencias cercanas al 90% en recientes caracterizaciones. (Villegas, Guerrero y otros, 2006)

El uso de anillos de guadua como lecho filtrante en el tratamiento de aguas residuales, también ha sido implementado en el tratamiento de lixiviados de relleno sanitario. En una investigación, realizada por la Universidad Tecnológica de Pereira (Chavarro, Garcés y otros, 2006), se evaluó el arranque y operación de los filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFAs) a escala piloto para el tratamiento de lixiviados del relleno sanitario "La Glorita" de la ciudad de Pereira, utilizando aros de guadua como medio de soporte para el crecimiento bacteriano. Se operaron tres unidades experimentales de filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFAs) de forma

individual, presentando iguales características de diseño con un volumen efectivo de 19.15 L y altura del medio filtrante igual a 1.5 m. Las eficiencias de remoción de DQO obtenidas presentaron valores entre el 60 y 90% para cargas con valores máximos de 10 kgDQO/m³d, y un TRH de 1.2 días.

Otra investigación importante realizada también por la Universidad Tecnológica de Pereira y publicada en la revista Scientia et Technica (Torres, Rodríguez y Uribe, 2003), describe los resultados obtenidos del estudio denominado “Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Almidón de Yuca en Filtro Anaerobio; Influencia del Medio de Soporte”, en el cual aplican la tecnología del filtro anaerobio para tratar los residuos de carácter ácido y alta carga contaminante (medida como DQO) provenientes del proceso de extracción de almidón de yuca, para lo cual utilizan tres medios de soporte (cáscara de coco, anillos de guadua y lecho mixto compuesto por residuos de ladrillera y cáscara de coco). El estudio mostró que el medio que permitió encontrar las mejores condiciones operacionales y eficiencias de remoción de DQO y SST (70 y 90% respectivamente) fue la cáscara de coco, además de ser muy competitiva en precios y facilidad de acceso comparado con los otros medios evaluados. También se determinó que el TRH óptimo para operar el reactor es de 15 horas. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 3.

Tabla 3.Características del Filtro Anaerobio con diferentes medios de soporte

MEDIO	Altura (m)	Costo por m ³ (\$/m ³)	Porcentaje de vacíos estimado	Volumen utilizado (m ³)	Total Medio Soporte (\$)	Eficiencia de remoción	
						DQO (%)	SST (%)
Cáscara de coco	1.15	37.314	0.6	15.6	582.100	70	90
Anillos de guadua	0.8	68.957	0.7	8.1	558.550	65	85
Lecho mixto	0.3	82.163	0.3	7.12	787.615	60	75
	0.4	37.314	0.6	5.43			

Fuente: Torres, Rodríguez y Uribe, 2003

En cuanto a los resultados obtenidos con el lecho filtrante guadua los autores concluyen que los anillos de guadua pueden ser un material de relleno para ser utilizado en el filtro anaerobio; sin embargo, es probable que sea conveniente garantizar una profundidad mínima de 1.0m, ya que la usada en el estudio (0.80m) mostró que era insuficiente, lo que puede desfavorecer la estabilización del reactor, que se evidenció en el comportamiento variable del pH efluente.

Batero y Cruz (2007), realizaron un proyecto de investigación en las instalaciones de la Universidad Tecnológica de Pereira, específicamente en un sistema FAFAs, (Pre tratamiento de humedales: parte del proyecto: **(Hidrodinámica y Cinética de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial)** ubicado en la planta de tratamiento de Aguas Residuales. El sistema contempla dos FAFAs consistentes

en canecas plásticas de 56 cm de diámetro y 86 cm de altura, ubicadas en serie con medio de soporte en guadua, el cual posee un sistema de alimentación de agua residual sintética que es llevada a los filtros por medio de una bomba peristáltica que regula el caudal de la solución a 312 mL/min. Las características del medio de soporte del filtro anaerobio se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Características del medio de soporte utilizado en el Filtro Anaerobio

PARÁMETRO	GUADUA
Volumen empacado, (L)	148
Porosidad	0,6
Volumen de Vacíos, (L)	59
Altura del Lecho, (m)	0,6
Forma	Anillos
Diámetro, (cm)	2,5
Longitud, (cm)	2,5

Fuente: Batero y Cruz, 2007

Se utilizaron dos COV de 0,7 y 1,2 Kg DQO/m³.día respectivamente. Las mayores eficiencias de remoción se presentaron al evaluar los filtros ubicados en serie (FAFA 1+ FAFA 2) y al aumentar la COV aplicada. En los filtros individuales se observó eficiencias de remoción de MO más altas en el FAFA 1 que en el FAFA 2 y ubicados en serie aumentaron su eficiencia en un rango de 17 – 35 % con respecto a los filtros individuales: aumentar la COV de 0,7 a 1,26 KgDQO/m³ día, aumentó la eficiencia de remoción de los filtros en un 5% para el FAFA 1: 20% para el FAFA 2 y 11% para el FAFA 1 + FAFA 2. Ver tabla 5.

Tabla 5. Eficiencia de remoción promedio de los FAFAs

COV (Kg DQO/m ³ día)	PARÁMETRO	FAFA 1 (%)	FAFA 2 (%)	FAFA 1+ FAFA 2 (%)
0,7 (CO II)	DQO total	56,09	40,9	74,38
	DQO soluble	58,44	40,51	75,41
	DBO ₅	55,49	47,86	73,64
1,26 (CO III)	DQO total	61,63	61,08	85,1
	DQO soluble	61,63	60,99	85,18
	DBO ₅	54,48	68,36	85,49

Fuente: Batero y Cruz, 2007

En cuanto a remoción de SST este parámetro presentó variaciones considerables, en la COV II la eficiencia de remoción de los sólidos fue baja, 16% en el FAFA 1: 6% en el FAFA 2 y 29% en FAFA 1 + FAFA 2. Para la COV III las eficiencias fueron bajas y negativas. – 4% en FAFA 1: 22% en FAFA 2 y 19% en FAFA 1 + FAFA 2. El FAFA 1, presentó inestabilidad en la retención de sólidos, esta biomasa salió en gran cantidad de este filtro, debido a esto la eficiencia negativa en el FAFA 1 para la COV III, lo filtros no fueron eficientes en la remoción de SST.

En La Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle Méndez y Rodríguez (2004), realizaron un análisis comparativo entre medios de soporte fijo de plástico (roseta plástica), grava y guadua, en reactores anaerobios de flujo a pistón para el tratamiento de agua residual doméstica, las principales características físicas de los medios de soporte empleados en el análisis se muestran en la tabla 6 y como resultado de la investigación determinaron, que el medio plástico permite obtener las mejores condiciones operacionales y eficiencias de remoción de DQO y SST (79 y 81% respectivamente). No obstante la guadua, presenta un desempeño favorable lo cual permite establecer que el uso de este material como medio de soporte constituye una alternativa viable puesto que, además de alcanzar eficiencias de remoción considerables (71% de DQO Y 73% de SST), su costo es bajo con respecto a los demás medios de soporte empleados.

Tabla 6. Características de los medios de soporte utilizados en la investigación

CARACTERISTICAS	ROSETA PLASTICA	GRAVA MEDIA	ANILLOS DE GUADUA
Fotografía			
Forma	Roseta	Cantos Rodados	Anillos
Diámetro	18 cm	3.5 cm	8 cm
Longitud	5 cm	-----	10 cm
Unidades Utilizadas	80	Aprox. 2400	150
Área superficial neta	100 m ² /m ³	57 m ² /m ³	45 m ² /m ³
Porosidad	-----	0.45	0,77
Porcentaje de vacíos	90%	60%	70%
Peso por unidad	85 g	60-90 g	85-100 g
Peso del material (unid.)	6.8 kg	200 kg	13,5 kg
Costo total del material	\$ 49.600	\$ 32.000	\$ 17.000

Fuente: Méndez y Rodríguez, 2004

En cuanto a experiencias de investigación desarrollando lechos filtrantes con materiales diferentes a los convencionales, se han reportado experiencias en FEDEPANELA y la Corporación Regional de Nariño- CORPONARIÑO, en el proceso de filtración de aguas residuales industriales provenientes de trapiches paneleros (residuos generados en la botija, cachacera y lavado de gaveras, moldes, pailas, pisos, mesones e instalaciones en general), con las siguientes características del AF: 35.33 mg/L de DBO, 77.27 mg/L de DQO y 32.04 mg/L de SS. Para el tratamiento el sistema fue dotado de las siguientes unidades: un tanque de recolección y quietamiento, una trampa de residuos flotantes (grasas, aceites, cenizas y algunos sólidos no sedimentables), dos tanques digestores provistos de un lecho de inoculación, soporte y crecimiento de microorganismos y finalmente, un

canal de aireación. Para el tratamiento biológico de las AR se instalaron dos tanques plásticos de 2000 litros cada uno como muestra la figura 2, provistos de un medio de soporte igualmente plástico (trozos de manguera) en el que se permite la formación y desarrollo de la biopelícula encargadas de la descomposición del vertimiento. La acción microbiana de este sistema fue asistida con la incorporación de EM (microorganismos eficientes) que se comercializan en presentación líquida y cuyas características organolépticas son muy similares al “guarapo” de caña salvo que no es dulce; se compone principalmente por levaduras, bacterias acidolácticas y bacterias fotosintéticas que desarrollan una sinergia metabólica que permite su aplicación en el tratamiento de aguas residuales y el control de olores. Esta tecnología fue desarrollada por la facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa-Japón y se encuentra patentada y comercializada recientemente en Colombia. Se obtuvieron excelentes resultados en el sistema en general aun sin la adición de lo EM, los cuales fueron remociones de 91% de DBO, 93% de DQO, 99% de SS y cerca del 97% de SST. Por lo que se mostró que el sistema desarrollado no solo permite cumplir con los parámetros exigidos por el Decreto 1594/84 en cuanto a remoción de carga contaminante sino que además, arroja eficiencias de descontaminación muy altas que permiten hacer uso del agua de salida, previa neutralización del pH.



Figura 2. Trozos de manguera como medio de soporte en FAFAs para el proceso de filtración de aguas residuales industriales de trapiches paneleros

Parra (2006), evaluó la puesta en marcha y el comportamiento del filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, hasta alcanzar su estado estable, en el tratamiento de las vinazas del laboratorio de Procesos Productivos de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. El reactor se puso en marcha con vinazas producidas en el proceso de fermentación-distilación. Dichas vinazas se hacen pasar a través del filtro con el único fin de disminuir su carga contaminante al hacerlas pasar sobre un medio de soporte vasos de polietileno (ver figura 3); los vasos de polietileno fueron modificados en su presentación original con el objetivo de lograr una mejor distribución y contacto del fluido con los vasos, cada soporte tiene un diámetro inferior de 4.5 cm, un diámetro superior de 6.5 cm y una altura de 9 cm. Se emplearon 933 vasos en total. La altura del lecho es de 65 cm y el peso total del medio de soporte es de 3.66 kg. El filtro anaerobio de flujo ascendente se operó durante un periodo de 16 semanas. En las primeras cinco semanas se trató con un flujo de recirculación y en las siguientes once semanas se alimentaba diariamente el reactor con un flujo continuo. El estado estable fue alcanzado en las dos últimas

semanas. En esta etapa se alcanzó a tener porcentajes de DQO y de DBO₅ de 45.63% y 35.42% respectivamente. Es importante resaltar que para la operación más eficiente del filtro anaerobio con flujo ascendente se encontró un rango de caudal entre 70 cm³/min y 78 cm³/min y un rango del tiempo de residencia entre 28.3 horas (1.2 días) y 31.54 horas (1.3 días).



Figura 3. Vasos de polietileno como medio de soporte para el tratamiento de vinazas

Orozco (2003), evaluó el desempeño de un reactor metanogénico tipo UAF (Upflow Anaerobic Filter), fabricado en polietileno, utilizando botellas plásticas como medio de soporte. Para esto, las aguas residuales generadas durante el lavado del café (con características de contaminación en términos de DQO de 27400 ppm para fincas que benefician hasta 1500@ de café pergamino seco anuales), fueron tratadas en el SMTA (Sistema Modular de Tratamiento Anaerobio) que consta de un reactor hidrolítico - acidogénico de 8m³ de capacidad y un reactor metanogénico de 2m³ ubicado en “La Granja-Cenicafé”, el cual ya estaba instalado y solo se hizo necesaria la adecuación del tanque de polietileno como reactor metanogénico. La aclimatación y el arranque del reactor se llevaron a cabo durante 256 días y se aplicaron cargas entre 0,3 y 8.75 kg DQO/m³.d y como inóculo se utilizó estiércol de ganado vacuno. Finalmente se encontró que las botellas plásticas no retornables usadas como medio de filtración (ver figura 4), presentan una porosidad de 98.7% y un área específica de contacto de 51.67% m²/m³ reactor. La temperatura promedio en el reactor a lo largo del día es de 26 °C, en horas de la tarde alcanzó 31 °C. Las eficiencias de remoción promedio para el estado estable del reactor metanogénico fueron 80%, 83%, 45.9% y 74.7%; para DQO, DBO, ST y SST respectivamente.



Figura 4. Botellas plásticas como medio de soporte para aguas residuales del lavado del café

Cárdenas y Ramos (2009), de la Universidad Mariana en San Juan de Pasto, evaluaron a escala de laboratorio cuatro medios de contacto para encontrar el lecho de soporte de FAFa más conveniente en condiciones controladas de temperatura, régimen de flujo y acondicionamiento previo del medio bacteriano que más se adaptara al tratamiento de aguas mieles residuales provenientes de los trapiches artesanales del departamento de Nariño, en particular los asentados en el municipio de Sandoná; los cuatro medios utilizados fueron como muestra la figura 5: **concha marina** en el reactor 1, **material sintético** en el reactor 2, **material vitrificado** en el reactor 3 y **grava de río** en el reactor 4, con un área específica o área superficial total por unidad de volumen del material sólido de 1210; 2027; 446 y 189 m²/m³ respectivamente. El modelo a escala de laboratorio utilizado consta de cuatro reactores cilíndricos, cada uno con un volumen total de 6,6 litros y un volumen útil de 5,2 litros. El sistema funciona por gravedad y en paralelo, con una altura hidráulica de 1,6 m desde la salida del tanque de carga hasta la entrada de cada reactor por su parte inferior. Los resultados obtenidos mostraron que 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.

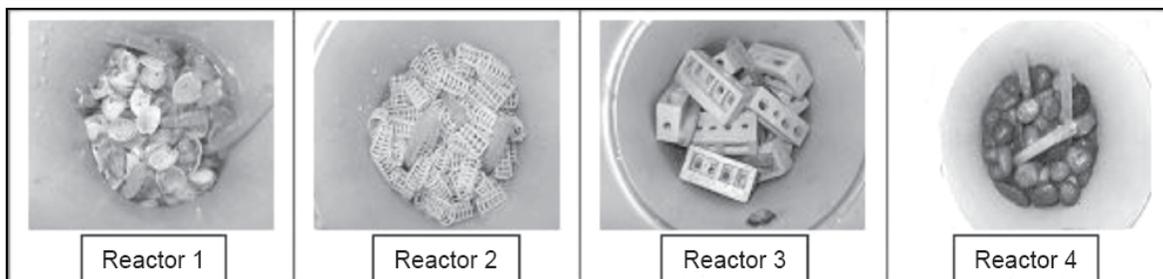


Figura 5. Medios de soporte utilizados para la evaluación del tratamiento en FAFAs De aguas mieles de trapiches paneleros

2. METODOLOGIA

2.1 localización

La parte experimental del estudio se desarrollo en el laboratorio de construcciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana sede Neiva y en la planta de tratamiento de Aguas Residuales de la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana. (Ver figura 6)

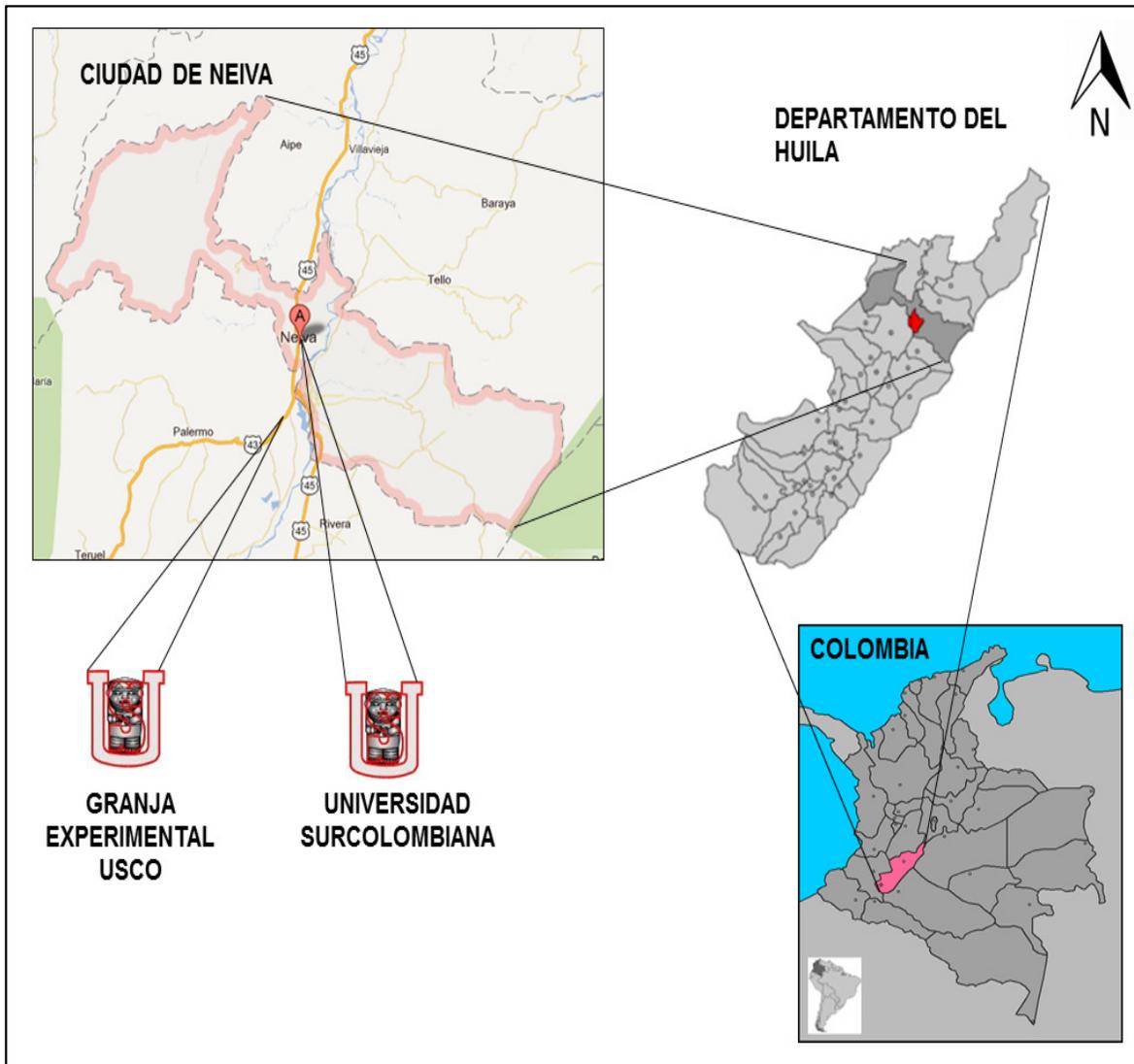


Figura 6. Localización física del proyecto

Neiva, es la capital del departamento del Huila y se encuentra situada en el valle del Alto Magdalena, a orillas del Río del mismo nombre, entre la cordillera central y oriental, a distancia terrestre de 312 kilómetros de Bogotá. Está situada geográficamente en las coordenadas $2^{\circ}59'55''N$ y $75^{\circ}18'16''O$, su extensión territorial es de 1533 km^2 , con una altura de 442 m.s.n.m y temperatura promedio

de 28 °C. La Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana se encuentra ubicada en el Distrito de Riego el Juncal municipio de Palermo en el departamento del Huila, aproximadamente a 9 kilómetros de la cabecera municipal de Neiva. Está situada geográficamente a los 2°5' latitud norte y los 75°20' latitud oeste, a una elevación de 450 m.s.n.m. La Granja experimental está ubicada según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, en la formación vegetal seco tropical (bs-T), con un promedio anual de lluvias de 1328,4 mm.

2.2 Materiales y Métodos

2.2.1 Fase 1. Laboratorio

2.2.1.1 Actividad 1. Selección de Biotipos de Guadua

El material para los ensayos se obtuvo de un proveedor particular ubicado en el Malecón del Río Magdalena de la ciudad de Neiva. Las guaduas son procedentes del municipio de Yaguará ubicado al norte del departamento del Huila, con una altura aproximada de 560 m.s.n.m en el casco urbano y de 500 a 1200 m.s.n.m en la zona rural, temperatura promedio de 25°C, precipitación promedio multianual de 1642 mm y humedad relativa que oscila entre 56% y 75%. Se eligieron aleatoriamente 2 tallos de 6 m de longitud de Guadua Angustifolia Kunth, Biotipo Macana, sanos, libres de todo defecto, representativos de la localidad, de 4 años de edad, extraídos de la zona media del culmo, de dos semanas de corte, con apariencia uniforme, sin deformaciones y sin daños superficiales como grietas o agujeros causados por mala manipulación poscosecha o por acción de insectos en el cultivo. (Ver figura 7).



Figura 7. Guadua Angustifolia Kunth seleccionada- Biotipo Macana

2.2.1.2 Actividad 2. Corte de anillos

Las guaduas seleccionadas fueron transportadas hasta una carpintería ubicada en el norte de la ciudad de Neiva, las cuales fueron cortadas de forma perpendicular a la dirección de las fibras o vasos conductores, obteniendo una figura geométrica en forma de anillos; los cortes fueron realizados por una máquina con cinta dentada

“sin fin”, que permite cortes uniformes y sin causar daños a las características naturales del culmo o tallo. Se cortaron anillos de 1, 2, 3, 4, 5, 10, cm de longitud del biotipo seleccionado. (Ver figura 8)



Figura 8. Corte de anillos con cinta dentada “sin fin”

2.2.1.3 Actividad 3. Determinación de las propiedades físicas de los anillos y semicírculos de guadua:

Se realizó en el laboratorio de construcciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana sede Neiva y contempló los siguientes procedimientos los cuales se desarrollaron tomando como base las condiciones de la NTC 5525: Norma Técnica Colombiana “Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua *Angustifolia Kunth*”.

DETERMINACION DEL VOLUMEN (cm³). Método: Medición directa

En cada extremo de la sección transversal de los anillos se midió con un calibrador de Vernier (escala métrica 1,50 mm – precisión 0,1 mm), dos diámetros en direcciones perpendiculares entre sí desde puntos opuestos en cada extremo del anillo como se muestra en la figura 9, los cuatro diámetros medidos por anillo se promedian y este promedio obtenido en mm es el diámetro del anillo; de esta forma se obtiene la medida de un diámetro externo promedio (D_e) y diámetro interno promedio (D_i). Este mismo procedimiento se repitió seleccionando aleatoriamente 30 muestras (anillos) para cada longitud evaluada (1, 2, 3, 4, 5, 10 cm) con el fin de obtener un valor representativo estadísticamente, aunque cada unidad fuera relativamente homogénea. Posteriormente se calculó el volumen promedio de los anillos de acuerdo a su forma geométrica utilizando la siguiente expresión.

$$V_p = \left[\frac{\pi(D_e - D_i)^2}{4} \right] * L$$

Dónde:

V_p = Volumen promedio de anillos (mm³)

D_e = Diámetro externo promedio (mm)

D_i = Diámetro interno promedio (mm)
 L = Longitud de los anillos (mm)



Figura 9. Medición del diámetro interno y externo con el calibrador

Para los semicírculos el volumen se obtuvo tomando como base el volumen obtenido para los anillos divididos en dos.

Las medidas tomadas de D_i , D_e y Espesor de los anillos fueron procesadas mediante un análisis de varianza simple – ANOVA, en el que se tomó como factor o variable independiente los diferentes valores de longitud evaluados y como variable dependiente los valores de D_i , D_e y espesor. De esta manera se realiza una comparación múltiple entre los valores medios de cada variable dependiente para los 6 diferentes niveles de longitud evaluados, y se establece si existe alguna diferencia significativa entre las medias, mediante la creación de grupos homogéneos que contienen medias entre las cuales no hay diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (%). Método: Gravimétrico

La determinación del contenido de humedad (CH) en ambiente de los anillos de guadua, se realizó mediante el pesaje de la pérdida de masa del anillo de ensayo durante el secado hasta alcanzar una masa constante. Se tomaron 3 anillos de 5 cm de longitud representativos del material con el que se trabajó, fueron pesados en una balanza electrónica portátil (marca OHAUS de 600gr de capacidad y 0,1 g de sensibilidad, serie 8029291091) para determinar su peso inicial (Ver figura 10). Posteriormente se secaron en un horno eléctrico (marca HUMBOLDT MFG. CO. Modelo H- 30145 de 198 Litros de capacidad serie B23-04227) a una temperatura de 103 ± 2 °C, durante un lapso de tiempo de 24 horas. Pasado este tiempo se pesó cada una de las muestras y se obtuvo el valor del peso final. Para el cálculo de la humedad se aplica 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_0 = Peso de la guadua con humedad cero –anhidra (g)



Figura 10. Pesaje de los anillos y secado en horno eléctrico
Para determinación del %CH

El CH se obtuvo mediante el promedio de los 3 datos obtenidos.

2.2.1.4 Actividad 4. Determinación de las propiedades físicas del medio de soporte:

Para la determinación de las propiedades físicas del lecho se siguieron los métodos utilizados por Orozco, (2003).

POROSIDAD DEL LECHO. Método Volumétrico

Para la determinación de la porosidad del medio se utilizó un recipiente de vidrio de sección cuadrada de 19,5 cm x 19,5 cm (380,25 cm² de área), altura igual a 35 cm y con un espesor de 0,5 cm, para un volumen teórico de 13,3 litros. Sin embargo, con el fin de conocer el verdadero volumen útil del recipiente, se aforó depositando dentro de este, volúmenes de agua conocidos utilizando un Becker de 500 ml de capacidad; de esta forma se determinó la cantidad total de agua necesaria para llenarlo la cual fue de 13,1 litros. Posteriormente se depositaron de forma aleatoria o desordenada dentro del recipiente de vidrio aforado una cantidad de anillos de guadua conocida, como muestra la figura 11, para así obtener un valor de volumen aparente conocido ocupado por una cantidad de anillos determinada dentro del recipiente (V_a). Se realizaron 30 repeticiones de este ensayo para obtener un resultado con altos niveles de fidelidad estadística. Los resultados obtenidos se analizaron con el paquete estadístico StatGraphics Plus 5.1 para Windows, el cual muestra los datos atípicos que se encuentren por fuera del rango promedio de la muestra, para su posterior eliminación y análisis estadístico descriptivo. Para conocer el volumen real (V_r) proporcionado por la cantidad de anillos seleccionada, se utilizó el método de “medición directa” descrito anteriormente.

(DETERMINACION DEL VOLUMEN (mm³). Método: Medición directa) y el volumen real proporcionado por cada anillo se multiplicó por el número total de estos. Finalmente se determinó la porosidad del lecho utilizando 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 anillos dentro del recipiente (mL)

V_r = Volumen real del número de anillos de guadua utilizados (mL)

Posteriormente los anillos se cortaron en dos secciones homogéneas, obteniéndose una figura geométrica de semicírculo a los cuales se les practicó todos los procedimientos descritos anteriormente.



Deposito en forma Aleatoria de anillos Dentro del recipiente

Medición de volumen aparente de anillos

División de anillos en dos secciones homogéneas

Medición de Volumen Aparente De semicírculos

Figura 11. Determinación de volumen aparente en anillos y semicírculos

ÁREA ESPECÍFICA DE CONTACTO (cm²/cm³)

La superficie específica se define como los m² de superficie de relleno por m³ de volumen total del mismo para adherencia de una biopelícula. Con la cantidad conocida de anillos de guadua utilizados para llenar el recipiente en cada uno de los ensayos de determinación de la porosidad y de acuerdo con la forma geométrica de los anillos y las medidas tomadas para cada uno, se determinó el área específica de contacto aplicando la siguiente ecuación:

$$A_{es} = \frac{[\pi/4(D_e - D_i)^2 * 2 + (2\pi R_e * L) + (2\pi R_i * L)] * \# \text{ anillos}}{V_a}$$

Dónde:

D_e = Diámetro externo promedio de los anillos (cm)

D_i = Diámetro interno promedio de los anillos (cm)

R_e = Radio interno promedio de los anillos (cm)

R_i = Radio interno promedio de los anillos (cm)

L = Longitud de los anillos (1, 2, 3, 4, 5, 10 cm)

anillos = Número total de anillos utilizados para formar cada lecho

V_a = Volumen ocupado por los anillos dentro del recipiente (cm³)

PESO ESPECÍFICO (kg/L)

Para la determinación del peso específico del lecho de soporte, se tiene en cuenta el volumen real de los anillos determinado mediante el método de medición directa y el peso de la cantidad total de anillos utilizados en la prueba de porosidad el cual se determinó mediante el uso de una balanza electrónica portátil (SG 8000 - capacidad 8000 gr- precisión 0,1 gr) como muestra la figura 12. Posteriormente se aplica la siguiente expresión:

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

Dónde:

ρ_e = Peso específico del lecho (kg/L)

M = Masa del lecho (kg)

V_r = Volumen real del lecho (L)



Anillos de L= 1 cm



Anillos de L= 10 cm

Figura 12. Pesaje del número total de anillos que componen el medio filtrante

2.2.2 Fase 2. Experimental en campo

2.2.2.1 Actividad 1. Instalación de la Unidad Experimental (Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, FAFAs)

Con el fin de evaluar el efecto de la variación de la longitud de los anillos y semi círculos de guadua sobre la eficiencia del filtro, se construyó un prototipo a escala de FAFAs, el cual se instaló contiguo al actual sistema de tratamiento de AR de la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana, compuesto por un TSAM y un Filtro Bioaerobio. El TSAM está conformado por una cajilla de entrada, una cámara de sedimentación, una cámara de digestión y una cámara de salida.

El prototipo experimental se conformó por una unidad de tratamiento primario y una unidad de tratamiento secundario. Para el tratamiento primario se adecuó la cámara de entrada del TSAM y para el tratamiento secundario se instaló el prototipo de FAFAs. Hidráulicamente el montaje posee un sistema de conducción de las AR proveniente de las actividades domésticas de la casa de habitación de la granja, la cual es conducida a la unidad experimental por gravedad. (Ver figura 13)

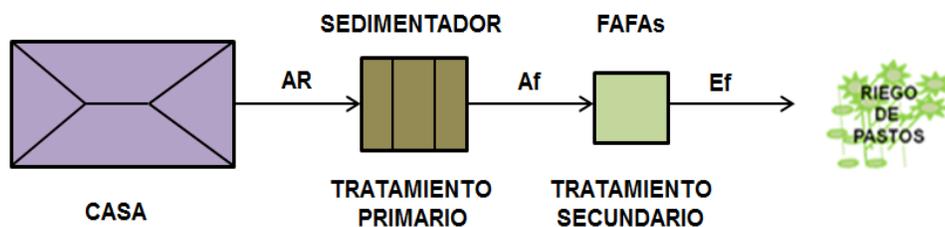


Figura 13. Esquema general del sistema

– Tratamiento primario:

La caja de entrada del TSAM se utilizó como tratamiento primario, es de sección rectangular con dimensiones $l=0,86$ m, $a=0,81$ m y $h=0,46$ m, con un borde libre de 0.06 m para un volumen de agua total de 278 L; En la cajilla se instalaron 2 rejillas o mallas de forma vertical y transversal al flujo como se muestra en la figura 14, de dimensiones $a=0,81$ m y de $h=0,56$ m. El agua residual se desplaza dentro del tanque con un flujo horizontal y entra en contacto con la primera malla que retiene sólidos de tamaño mayor a $0,015$ cm²; posteriormente el AR entra en contacto con la segunda malla que retiene partículas de tamaño mayor a $0,18$ cm², realizando un tratamiento preliminar consistente en la retención de sólidos gruesos; de esta forma se retiene parte de las partículas sólidas de gran tamaño que no pueden ser tratadas y que además ocasionan taponamiento dentro del filtro. En esta cajilla por sedimentación también se remueven parte de los SS.

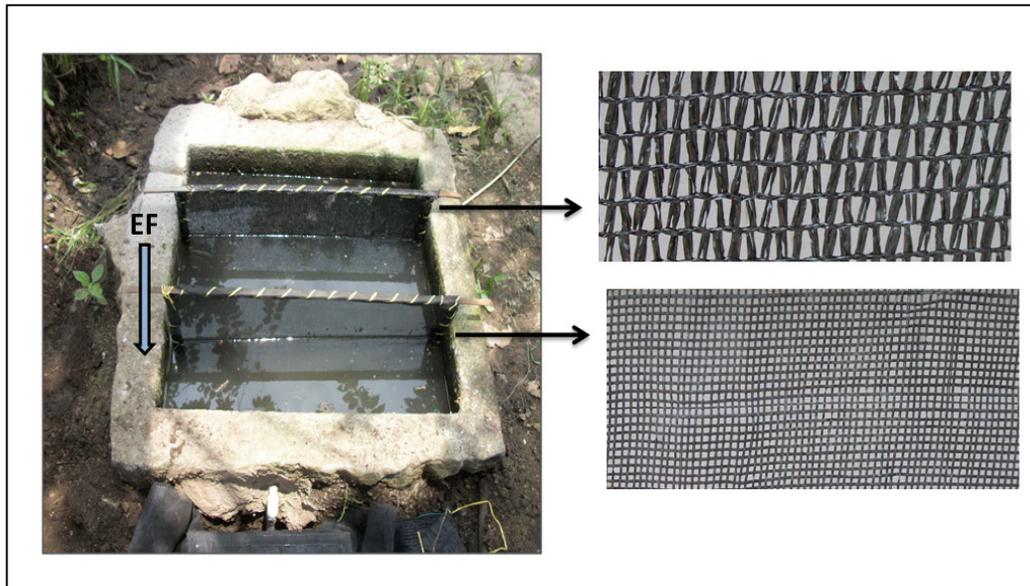


Figura 14. Sedimentador - detalle de rejillas o celdas filtrantes

– **Tratamiento secundario:**

Para la construcción del filtro, se tuvo en cuenta la constitución de tres partes o zonas funcionales (Castaño, 2002).

ZONA DE ENTRADA: El Af ingresa al filtro por la parte inferior a través de una flauta de distribución (tubería de pvc de ½ pulgada con perforaciones de 3 mm, a una distancia de 4 cm una de la otra) sin falso fondo (ver figura 15), por lo tanto el medio de soporte ocupa la altura del reactor, menos el sobrenadante y el borde libre.



Conexión con el tratamiento primario y zona de entrada al filtro



Flauta de distribución

Figura 15. Zona de entrada del AF al filtro

ZONA EMPACADA: La zona de empaque (lecho filtrante), se ubicó dentro de una caja de vidrio cuadrada de $l=0,4$ m ($A=0,16$ m²), $h=0,39$ m y espesor de 5 mm, para un volumen total de 62,4 L. El medio de soporte consistió en guaduas de 1 cm de longitud con forma geométrica semicírculo como se observa en la figura 16, dispuestos de forma aleatoria o desordenada. Se emplearon en total 2085 semicírculos, para alcanzar una altura del medio filtrante igual a 0,30 m, el cual junto con el sobrenadante (0,04 m) proporcionan un volumen efectivo dentro del filtro de 54,4 L, con una porosidad de 76,7% y un peso total del medio de 10,18 kg; finalmente se dispuso una malla de alambre en la superficie del lecho, para confinar el medio filtrante y evitar la flotación y el paso de trozos de guadua que pueda provocar obstrucciones en la zona de salida.



Figura 16. Malla de alambre y lecho filtrante

ZONA DE SALIDA: La zona de salida evacua el efluente del filtro (Castaño, 2002), por medio de una tubería de pvc de ½ pulg que se encuentra ubicada a 4 cm por encima del lecho de soporte en una de las paredes de la caja del filtro. (Figura 17)



Figura 17. Zona de salida del filtro

La figura 18 muestra la constitución final de las Unidades del Sistema.

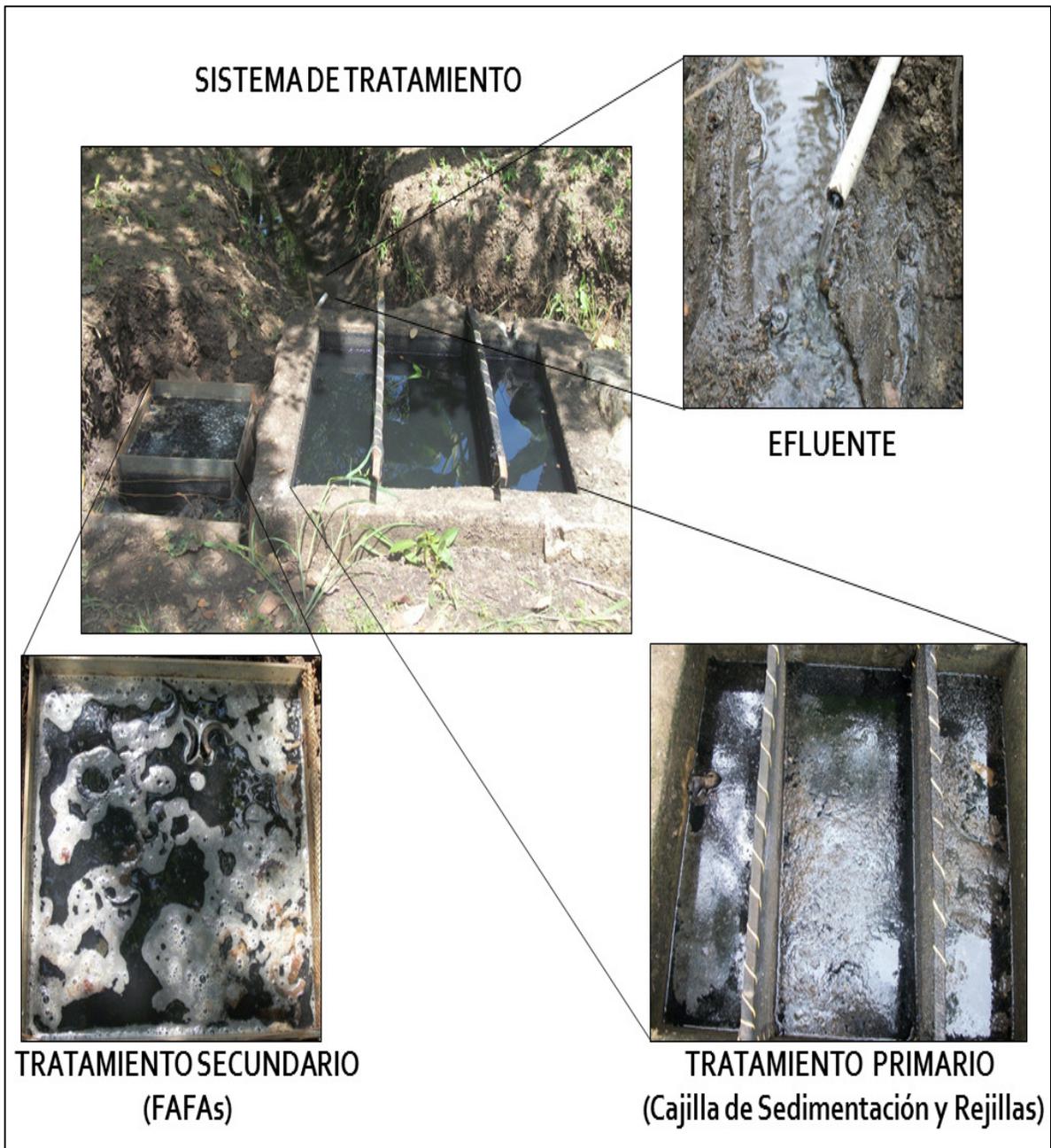


Figura 18. Detalle del sistema utilizado-tratamiento primario y secundario

2.2.2.2 Actividad 2. Arranque y operación del FAFAs

El arranque del reactor o filtro anaerobio se inició con la aplicación del Af, sin proceso de inoculación. En algunos casos para reducir el tiempo de arranque debido al lento crecimiento de las bacterias metanogénicas se puede inocular el reactor con lodo proveniente de otra planta de tratamiento que presente las mismas características, de esta forma se acelera el proceso de adaptación del lodo al sustrato (Romero,1999).

Realizado el montaje experimental del FAFAs, durante un periodo de 10 meses aproximadamente se operó el reactor, tiempo durante el cual se generó una película adherida a la superficie del lecho lo suficientemente madura para permitir una calidad constante del efluente. (Ver figura 19)



Figura 19. Capa biológica formada sobre el material filtrante

2.2.2.3 Actividad 3. Operación y mantenimiento del sistema

El filtro se operó durante 40 semanas aproximadamente, comprendidos entre los meses de Mayo de 2011 a Marzo de 2012, de forma intermitente debido a la realización mínima de actividades domésticas en la granja; se eligió como lecho filtrante semicírculos de 1 cm de longitud, las cuales después de realizar las actividades de la fase laboratorio, mostraron el mayor valor de área específica; el sistema funcionó con una caudal promedio de 49 L/día el cual se determinó mediante el método volumétrico $Q=V/t$ durante el tiempo en el cual la carga hidráulica de AR fue aparentemente homogénea en cantidad; esto permite un Tiempo de Retención Hidráulico de 1,14 días según la relación $TRH= V_{\text{filtro}}/Q$.

Las labores de operación y mantenimiento del sistema consistieron en la extracción de forma manual una vez al mes de natas y sobrenadantes estacionados en el compartimiento adecuado para el tratamiento primario, además del lavado de rejillas; también se removieron sólidos suspendidos de gran tamaño que lograron atravesar el sistema de conducción del AR y quedaron atrapados en las rejillas del sedimentador; este proceso se realizó con el objetivo de evitar taponamientos dentro del filtro. Durante el proceso de operación del filtro se realizó la evacuación y lavado del material filtrante debido a problemas de colmatación dentro del filtro a los 8 meses de iniciado el funcionamiento. Ver anexo 1

2.2.2.4 Actividad 4. Muestreo

OBSERVACION PRELIMINAR: Durante el periodo de operación del filtro (10 meses), se hizo un seguimiento minucioso verificando el buen funcionamiento del sistema especialmente del filtro anaerobio, para lo cual se tomaron muestras de agua del afluente y el efluente del filtro, con una frecuencia mensual, con el fin de observar el cambio en la apariencia del sustrato (color – turbiedad) a la entrada y salida del filtro. (Ver figura 20)



Figura 20. Muestras de AR a la entrada y salida del FAFAs

MUESTREO Y ANALISIS DE LABORATORIO: Para el análisis físico-químico y microbiológico del AR, se asumió un comportamiento estable del reactor después de 6 meses de operación. Una vez considerado estable se definió dos puntos de muestreo (afluente y efluente del FAFAs) como muestra la figura 21, posteriormente se tomaron 3 muestras del sustrato en cada uno de los puntos de muestreo establecidos, con una frecuencia de 1 muestra cada 9 días (16, 25 de Febrero y 05 de Marzo de 2012), para un periodo de muestreo total de 27 días. El AR se recogió en frascos de vidrio de 200ml de capacidad para la determinación de CF y en frascos plásticos de 1L para el análisis físico-químico. (Ver figura 22)

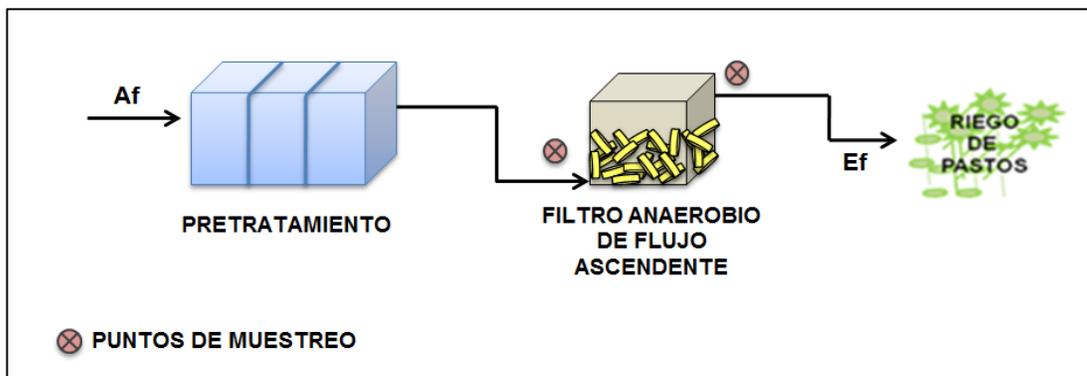


Figura 21. Puntos de muestreo

Las muestras fueron preservadas en hielo a una temperatura aproximada de 4°C durante el transporte hasta el Laboratorio de Aguas de la Universidad Surcolombiana, en donde se realizó la evaluación de los parámetros de DBO₅ Y SS mediante la utilización del Método “Título Métrico Winkler” y el “Método Gravimétrico” respectivamente. Para la determinación de CF, la muestra se trasladó hasta el laboratorio Ambiental certificado DIAGNOSTICAMOS S.A.S en la ciudad de Neiva, en donde se realizó el análisis microbiológico de CF utilizando el Método de “Sustrato Definido”.



Toma de muestras Af

Toma de muestras Ef

Embalaje de muestras

Figura 22. Descripción de la toma de muestras Af y Ef del FAFAs

2.2.2.5 Actividad 5. Evaluación de la eficiencia del FAFAs

La eficiencia de remoción de DBO, SS en el FAFAs se calculó mediante 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

La eficiencia de remoción de CF en el FAFAs se calculó con base en la disminución de unidades logarítmicas entre Af y Ef.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 PROPIEDADES FISICAS DE LOS ANILLOS Y SEMICIRCULOS

– Volumen de anillos y semicírculos

La tabla 7 muestra los valores de diámetro interno, externo y espesor de los anillos de guadua, además los valores de volumen obtenidos para anillos y semicírculos seleccionados para los 6 diferentes valores de longitud evaluados.

Tabla 7. Diámetro interno, externo, espesor y volumen promedio de los Anillos y semicírculos de guadua utilizados

longitud de anillos (cm)	Diámetro externo (cm)	Diámetro interno (cm)	Espesor (cm)	Volumen anillos (cm ³)	Volumen semicírculos (cm ³)
1	5,67 ± 0,9 ^{ab}	4,39 ± 1,6 ^a	1,28 ± 0,2 ^b	10,11 ± 1,2	5,05 ± 1,2
2	5,79 ± 2,0 ^{bc}	4,50 ± 2,6 ^{ab}	1,28 ± 0,1 ^b	20,73 ± 1,9	10,36 ± 1,9
3	5,86 ± 1,2 ^c	4,68 ± 1,0 ^{cd}	1,18 ± 0,1 ^a	29,27 ± 2,2	14,63 ± 2,2
4	5,67 ± 2,7 ^{ab}	4,55 ± 2,8 ^{bc}	1,12 ± 0,1 ^a	35,98 ± 4,6	17,99 ± 4,6
5	6,15 ± 3,1 ^d	4,79 ± 4,4 ^d	1,36 ± 0,2 ^b	57,92 ± 4,5	28,96 ± 4,5
10	5,64 ± 3,9 ^a	4,36 ± 4,0 ^a	1,28 ± 0,2 ^b	100,41 ± 4,6	50,20 ± 4,6

Media ± Desviación estándar.

Los datos dentro de la misma columna con diferentes letras son significativamente ($p < 0.05$) diferente.

De los resultados se puede observar que existen medias significativamente diferentes unas de otras para cada característica evaluada (De, Di, e), lo que se evidencia con la formación de diferentes grupos homogéneos dentro de una misma característica; las medias de estos grupos homogéneos no poseen diferencias estadísticamente significativas dentro de un nivel de confianza del 95%; concluyendo que aunque los anillos de guadua utilizados pertenecen al mismo biotipo y se utilizaron dos culmos muy similares en su apariencia, este por ser un material biológico no es uniforme. La diferencia entre promedios para cada característica, aunque mínima, muestra que todo elemento de la naturaleza se caracteriza por ser variable físicamente, la guadua como tal es un ejemplo de ello. Vélez (2006), menciona que no existen 2 pedazos de guadua iguales aun siendo parte del mismo tallo o caña, debido a las condiciones naturales del ambiente donde se desarrolla (suelo, clima) lo cual afecta directamente la tasa de crecimiento, la estructura, la forma y las propiedades de resistencia de este material. Se puede concluir entonces, que la guadua es un material bastante heterogéneo en su constitución interna, producto del medio ambiente donde se desarrolle, por eso es importante, determinar con la mayor precisión posible las propiedades del material para establecer así su aptitud para diferentes propósitos.

– Contenido de humedad

CH obtenido para la guadua del estudio fue de 15,99 %, con un valor máximo de

17,1% y mínimo de 15,1%, con una desviación estándar $\rho=0,71$. Se puede observar que el contenido de humedad de la guadua utilizada puede ser bajo, con respecto al porcentaje de contenido de humedad requerido por este material para otros usos, por ejemplo para uso estructural el cual debe ser menor a 25% con un máximo permisible del 30%. Probablemente la mayor cantidad de humedad de las probetas de guadua se encuentra retenida entre los espacios vacíos que se encuentran entre el arreglo de las fibras que forman el tallo, ya que haces de fibra evaluados de forma individual en otros ensayos presentan un contenido de humedad promedio de 7.13%. (Moreno, Trujillo y otros, 2007)

Influencia del contenido de humedad:



Figura 23. Deformación durante el secado natural y presencia de manchas negras producto del ataque de hongos en anillos cortados verdes

Durante el desarrollo de la parte experimental del proyecto se utilizaron guaduas con contenidos de humedad del 37% en promedio (guaduas verdes), que fueron cortadas en anillos como se menciona en la metodología, pero durante el proceso de secado en forma natural se evidencio claramente una deformación como se muestra en la figura 23, por lo que se concluye que a pesar de ser este un material reconocido por sus eficientes propiedades físico-mecánicas para diferentes aplicaciones y usos, es un material muy vulnerable, por lo que es necesario trabajar con guaduas secas que durante el proceso de secado adquieran su color amarillo natural y se contraigan de forma homogénea para así poder garantizar sus características según el destino o uso; además estos anillos se hicieron muy susceptibles al ataque de factores Bióticos como hongos que no se estudiaron en esta investigación pero que se evidenciaron en la superficie de los anillos como manchas negras y grumos oscuros esponjosos. (Figura 23)

3.2 PROPIEDADES FISICAS DEL LECHO

– Porosidad

La tabla 8 presenta el volumen real de cada uno de los anillos para las diferentes longitudes evaluadas, el número de anillos utilizados para formar un lecho y el volumen real del lecho, valor utilizado para el cálculo de porosidad.

Tabla 8. Volumen real del lecho para cada longitud de anillos evaluada

longitud de anillos (cm)	Volumen real c/da anillo (cm³)	Numero de anillos usados	Volumen real del lecho (cm³)
1	10,11 ± 1,2	164	1557,13
2	20,73 ± 1,9	84	2134,81
3	29,27 ± 2,2	59	1727,08
4	35,98 ± 4,6	50	1798,78
5	57,92 ± 4,5	31	1795,52
10	100,41 ± 4,6	21	2108,68

Media ± Desviación estándar.

En la tabla 9 se describen los valores de volumen real y volumen aparente del lecho de anillos y semicírculos, y el cálculo de los valores obtenidos de porosidad promedio para cada longitud evaluada.

Tabla 9. Porosidad del medio filtrante (%) formado por anillos y semicírculos de guadua

longitud de anillos (cm)	Volumen Real (cm³)	Volumen Aparente (cm³)	Porosidad %
1	1557,13	9930 ± 274,3	84,32 ± 1,8^b
2	2134,81	10670 ± 254,8	83,68 ± 1,9^b
3	1727,08	10660 ± 288,4	83,80 ± 1,2^b
4	1798,78	10867 ± 249,6	83,45 ± 2,1^b
5	1795,52	9747 ± 553,8	81,58 ± 1,4^a
10	2108,68	11600 ± 434,7	81,82 ± 2,6^a
longitud de semicírculos (cm)	Volumen Real (cm³)	Volumen Aparente (cm³)	Porosidad %
1	1557,13	6704 ± 145,3	76,77 ± 2,7^a
2	2134,81	7572 ± 106,6	77,00 ± 2,6^{ab}
3	1727,08	7924 ± 269,6	78,19 ± 1,7^{bc}
4	1798,78	8440 ± 245,1	78,69 ± 2,7^c
5	1795,52	7937 ± 284,6	77,38 ± 1,8^{ab}
10	2108,68	9987 ± 471,8	78,89 ± 3,1^c

Media ± Desviación estándar.

Los datos dentro de la misma columna con diferentes letras son significativamente (p < 0.05) diferente.

Al comparar los valores medios de porosidad entre la forma geométrica anillos y semicírculos, se observa que después de utilizar la misma cantidad de material para constituir los dos tipos de lecho, los valores de porosidad más elevados los ofrece el lecho constituido por anillos, en promedio 83,10% cualquiera que sea los 6 diferentes valores de longitud evaluados (1, 2, 3, 4, 5, 10 cm); y el valor promedio para el lecho compuesto por semicírculos fue de 77,95%; el mayor valor de porosidad se obtuvo con el lecho constituido por anillos de 1cm de longitud 84,32%, mientras que el lecho filtrante con forma geométrica semicírculos el mayor valor lo presentó el lecho constituido por anillos de 10 cm de longitud 78,89%, Con lo que se puede concluir que para obtener mayores valores de porosidad es más eficiente la forma geométrica anillos en comparación con los semicírculos. Sin embargo existe cercanía entre las porosidades promedio de los dos lechos 83,10% y 77,95% para anillos y semicírculos respectivamente. Lo que evidencia que es indiferente utilizar anillos o semicírculos para constituir el lecho.

En cuanto a los valores de longitud existe similitud entre las porosidades que alcanzan los lechos cualquiera que sea la longitud evaluada, por lo que se puede concluir que es indiferente construir lechos filtrantes constituidos por anillos de 1, 2, 3, 4, 5 o 10 cm.

El lecho constituido por semicírculos de guadua presenta una porosidad promedio de 77,95%, es alta, superior a otros tipos de empaques utilizados con el mismo propósito, medios convencionales tales como gravas, en los cuales la porosidad es del 60% aproximadamente; y similar a la ofrecida por el medio de soporte constituido por trozos de llanta (82%), pero inferior a la de otros medios de soporte utilizados tales como botellas plásticas que permiten una porosidad aproximada del 98,7% o como las rosetas plásticas que ofrecen una porosidad del 90%.

El valor alto en la medida de la porosidad en el lecho constituido por semicírculos (77,95%), proporciona una ventaja, ya que según Campos (1991), en los filtros anaerobios se ha encontrado que a pesar de ocurrir una adherencia del filme biológico al medio de soporte, una mayor porción de los microorganismos se encuentran suspendidos en los intersticios del medio, estas conclusiones también son sustentadas por Castaño y Paredes (2002), quienes al comparar el uso de dos tipos de lecho de soporte (anillos de guadua de 5 cm y piedra de mano) concluyen que en cuanto a eficiencias de MO y SS se refiere, no existen diferencias significativas entre el uso de estos dos medios, con lo que confirman la tesis de que en el reactor la superficie específica no es un parámetro limitante, porque los microorganismos presentan su crecimiento principalmente en los espacios libres seguido del crecimiento en el medio de soporte, quiere decir esto que la principal actividad biológica se da por microorganismos suspendidos, por lo que sí existe un alto porcentaje de orificios presuntamente se pueden obtener eficiencias superiores en términos de remoción de MO y SS además se provee un flujo uniforme del agua residual reduciendo las posibilidades de pasos directos a través del reactor, propiciando un mayor contacto del residuo con la masa biológica que se encuentra adherida o en forma de floc granular; de esta forma según Orozco (2003), se

disminuye considerablemente los problemas de represamiento, presencia de zonas muertas y taponamiento (plugging) del medio filtrante y flujo preferencial (channelling) que reducen el volumen útil del reactor, e implican bajas eficiencias y constantes labores de mantenimiento.

– **Área específica de contacto**

La tabla 10 muestra los valores de área superficial, volumen aparente y área específica de contacto del lecho filtrante, para 6 diferentes valores de longitud evaluados en dos tipos lecho filtrante.

Tabla 10. Área específica de contacto (m^2/m^3) del lecho formado por anillos y Semicírculos de guadua

longitud de anillos (cm)	Área superficial del lecho (cm^2)	Va del lecho (cm^3)	Área específica del lecho (m^2/m^3)
1	5268,26 ± 99,9	9930 ± 274,3	53,05 ± 1,0^a
2	6930,32 ± 266,5	10670 ± 254,8	52,97 ± 2,5^a
3	5987,22 ± 124,9	10660 ± 288,4	56,17 ± 1,2^{bc}
4	6519,96 ± 332,6	10867 ± 249,6	60,00 ± 3,1^d
5	5419,76 ± 344,0	9747 ± 553,8	55,60 ± 3,5^b
10	6646,27 ± 508,3	11600 ± 434,7	57,30 ± 4,4^c
longitud de semicírculos (cm)	Área superficial del lecho (cm^2)	Va del lecho (cm^3)	Área específica del lecho (m^2/m^3)
1	5268,26 ± 99,9	6704 ± 145,3	78,58 ± 1,5^e
2	6930,32 ± 266,5	7572 ± 106,6	74,64 ± 3,5^b
3	5987,22 ± 124,9	7924 ± 269,6	75,60 ± 1,6^{bc}
4	6519,96 ± 332,6	8440 ± 245,1	77,25 ± 3,9^{cd}
5	5419,76 ± 344,0	7937 ± 284,6	68,28 ± 4,3^a
10	6646,27 ± 508,3	9987 ± 471,8	66,55 ± 5,1^a

Media ± Desviación estándar.

Los datos dentro de la misma columna con diferentes letras son significativamente ($p < 0.05$) diferente.

De los resultados se puede deducir que existe una diferencia entre los valores de área específica de contacto obtenidos para los dos tipos de lecho evaluados; los anillos presentan un área específica promedio de $55,84 m^2/m^3$ (valor mínimo $52,97 m^2/m^3$ y valor máximo $60,00 m^2/m^3$) y los semicírculos un valor de $73,48 m^2/m^3$, (valor mínimo $66,55 m^2/m^3$ y valor máximo $78,58 m^2/m^3$), siendo mayor el valor promedio obtenido por el lecho con forma geométrica de semicírculos cualquiera que sea la longitud evaluada (1, 2, 3, 4, 5, 10 cm); con lo que se puede concluir que con la forma geométrica semicírculo se obtiene mayor valor de área específica en comparación con los anillos.

Los valores de área específica de contacto son similares para lechos compuestos por semicírculos de 1, 2, 3, 4 cm, por lo que resulta muy semejante construir lechos cualquiera que sea la longitud mencionada.

El valor de área específica de contacto más elevado ($78,58 \text{ m}^2/\text{m}^3$), se logró con el lecho constituido por elementos con forma geométrica de semicírculo de 1 cm de longitud el cual es similar al de semicírculos de 2, 3 y 4 cm. En comparación con otro tipo de lechos este valor es superior al ofrecido por otros materiales utilizados como empaque en reactores, tales como botellas plásticas de $2 \frac{1}{2}$ L, $2 \frac{1}{4}$ L, y mixtas ($2 \frac{1}{2}$ L y $2 \frac{1}{4}$ L), los cuales ofrecen valores de área específica de $49,19 \text{ m}^2/\text{m}^3$, $56,503 \text{ m}^2/\text{m}^3$ y $53,92 \text{ m}^2/\text{m}^3$ respectivamente. Este material también resulta en ventaja con respecto a otros materiales tales como llanta, grava de río y anillos de guadua de 8 cm de diámetro y 10 cm de longitud evaluados en otros ensayos, los cuales permiten obtener valores de área específica de 28 a $47 \text{ m}^2/\text{m}^3$, $57 \text{ m}^2/\text{m}^3$ y $45 \text{ m}^2/\text{m}^3$ respectivamente. Pero el área específica resulta inferior en comparación con la obtenida con rosetas de plástico, la cual es de $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Orozco (2005), menciona que el lecho o medio de contacto sintético, debe poseer una alta relación área/volumen para la adherencia del filme biológico encargado de efectuar la remoción de la materia orgánica. Esta relación a la que denomina área neta, medida en m^2 de área superficial disponible para el crecimiento del biofilme por m^3 de material filtrante (m^2/m^3), indica la cantidad de biofilme que se puede formar en el reactor de medio fijo. Es claro que a mayor área neta mayor cantidad de biomasa en el filtro, pero también hace más difícil dejar espacio suficiente para la aireación adecuada de la biomasa. Es por ello que el diseño del material filtrante es crucial para su desempeño. Orozco y Restrepo (2003), afirman que a mayor cantidad de biofilme adherido al medio, mayor conversión de contaminantes orgánicos a metano.

Según Camargo (2001), la forma del lecho filtrante si ejerce una influencia sobre la eficiencia, ya que en la medida que se reduzcan las posibilidades de pasos directos a través del lecho (canales), se propiciará un mayor contacto del residuo con la masa biológica. Con esta condición en los primeros 60 cm del lecho filtrante, en dirección del flujo, se presenta la mayor remoción de materia orgánica y por encima de 1.2 metros no se registran incrementos de eficiencias de remoción. En cuanto a la adhesión, los factores aún no han sido totalmente comprendidos, y parece que esta depende más de la naturaleza del soporte.

- **Relación área específica y porosidad en los dos tipos de lecho evaluados**

Las figuras 24 y 25 muestran que no existe una relación lineal entre las variables área específica y porosidad en ninguno de los dos lechos (anillos, semicírculos), debido a que la acomodación de los elementos en el filtro sigue un patrón aleatorio en función de la acomodación al azar. En el lecho constituido por anillos de guadua el coeficiente de determinación escasamente supera el 10% ($R^2= 0,106$) y en el caso del lecho constituido por media lunas el coeficiente de determinación alcanza

un valor de 11% ($R^2=0,112$); esto indica que no existe una adecuada correlación entre las variables evaluadas y su relación no es lineal. El diseño del material de relleno es crucial para el buen desempeño del sistema, se debe propiciar un equilibrio entre los valores de área específica y porosidad del medio de empaque, ya que los sólidos biológicos encargados de los procesos de remoción, según Young (1991), puede estar adheridos en forma de biopelícula a la superficie del medio de empaque o encontrarse suspendidos en forma de floc granular en el espacio vacío dentro del reactor. El floc suspendido juega un papel tan importante en la degradación como el material adherido.

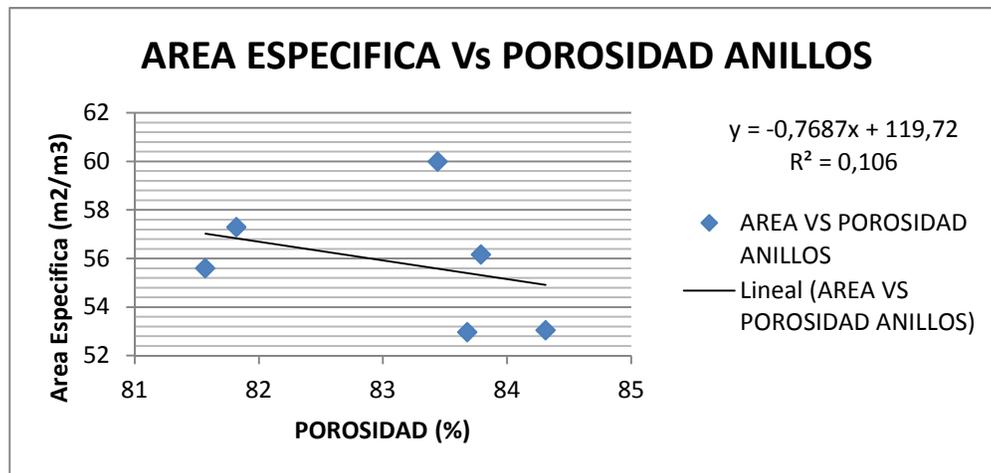


Figura 24. Relación área específica Vs porosidad del lecho formado por anillos de guadua

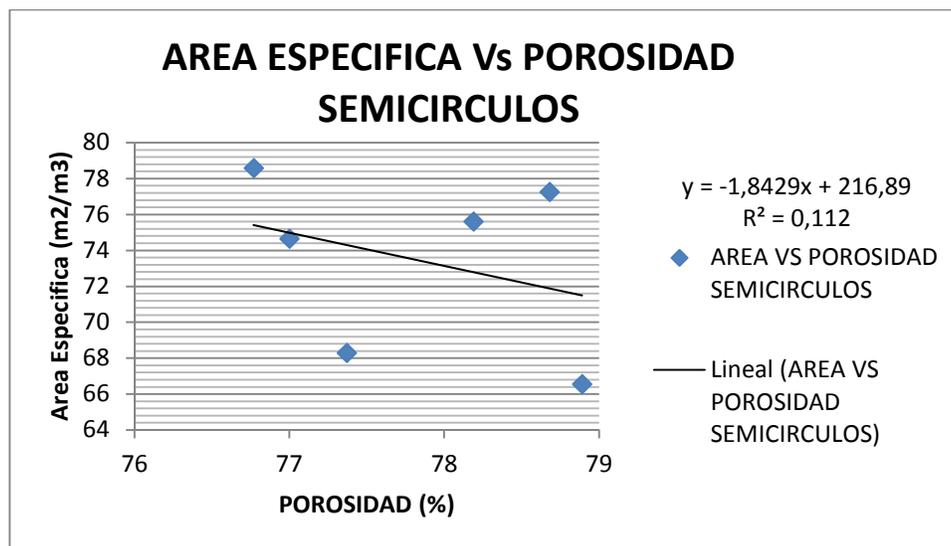


Figura 25. Relación área específica Vs porosidad del lecho formado por semicírculos de guadua

- **Peso Específico**

Los valores de peso específico de cada uno de los anillos de guadua utilizados en los ensayos se muestran en la tabla 11 como el resultado de la relación entre la masa y el volumen real del total de los anillos utilizados para formar el medio de empaque.

Tabla 11. Peso específico del medio filtrante

longitud de anillos (cm)	Masa (g)	Volumen real (cm³)	Peso específico (g/cm³)
1	1504,51	1568,07	0,96
2	1720,90	2128,92	0,80
3	1615,47	1728,96	0,93
4	1472,35	1798,00	0,81
5	1391,61	1901,53	0,73
10	1615,24	2117,01	0,76

Al comparar los datos obtenidos, se observa que el valor promedio de peso específico de los trozos de guadua empleados en el ensayo es de 0,83 g/cm³, cercano al calculado por Mejía y Salazar (1985), el cual fue de 1.11 g/cm³ para un contenido de humedad del 32,6%; el valor de peso específico obtenido es muy similar al del agua y mucho menor que el de otro medio convencional piedra (2.4 y 2.6 g/cm³), lo que se convierte en una ventaja importante cuando se trata de considerar el peso como factor clave para el diseño de las estructuras de contención del medio, ya que al ser un material liviano no requiere de estructuras complejas para su soporte que impliquen considerables costos de inversión; además permite otras ventajas como fácil manejo.

Según Montoya (2005), En la mayoría de las especies en madera y bambú, un incremento en el contenido de humedad provoca un aumento tanto en la masa (normalmente en mayor medida) como del volumen de la guadua que a su vez provoca que el valor del peso específico o densidad aumente. Por lo que el valor promedio de peso específico obtenido para este ensayo 0,8 g/cm³, corresponde a un valor de Contenido de Humedad de 15,99%.

3.3 EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO MEDIANTE LOS PARÁMETROS DE DBO, SS, CF

Para la caracterización físico química del AR y evaluación del FAFAs con material de empaque guadua y forma geométrica en semicírculos de 1cm de longitud, el cual se determinó como el más eficiente para el proceso de filtración por poseer el mayor valor de área específica para los lechos y longitudes evaluadas y porosidad igual o superior a otros medios de soporte en FAFAs; se realizaron pruebas

consistentes en la toma de 3 muestras del AF y del EF del FAFAs con tres repeticiones durante la operación del filtro. (Anexo 2)

En la tabla 12 se detallan los resultados obtenidos en la caracterización, además de las eficiencias promedio de remoción obtenidos durante la operación del filtro mediante los parámetros evaluados DBO, SS y CF.

Tabla 12. Eficiencia de remoción en los parámetros de DBO, SS y CF obtenidos por el FAFAs

PARAMETRO	No. DE MUESTRA	C _{Af}	C _{Ef}	REMOCION (%)	PROMEDIO DE REMOCION (%)
DBO ₅ (mg/L O ₂)	M1	420	79,8	81,0	70
	M2	669	231	65,5	
	M3	537	198	63,1	
SS (mg/L)	M1	50	24	52,0	54
	M2	52,5	30	42,9	
	M3	70	24	65,7	
CF (UFC/100ml)	M1	920x10 ²	240 x10 ²	73,9	70
	M2	1600 x10 ⁴	430 x10 ⁴	73,1	
	M3	5,6 x10 ⁶	2,0 x10 ⁶	64,3	

La eficiencia de remoción de DBO (70%) en el FAFAs, muestra comportamientos superiores a los reportados por otros autores como Villegas, Guerrero y otros (2006), los cuales utilizando guaduas de 15 cm de longitud como lecho filtrante en FAFAs para el tratamiento de AR domésticas provenientes de un TS, obtuvieron eficiencias que variaron de entre 40 y 55% para DBO₅, igual que con lechos en grava de 6-10 cm de diámetro; en las unidades con fragmentos de llanta de 20 cm de longitud, la eficiencia media de remoción no superó el 50% para ninguno de los parámetros evaluados. El lecho con medias lunas en guadua también resulta en ventaja con respecto a otros medios de soporte tales como vasos de polietileno modificados en su forma original con 4.5 cm de diámetro inferior, 6.5 cm de diámetro inferior y de altura 9 cm que son usados por Parra (2006) en FAFAs para el tratamiento de AR provenientes de procesos productivos (vinazas del proceso de fermentación-destilación) los cuales después de lograr un comportamiento estable alcanzan eficiencias de remoción máximas de 35,42% en términos de DBO. En comparación con otros materiales no convencionales la eficiencia de remoción de DBO del lecho con media lunas se encuentra en desventaja, materiales como trozos de botellas plásticas, concha marina, material sintético y trozos de manguera ofrecen eficiencias superiores de remoción en términos de DBO de 83.4%, 87.8%, 80.0% y 91% respectivamente.

La remoción de SS (54%) en el FAFAs es inferior en comparación con medios como cascara de coco, roseta plástica, trozos de polietileno, botellas plásticas y lecho mixto (residuos de ladrillo y cascara de coco) los cuales presentan remociones de 90%, 81%, 99% ,74.7% y 75% respectivamente, pero es similar a las remociones obtenidas por otros autores en ensayos utilizando lechos en guadua, las cuales fueron para el tratamiento de AR del café de 75% y del 73% en el tratamiento de AR domesticas con guadas de 10 cm de longitud.

La remoción de CF obtenida en el FAFAs del 70% es baja, siendo esta unidad ineficiente en la remoción de CF, lo que concuerda con (Valencia y otros, 1997) el cual menciona que en el FAFAs se esperan remociones de una unidad logarítmica. Según (Villegas, Guerrero y otros, 2006) con la utilización del conjunto TS-FAFAs-HAFSS se reportan eficiencias de remoción de 2 unidades logarítmicas. Si se requiere un aumento en la eficacia de remoción del sistema es necesario mejorar el pos tratamiento colocando unidades complementarias.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La guadua cortada en trozos se puede utilizar como lecho filtrante en FAFAs para el tratamiento de AR domésticas y su comportamiento es similar al de otros lechos (gravas, arenas, materiales plásticos, etc.). El contenido de humedad de los trozos debe ser de aproximadamente 16% para evitar deformaciones o presencia de hongos. Su peso específico es bajo ($0,8 \text{ g/cm}^3$) comparado con el de las gravas y las arenas ($2,4$ y $2,6 \text{ g/cm}^3$), lo que hace viable reemplazar los medios tradicionales (gravas y arenas) por trozos de guadua.

Las porosidades obtenidas en los medios filtrantes evaluados (anillos y semicírculos) no presentaron diferencias significativas (83,10% y 77,95% respectivamente), por lo que resulta indiferente el uso de anillos o semicírculos como medio filtrante. Sin embargo, es más apropiado el uso de semicírculos por cuanto su área específica ($73,48 \text{ m}^2/\text{m}^3$) es mayor que la obtenida por los anillos ($55,84 \text{ m}^2/\text{m}^3$).

Para lechos filtrantes en FAFAs se recomienda la forma geométrica semicírculos y longitudes entre 4 y 10 cm, sin embargo se puede utilizar otras formas geométricas y longitudes siempre y cuando no se afecten significativamente los valores de porosidad y área específica obtenidos en este estudio.

Las eficiencias de remoción obtenidas con el FAFAs con lecho semicírculos de guadua de 1cm de longitud $\text{DBO} = 70\%$ puede considerarse alta, similar a lo reportado por la literatura, $\text{SS} = 54\%$ como aceptable y $\text{CF} = 70\%$ considerado bajo.

La construcción de FAFAs con lecho filtrante en trozos de guadua es recomendable para zonas rurales donde este material sea de fácil adquisición, además estos filtros son de bajo costo, fácil operación y mantenimiento.

Se recomienda la continuación del estudio de trozos de guadua como lecho filtrante en FAFAs con el fin de encontrar formas geométricas sencillas y de fácil elaboración, para facilitar la conformación del lecho conservando la eficiencia del filtro.

Para estudios de remociones de contaminantes en FAFAs con lecho filtrante guadua se recomienda la realización en prototipos de laboratorio o en campo controlando el buen funcionamiento del tratamiento preliminar y procurando mantener un flujo constante.

BIBLIOGRAFIA

BATERO C, Yolima C; CRUZ O, Erika M. Evaluación de Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFAs) con Medio de Soporte en Guadua para la Remoción de Materia Orgánica de Agua Residual Sintética. 82 p. Trabajo de grado (Tecnólogo en química). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Pereira, 2007.

CARDENAS CALVICHE, Gloria L; RAMOS RAMOS, Robert M. Evaluación de la Eficiencia de Reactores de Lecho Fijo Utilizando Aguas Mielles Residuales de Trapiches Artesanales. En: Ciencia e Ingeniería Neogranadina. p. 25-38, Vol 19-1, ISSN 0124-8170. Bogotá, 2009.

CASTAÑO ROJAS, Juan M. Influencia del Medio de Soporte en el Comportamiento de Filtros Anaeróbicos de Flujo Ascendente Bajo diferentes Tiempos de Retención Hidráulica. 70 p. Trabajo de grado (Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Cali, 2003.

CAMARGO, S.A.R; Nour, E.A.A. Bamboo as an Anaerobic Medium: Effect of Filter Column Height. Water Science and Technology. Vol 44, No 4. p. 63-70. 2001. En: Diseños Definitivos de los Sistemas de Recolección, Transporte, Tratamiento y Disposición Final de Aguas Residuales en los Centros Nucleados y Unidades Habitacionales Dispersas en la Cuenca Media del Rio Otún Mediante Mecanismos de Sensibilización, Participación y Apropiación Comunitaria.8p.Convenio Universidad Tecnológica de Pereira, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira y Corporación Autónoma Regional de Risaralda: Memoria técnica de diseño. Pereira, 2002.

CASTAÑO ROJAS, Mauricio; PAREDES CUERVO, Diego. Uso de Aros de Guadua en Filtro Anaerobios para el Tratamiento de Aguas Residuales: Seminario-Taller. En: AVANCES EN LA INVESTIGACION SOBRE GUADUA (Pereira, Mayo 16 - 17 y 18 de 2002). Disponible en línea:
http://www.sigguadua.gov.co/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=29&Itemid=37 [citado el 25 de Enero de 2011]

CASTAÑO ROJAS, Mauricio; PAREDES CUERVO, Diego. Criterios sobre Diseño, Operación y Mantenimiento de Filtros Anaeróbicos de Flujo Ascendente. Revista Scientia et Technica. Junio de 2002

CAMPOS, J.R. Proyecto y Operación de Filtros Anaerobios para el tratamiento de fluentes líquidos industriales. En: Taller Regional y Conferencia sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales en América Latina. Ciudad de México, 1990.

CORPONARIÑO; FEDEPANELA; INSTITUTO DEPARTAMENTAL DE SALUD; COOPANELA; ALCALDIA MUNICIPAL DE LINARES, ANCUYA Y SANDONÁ. Sistema de Tratamiento para Aguas Residuales Industriales de Trapiches

Paneleros. Un aporte al Conocimiento y el Desarrollo Sostenible. Convenio de Producción más Limpia con el Sector Panelero.

IGWE, J. C; ABIA, A.A. Bioseparation Process for Removing Heavy Metals. 2006. En: HIGUERA C, Oscar F; ARROYAVE L, Juan F; FLORES G, Luis C. Diseño de un Filtro para Reducir el Índice de Contaminación por Cromo Generado en las Industrias del Curtido de Cueros. Dyna, Revista de la facultad de minas – Universidad Nacional de Colombia. Año 76, Nro. 160, p.107-119. Medellín, ISSN 0012-7353. Diciembre de 2009

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Métodos de Ensayo para Determinar las Propiedades Físicas y Mecánicas de la Guadua Angustifolia Kunth. 21 p. (NTC 5525), ICONTEC. Bogotá, 2007.

KAMIYAMA, H. Revisao a Aperfeicoamento do Sistema Tanque Séptico - Filtro Anaeróbico para Tratamento de Esgoto Sanitario. En: Diseños Definitivos de los Sistemas de Recolección, Transporte, Tratamiento y Disposición Final de Aguas Residuales en los Centros Nucleados y Unidades Habitacionales Dispersas en la Cuenca Media del Rio Otún Mediante Mecanismos de Sensibilización, Participación y Apropriación Comunitario.p 115. Convenio Universidad Tecnológica de Pereira, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira y Corporación Autónoma Regional de Risaralda: Memoria técnica de diseño. Pereira, Julio de 2002.

MORENO M, Luis E; TRUJILLO, Efraín E; OSORIO, Lina R. Estudio de las Características Físicas de Haces de Fibra de Guadua Angustifolia. Scientia et Technica Año XIII, No 34. Universidad Tecnológica de Pereira. UTP. ISSN 0122-1701. , Mayo de 2007. Disponible en línea:
<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=84934104>
[Citado el 25 de Julio de 2011]

MENDEZ HERNANDEZ, Cesar H; RODRIGUEZ MONROY, Ingrith D. Análisis Comparativo entre Medios de Soporte Fijo de Plástico, Grava y Guadua, en Reactores Anaerobios de Flujo a Pistón para el Tratamiento de Agua Residual Doméstica. 132 p. Trabajo de grado (Ingeniería Sanitaria y Ambiental). Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá, 2004

METCALF Y EDDY. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. p1460. Interamericana Editores, S.A. 3 edición. McGraw- Hills. México, 1996.

MEJIA FERNANDEZ, Fernando; SALAZAR TRUJILLO, Jorge. Propiedades Físicas y Mecánicas de Especies Maderables en Caldas para su Uso en la Construcción, Incluyendo la Guadua. 43 p. Universidad Nacional de Manizales. Caldas, 1985.

NOYOLA, A; MORGAN, F. Tratamiento Anaeróbico de Aguas Residuales - Proceso de Digestión Anaeróbica. En: Foro Internacional, Comparación y Complementación de Tecnologías en Aguas Residuales Domésticas para Comunidades. Cali, 1997.

OROZCO JARAMILLO, Álvaro. Bioingeniería de Aguas Residuales: Teoría y Diseño. 384 p. Bogotá, 2005.

OROZCO RESTREPO, Paula A. Arranque y Puesta en Marcha de un Reactor Metanogénico tipo UAF para el Tratamiento de las Aguas Residuales del Lavado del Café. 90 p. Trabajo de grado (Ingeniería química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Manizales, 2003.

OSORIO A., Patricia. El Filtro Anaeróbico con Guadua: Una alternativa para el Tratamiento de las Aguas Mieles. En: ARBELAEZ A, Anacilia; RODRIGUEZ, Solmery; HURTADO, Andrés. Investigaciones sobre Guadua Angustifolia Kunth Realizadas en Colombia. (1950-2000). 78 p. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Departamento de Bibliotecas. Medellín, 2001. Disponible en línea:

<http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/Investigaciones%20Guadua%20en%20Colombia%20de%201950%20a%202000%20-%20Arce%20et%20al.pdf>

[Citado el 15 de Enero de 2011]

PARRA RODRIGUEZ, Lina M; Operación de un Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFAs) Hasta alcanzar el Estado Estable. 33 p. Trabajo de grado (Ingeniería química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Manizales, 2006.

PINTO, J.D; CHERNICHARO, C. A. Escória de Altoforno. Una Nova Alternativa de Meio Suporte para Filtros Anaeróbicos. En: Anais do III simposio Italo – Brasileiro de Engenharia Sanitaria e ambiental. Brasil, 1996.

ROMERO, J.A. Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño. Colombia; En: Osorio Trujillo, Andrés; Vásquez Botero, Jenny. Evaluación de la Remoción de la Materia Orgánica en Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente Utilizando Aguas Residuales Sintéticas. 46 p. Trabajo de grado (Tecnología Química). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Pereira, 2007.

ROS MORENO, Antonio. El agua, Tratamientos. Capítulo 6. Procesos biológicos. Anaerobios. Cursos en línea. Fecha de publicación 16 -10-11.

Disponible en línea:

<http://www.mailxmail.com/curso-agua-tratamientos-2-2/procesos-biologicos-anaerobios-2-2>

[Citado el 6 de Noviembre de 2011]

TORRES, Patricia; RODRÍGUEZ, Yenny A; URIBE, Iris E. Tratamiento de Aguas Residuales del Proceso de Extracción de Yuca en el Filtro Anaerobio: Influencia del Medio de Soporte. 176 p. Scientia et Technica Año IX, No 23, UTP. ISSN 0122-1701. Disponible en línea:

<http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/14285175-80.pdf>
[citado el 3 de Febrero de 2011]

Universidad Tecnológica de Pereira, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira y Corporación Autónoma Regional de Risaralda. “Diseños Definitivos de los Sistemas de Recolección, Transporte, Tratamiento y Disposición Final de Aguas Residuales en los Centros Nucleados y Unidades Habitacionales Dispersas en la Cuenca Media del Río Otún Mediante Mecanismos de Sensibilización, Participación y Apropiación Comunitaria”. Memoria técnica de diseño. Pereira, Julio de 2002.

VELEZ, Simón. Actualidad y Futuro de la Arquitectura de Bambú en Colombia. Trabajo de grado (Doctorado en construcción – restauración y rehabilitación arquitectónica). Universidad politécnica de Cataluña Escuela técnica superior de arquitectura de Barcelona. Departamento de construcciones arquitectónicas. Barcelona, 2006. Disponible en línea:

http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6130/01_ESD_Portada_sumari.pdf?sequence=1

[Citado el 5 de Mayo de 2011]

VILLEGAS GOMEZ, Juan D; GUERRERO ERAZO, Jhonni; CASTAÑO ROJAS, Juan M; PAREDES CUERVO, Diego. _Septic Tank (ST)-Up Flow Anaerobic Filter (UFAF)-Subsurface Flow Constructed Wetland (SSF-CW) systems aimed at wastewater treatment in small localities in Colombia .En: Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia. No.3; v 29. Maracaibo. ISSN 0254-0770. Diciembre de 2006.

VALENCIA GRANADA, Eduardo y otros. Generalidades Sobre Saneamiento Rural. 153 p. Documento conceptual (Ingeniería Agrícola).Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Neiva, 1997.

WEGELIN, M.; SCHERTENLEIB, R. and BOLLER, M. Particle Removal by Horizontal Flow Roughing Filtration. En: WEGELIN, Martin.; GALVIS, Gerardo y LATORRE, Jorge. La Filtración Gruesa en el Tratamiento de Aguas de Fuentes Superficiales. Ediciones CINARA Y SKAT. p. (XIII - 4). Cali, 1998

WEGELIN, Martin; GALVIS, Gerardo y LATORRE, Jorge. La Filtración Gruesa en el Tratamiento de Aguas de Fuentes Superficiales. Ediciones CINARA Y SKAT.p (XVII–2). (Instituto Federal Suizo en Ciencias del Ambiente y Tecnología EAWAG ; Departamento de Agua y Saneamiento para Países en Desarrollo SANDEC; Universidad del Valle CINARA, Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable , Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico) ISBN 3-908001-72-2. Colombia, 1998.

YOUNG, James,c. Factors Affecting the Desing and Performance of Uplow Anaerobic Filters. En: Water Science and Tecnology. Vol 24, No 8, p 133 – 155. 1991

ZAMBRANO, Diego; IZASA, J.D; RODRIGUEZ, N. y LÓPEZ, U. Tratamiento de Aguas Residuales del Lavado del Café. Boletín Técnico No. 20 CENICAFE. Chinchiná, Colombia. 1999. En: Diseños Definitivos de los Sistemas de Recolección, Transporte, Tratamiento y Disposición Final de Aguas Residuales en los Centros Nucleados y Unidades Habitacionales Dispersas en la Cuenca Media del Río Otún Mediante Mecanismos de Sensibilización, Participación y Apropiación Comunitaria. Pereira, 2002. 8 p. Convenio Universidad Tecnológica de Pereira, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira y Corporación Autónoma Regional de Risaralda: Memoria técnica de diseño. Pereira, Julio de 2002

ANEXOS

Anexo 1. Mantenimiento del sistema (extracción, lavado y colocación del material filtrante)



Remoción de sólidos en la cajilla Sedimentadora



Lavado de rejillas



Extracción del medio filtrante de forma manual



Limpieza de flauta de distribución

Anexo 2. Análisis Fisicoquímico Y Microbiológico del Af y Ef



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE AGUAS

Fecha: 8 de agosto de 2012

Solicitante: JORGE ELIECER SILVA Nit. 7.730.186

Tipo de muestra: AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.

Procedencia: Planta de tratamiento Universidad Surcolombiana

ANÁLISIS FISIQUÍMICO

PARAMETRO	UNIDADES	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆
DBO ₅	mg/l O ₂	420	79.8	669	231	537	198
Sólidos Suspendidos	mg/l	50	24	52.5	30	70	24

M₁: Entrada del filtro
M₂: Salida del filtro

M₃: Entrada del filtro
M₄: Salida del filtro

M₅: Entrada del filtro
M₆: Salida del filtro

OBSERVACIONES:

- Los resultados corresponden estrictamente a muestras puestas en el laboratorio.

JAIME ROJAS PUENTES
Coordinador Laboratorio de Aguas

LABORATORIO DE AGUAS - FACULTAD DE INGENIERIA - U. SURCOLOMBIANA
e-mail: laboratoriodeaguas@usco.edu.co - Tel. 8754753 ext. 284 y Fax. 8758775



DIAGNOSTICAMOS SAS

**LABORATORIO AMBIENTAL
REPORTE DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO
DE AGUA RESIDUAL**

N. DE RADICACION: 101	FECHA EMISION: 18 DE FEBRERO DE 2012
FECHA DE RECEPCION: 16 DE FEBRERO DE 2012	FECHA DE LA TOMA: 16 DE FEBRERO DE 2012
NOMBRE O ENTIDAD SOLICITANTE: JORGE ELICER SILVA	MUNICIPIO: NEIVA - HUILA
DIRECCION DEL SOLICITANTE: ARGENTINA HUILA	TOMADA POR: CLIENTE
PUNTO DE TOMA: ENTRADA	FUENTE: RESIDUALES DOMESTICAS

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO
AGUAS RESIDUALES**

PARAMETRO	METODO	RESULTADO
NMP Coliformes totales	SUSTRATO DEFINIDO	920 X 10 ² UFC/100 ml
NMP Coliformes fecales	SUSTRATO DEFINIDO	920 X 10 ² UFC/100 ml

Cuando se utiliza la técnica de sustrato definido y el resultado es < 1 microorganismo/100 cm³ o cuando se utiliza la técnica presencia - ausencia y el resultado es ausencia en 100 cm³ se le asigna el valor de 0 "cero". Si es >1 o hay presencia el valor es >0.

ESTE RESULTADO ES VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA

Analista Microbiológico

Director del Laboratorio

CALLE 7 No. 10-46 Neiva
TELEFONO: 8719699 - 8723922



DIAGNOSTICAMOS SAS

**LABORATORIO AMBIENTAL
REPORTE DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO
DE AGUA RESIDUAL**

N. DE RADICACION: 102	FECHA EMISION: 18 DE FEBRERO DE 2012
FECHA DE RECEPCION: 16 DE FEBRERO DE 2012	FECHA DE LA TOMA: 16 DE FEBRERO DE 2012
NOMBRE O ENTIDAD SOLICITANTE: JORGE ELICER SILVA	MUNICIPIO: NEIVA - HUILA
DIRECCION DEL SOLICITANTE: ARGENTINA HUILA	TOMADA POR: CLIENTE
PUNTO DE TOMA: SALIDA	FUENTE: RESIDUALES DOMESTICAS

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO
AGUAS RESIDUALES**

PARAMETRO	METODO	RESULTADO
NMP Coliformes totales	SUSTRATO DEFINIDO	240 X 10 ² UFC/100 ml
NMP Coliformes fecales	SUSTRATO DEFINIDO	240 X 10 ² UFC/100 ml

Quando se utiliza la técnica de sustrato definido y el resultado es < 1 microorganismo/100 cm³ o cuando se utiliza la técnica presencia - ausencia y el resultado es ausencia en 100 cm³ se le asigna el valor de 0 "cero". Si es >1 o hay presencia el valor es >0.

ESTE RESULTADO ES VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA

Analista Microbiológico

Director del Laboratorio

CALLE 7 No. 10-46 Neiva
TELEFONO: 8719699 - 8723922



DIAGNOSTICAMOS SAS

**LABORATORIO AMBIENTAL
REPORTE DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO
DE AGUA RESIDUAL**

N. DE RADICACION: 126	FECHA EMISION: 25 DE FEBRERO DE 2012
FECHA DE RECEPCION: 22 DE FEBRERO DE 2012	FECHA DE LA TOMA: 22 DE FEBRERO DE 2012
NOMBRE O ENTIDAD SOLICITANTE: JORGE ELICER SILVA	MUNICIPIO: NEIVA – HUILA Teléfono: 8765265
DIRECCION DEL SOLICITANTE: ARGENTINA HUILA	TOMADA POR: CLIENTE
PUNTO DE TOMA: ENTRADA	FUENTE: RESIDUALES DOMESTICAS

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO
AGUAS RESIDUALES**

PARAMETRO	METODO	RESULTADO
NMP Coliformes totales	SUSTRATO DEFINIDO	1600 X 10 ⁴ UFC/100 ml
NMP Coliformes fecales	SUSTRATO DEFINIDO	74 X 10 ⁴ UFC/100 ml

Quando se utiliza la técnica de sustrato definido y el resultado es < 1 microorganismo/100 cm³ o cuando se utiliza la técnica presencia – ausencia y el resultado es ausencia en 100 cm³ se le asigna el valor de 0 "cero". Si es >1 o hay presencia el valor es >0.

ESTE RESULTADO ES VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA



Analista Microbiológico



Director del Laboratorio

CALLE 7 No. 10-46 Neiva
TELEFONO: 8719699 - 8723922



DIAGNOSTICAMOS SAS

**LABORATORIO AMBIENTAL
REPORTE DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO
DE AGUA RESIDUAL**

N. DE RADICACION: 125	FECHA EMISION: 25 DE FEBRERO DE 2012
FECHA DE RECEPCION: 22 DE FEBRERO DE 2012	FECHA DE LA TOMA: 22 DE FEBRERO DE 2012
NOMBRE O ENTIDAD SOLICITANTE: JORGE ELICER SILVA	MUNICIPIO: NEIVA - HUILA
DIRECCION DEL SOLICITANTE: ARGENTINA HUILA	TOMADA POR: CLIENTE
PUNTO DE TOMA: SALIDA	FUENTE: RESIDUALES DOMESTICAS

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO
AGUAS RESIDUALES**

PARAMETRO	METODO	RESULTADO
NMP Coliformes totales	SUSTRATO DEFINIDO	430 X 10 ⁴ UFC/100 ml
NMP Coliformes fecales	SUSTRATO DEFINIDO	95 X 10 ⁴ UFC/100 ml

Quando se utiliza la técnica de sustrato definido y el resultado es < 1 microorganismo/100 cm³ o cuando se utiliza la técnica presencia – ausencia y el resultado es ausencia en 100 cm³ se le asigna el valor de 0 "cero". Si es >1 o hay presencia el valor es >0.

ESTE RESULTADO ES VALIDO UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA



Analista Microbiológico



Director del Laboratorio

CALLE 7 No. 10-46 Neiva
TELEFONO: 8719699 - 8723922

	LABORATORIO AMBIENTAL		
	ER-FR-01	Vigente desde 2012-07-03	Versión 00 Página 1 de 1
	INFORME DE RESULTADOS		
DIAGNOSTICAMOS SAS			

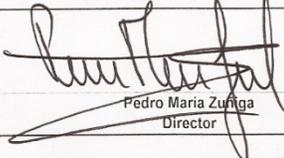
REPORTE DE RESULTADOS N° 464
 FECHA DE EMISIÓN 2012-03-05

DATOS DEL LABORATORIO		DATOS DEL CLIENTE	
NOMBRE	DIAGNOSTICAMOS S.A.S	NOMBRE	JORGE ELIECER SILVA
CONTACTO	OLGA PATRICIA MANCHOLA	CONTACTO	JORGE ELIECER SILVA
DIRECCION	CALLE 7 No 10 - 46	DIRECCION	KARRERA 17 No 40 - 15
TELEFONO	8723922-8719699 - 3204124326	TELEFONO	8765265/3134708760

INFORMACION DE LA MUESTRA			
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	AGUA DOMESTICA
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE	RADICADO INTERNO	464
PLAN DE MUESTREO	N/A	FECHA DE TOMA	2012-03-05
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	N/A	FECHA DE RECEPCION	2012-03-05
FUENTE DE MUESTREO	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	FECHA DE ANALISIS	2012-03-05
LUGAR DE MUESTREO	GRANJA USCO	PUNTO DE MUESTREO	ENTRADA FILTRO ANAEROBIO
OTROS ¿Cuáles?			

REPORTE DE RESULTADOS					
PARAMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
NMP Coliformes Fecales	Sustrato Definido	UFC/100 ml	5,6 x 10 ⁶	N/A	—
NMP Coliformes Totales	Sustrato Definido	UFC/100 ml	0,82 x 10 ⁶	N/A	—

OBSERVACION: Cuando se utiliza la técnica de sustrato definido y el resultado es < 1 microorganismo/100 cm³ o cuando se utiliza la técnica presencia - ausencia y el resultado es ausencia en 100 cm³ se le asigna el valor de 0 "cero". Si es >1 o hay presencia el valor es >0.

ANALISIS REALIZADO POR	ANALISIS SUPERVISADO POR
 Rosario del Pilar Ortiz Líder Técnico Microbiológico	 Pedro Maria Zuriga Director

NOTA: El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es valido exclusivamente para los ensayos presentados.

	LABORATORIO AMBIENTAL		
	ER-FR-01	Vigente desde 2012-07-03	Versión 00 Página 1 de 1
DIAGNOSTICAMOS SAS		INFORME DE RESULTADOS	

REPORTE DE RESULTADOS N°

465

FECHA DE EMISIÓN

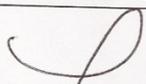
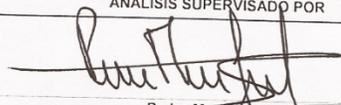
2012-03-05

DATOS DEL LABORATORIO		DATOS DEL CLIENTE	
NOMBRE	DIAGNOSTICAMOS S.A.S	NOMBRE	JORGE ELIECER SILVA
CONTACTO	OLGA PATRICIA MANCHOLA	CONTACTO	JORGE ELIECER SILVA
DIRECCION	CALLE 7 No 10 - 46	DIRECCION	KARRERA 17 No 40 - 15
TELEFONO	8723922-8719699 - 3204124326	TELEFONO	8765265/3134708760

INFORMACION DE LA MUESTRA			
MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
MUESTRA TOMADA POR	CLIENTE	RADICADO INTERNO	465
PLAN DE MUESTREO	N/A	FECHA DE TOMA	2012-03-05
PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	N/A	FECHA DE RECEPCION	2012-03-05
FUENTE DE MUESTREO	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	FECHA DE ANALISIS	2012-03-05
LUGAR DE MUESTREO	GRANJA USCO	PUNTO DE MUESTREO	SALIDA FILTRO ANAEROBIO
OTROS ¿Cuáles?			

REPORTE DE RESULTADOS					
PARAMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
NMP Coliformes Fecales	Sustrato Definido	UFC/100 ml	2.0 x 10 ⁶	N/A	—
NMP Coliformes Totales	Sustrato Definido	UFC/100 ml	0.24 x 10 ⁶	N/A	—

OBSERVACION: Cuando se utiliza la técnica de sustrato definido y el resultado es < 1 microorganismo/100 cm³ o cuando se utiliza la técnica presencia - ausencia y el resultado es ausencia en 100 cm³ se le asigna el valor de 0 "cero". Si es >1 o hay presencia el valor es >0.

ANALISIS REALIZADO POR	ANALISIS SUPERVISADO POR
	
Rosario del Pilar Ortiz Lider Técnico Microbiológico	Pedro María Zuriga Director

NOTA: El presente reporte no se puede reproducir sin autorización del laboratorio. Este resultado es valido exclusivamente para los ensayos presentados.