

ADECUACIÓN Y MONTAJE DE UNA UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN A ESCALA
PILOTO DEL GAS GENERADO EN LOS REACTORES UASB DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RIO FRIO

WILMER YESID PRIETO HERNANDEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA
BUCARAMANGA

2018

ADECUACIÓN Y MONTAJE DE UNA UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN A ESCALA
PILOTO DEL GAS GENERADO EN LOS REACTORES UASB DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RIO FRIO

WILMER YESID PRIETO HERNANDEZ

Trabajo de grado en modalidad práctica empresarial presentado como requisito
para optar el título de Ingeniero Químico

Director:

FREDY AUGUSTO AVELLANEDA VARGAS

Doctorado en ingeniería química, ambiental y procesos

Tutor:

MARCELA JOANNA ROMERO BLANCO

Bacterióloga

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA
BUCARAMANGA

2018

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, doy gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradecer a mi familia que siempre ha procurado mi bienestar y que, si no fuese por el esfuerzo realizado por ellos, mis estudios no hubiesen sido posibles; a mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

A mis abuelos, tíos y primos por apoyarme y animarme a lograr este sueño que se está haciendo realidad.

Al doctor Elio Omar Hernández, por ser mi ejemplo a seguir, por enseñarme a continuar aprendiendo todos los días sin importar las circunstancias y el tiempo.

Agradecer al director de tesis el doctor Fredy Avellaneda, por su paciencia, tiempo y dedicación que tuvo para que este proyecto saliera de manera exitosa.

Al señor Néstor y su esposa María Teresa, quienes depositaron su confianza en mí y no dudaron en apoyarme en la consecución de esta tesis.

Al personal de la empresa EMPAS, que me abrieron sus puertas y tuvieron la paciencia y el tiempo para aportarme sus conocimientos y enseñanzas para llevar a cabo este proyecto, Dra. Blanca Luz, Ing. Ruth Ardila, Ing. Sergio Paredes, Ing. Mayra Serrano y mi tutora de practica Marcela Romero.

Gracias a mis compañeros y amigos de la universidad por darle a la carrera un valor más humano, que me ayudó a que gran parte de ella fuera más que un buen recuerdo: a Ingrith Mancilla, a Yasmin Quiroga, a Alejandra Rojas, a Judith Martínez, a Darío Ortiz y a Pablo Neira por darme los consejos para un camino no tan complicado.

A mis compañeros de la escuela de artes marciales OWERR JAGCF quienes también me incentivaron a continuar con empeño en mi proyecto. Dr. Luis Eduardo, Dra. Carolina, Sra. Martha Lucia, Sr. Julio Cesar, Sra. Luz Stella y a quienes son como mis hermanos Omar David y Julito.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	13
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
2. MARCO TEORICO	20
2.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	20
2.2 TIPOS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	20
2.2.1. Por criterios de selección	20
2.2.2 Por tipo de proceso	21
2.2.2.1. Plantas de tratamiento:	21
2.2.3 Por el grado de tratamiento:.....	22
2.3 SISTEMA PTAR RIO FRIO.	23
2.4 GENERACIÓN DE H_2S (ac) EN LA PRODUCCIÓN DE METANO	24
2.5 GENERACIÓN DE SULFURO DE HIDROGENO (H_2S (g))	24
2.6. UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN	26
2.6.1. Medio para biofiltro.	26
2.6.1.1. Compostaje.....	27
2.6.1.2. Fases del Compostaje	28
3. METODOLOGIA	30
3.1 ANALISIS FISICO-QUIMICOS AL COMPOSTAJE	30
3.1.1. Monitoreo durante el proceso de compostaje.	31
3.2. MONTAJE DE LA UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN	32
4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS	33
4.1 ANALISIS DE PREPARACIÓN DEL COMPOSTAJE	33
4.2 ANALISIS FISICO-QUIMICOS AL COMPOSTAJE	35

4.2.1. Seguimiento de Temperatura.....	35
4.2.2. Seguimiento de pH.	36
4.2.3. Seguimiento de Humedad.....	38
4.2.4. Seguimiento de Porosidad.	39
4.3 ANALISIS DEL MONTAJE DE LA UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN	40
5. CONCLUSIONES	45
6.RECOMENDACIONES.....	46
BIBLIOGRAFIA	47
ANEXOS.....	50

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Seguimiento de Temperatura	36
Gráfica 2. Seguimiento pH.....	37
Gráfica 3. Seguimiento Humedad	38
Gráfica 4. Seguimiento de Porosidad (plana)	39
Gráfica 5. Seguimiento de Porosidad (Arrumes).....	40

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1.Diseño de las pilas de Compostaje.....	34
Ilustración 2.Biofiltro.....	44

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. PTAR Rio Frio	23
Imagen 2. Ubicación de sulfuro de Hidrogeno dentro del reactor UASB	25
Imagen 3 Temperatura, Oxigeno y pH en el proceso de compostaje	29

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.Desventajas y ventajas sistema anaerobio	21
Tabla 2. Desventajas y ventajas sistema aerobio	22
Tabla 3. Planteamiento para el diseño de las pilas de compostaje.....	30
Tabla 4. Dimensiones Pilas de compostaje	34
Tabla 5. Listado de materiales	35
Tabla 6. Descripción tipo modulo del biofiltro.....	43

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. SISTEMA PTAR RIO FRIO.....	50
ANEXO B. PUESTA EN MARCHA DE LAS PILAS DE COMPOSTAJE.....	55
ANEXO C. PRUEBAS DE LABORATORIO.....	61
ANEXO D. ADECUACIÓN DE AREA DEL MONTAJE DE LA UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN.....	67
ANEXO E. GRAFICAS DE SEGUIMIENTO AL PROCESO DE COMPOSTAJE ...	71
ANEXO F. PLANOS DE LA UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN A ESCALA PILOTO..	76

GLOSARIO

ÁCIDO SULFHÍDRICO (SULFURO DE HIDRÓGENO): Gas originado de materia orgánica y como producto de desechos humanos y animales. Bajo condiciones normales el sulfuro de hidrógeno es incoloro e inflamable.

AMBIENTE CORROSIVO: Ambiente rodeado de sustancias que tienen la capacidad de degradar las superficies al hacer contacto con ellas.

BIOFILTRACIÓN: Proceso biotecnológico aplicado para el tratamiento y control de malos olores.

BIOFILTRO: Estructura que obliga al gas contaminado a atravesar una capa de material húmedo, en la cual se desarrolla una película de microorganismos sobre la superficie y los microporos donde el contaminante es transformado.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO): Cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar por medios biológicos (microorganismos) la materia orgánica biodegradable de una muestra de agua residual hasta los productos finales: bióxido de carbono y agua.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): Cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar el total de la materia orgánica presente en una muestra de agua residual hasta bióxido de carbono y agua como productos finales.

DIGESTIÓN ANAEROBIA: descomposición biológica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno por acción de un amplio rango de microorganismos anaerobio.

METANOGENESIS: etapa del proceso anaerobio en la cual un sistema de microorganismos degrada la materia orgánica generando gas metano y gas carbónico.

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales.

RESUMEN

TITULO: ADECUACIÓN Y MONTAJE DE UNA UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN A ESCALA PILOTO DEL GAS GENERADO EN LOS REACTORES UASB DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES RIO FRIO¹

AUTOR: WILMER YESID PRIETO HERNANDEZ**

PALABRAS CLAVES: Biofiltración, sulfuro de hidrogeno, Postratamiento de aguas residuales, Biofiltro

DESCRIPCIÓN:

Existen gran cantidad de industrias que enfocan sus procesos en el mejoramiento de la calidad de vida. Como consecuencia a los diferentes procesos allí realizados se originan algunos subproductos como ocurre en las plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo biológico. Precisamente en la PTAR Rio Frio ubicada en el Kilómetro 4 del Anillo vial que comunica los municipios de Girón y Floridablanca, en el departamento de Santander, donde se realiza el tratamiento de aguas residuales de Floridablanca y zona sur de Bucaramanga por medio de un sistema anaerobio, se ha venido generando un alto grado de olores ofensivos (sulfuro de hidrogeno (H_2S)), causando efectos negativos a la salud humana y al medio ambiente.

Por lo tanto, el objeto de este trabajo modalidad práctica empresarial es ayudar a minimizar estos olores (H_2S), para lo cual se realizará la adecuación y el montaje de una unidad de biofiltración a escala piloto, por medio de la cual se busca establecer la manera más eficiente de colaborar con la reducción de dichas emisiones (H_2S). Una vez terminado este montaje, será la base que se utilizará en la próxima fase para llevar a cabo la puesta en marcha de la unidad de biofiltración a escala piloto cuyos resultados del modelo determinarán los porcentajes de remoción de contaminantes en el aire y basados en estos porcentajes se llevará a cabo el montaje e implementación de una unidad de biofiltración a escala real.

¹ Proyecto de grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Química, Director: Fredy Augusto Avellaneda Vargas, Ingeniero Químico.

ABSTRACT

PROJECT TITLE: ADAPTATION AND ASSEMBLY OF A PILOT SCALE BIOFILTRATION UNIT OF GAS GENERATED IN UASB'S REACTOR AT "RÍO FRÍO" WASTEWATER TREATMENT PLANT.*

AUTHOR: WILMER YESID PRIETO HERNÁNDEZ **

KEY WORDS: Biofiltration, hydrogen sulphide, wastewater post-treatment, biofilter.

DESCRIPTION

There are many industries that focus their processes on improving life quality. Some by-products originates as a consequence of different processes carried out there that occurs in biological wastewater treatment plants such as Río Frío, located in Kilometre 4 near a road ring which connect Girón and Floridablanca municipalities in Santander, Colombia. In Floridablanca and Bucaramanga's south zone the wastewater treatment works with an anaerobic system. It has been generating lots of obnoxious odors (hydrogen sulphide (H_2S)), which causes negative effects on human health and environment.

Therefore, this business practice mode project tries to solve the obnoxious odors problem, for that reason is necessary to make an adaptation and assembly of a pilot scale biofiltration unit in order to minimize H_2S emissions. Once the assembly has been finished, it will be used as the basis for initiate the pilot-scale biofiltration unit, their results will determine pollutants removals percentages in the air and based on it will be carried out the assembly and implementation of a real scale biofiltration unit.

* Grade work

** Faculty of Physucal-chemical engineerings, Chemical Engineering school, directress: Fredy Augusto Avellaneda Vargas, Chemical Engineer.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los grandes problemas es la gran contaminación del agua, lo cual se debe al crecimiento de población generando el incremento de aguas residuales. Con el fin de controlar las descargas de estas aguas a las fuentes hídricas de manera directa, se han venido construyendo e implementando las plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo biológico.

El uso de esta tecnología crea grandes retos para su aplicación, uno de los cuales es la generación de subproductos como lo son los olores ofensivos (H_2S) en el perímetro donde esta se ubica, uno de los compuestos más molestos al sentido del olfato por su fácil percepción a bajas concentraciones, contaminante gaseoso, tóxico e inflamable; resultado del metabolismo biológico anaerobio. Es por ello que representa ser un compuesto con gran importancia de tratamiento.

También se generan grandes cantidades de H_2S en actividades industriales como el procesamiento de alimentos, en el refinamiento del petróleo y en la industria textil. El control de las emisiones de H_2S es esencial para proteger la salud humana, así como para mitigar su impacto ambiental².

Para el tratamiento de H_2S existen tecnologías de tipo fisicoquímico y biotecnológico, sin embargo, si se sigue una política para proteger el ambiente basada en principios de sostenibilidad, se deberán favorecer los procesos biotecnológicos sobre los fisicoquímicos, debido a su bajo costo de operación, al bajo requerimiento de insumos tales como energía y reactivos, a la generación de desechos y a su eficacia de tratamiento³.

² GUTIERREZ MORENO Abril. Efecto de la carga másica y altura del medio filtrante sobre la remoción de H_2S mediante biofiltración. Designación de TESIS (Maestría en ingeniería ambiental). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México. 2008. Pág.4.

³ *Ibíd.*

Particularmente en la PTAR Río Frío se presenta el problema de generación de sulfuro de hidrogeno en estado gaseoso (H_2S), el cual es un gas con olores desagradables que se ha venido presentando continuamente , pero con el pasar del tiempo este olor desagradable se ha agudizado ,por lo cual se percibe con facilidad afectando a sus trabajadores y generando gran malestar e inconformidad tanto a la comunidad que reside cerca como a quienes por allí transitan y a su vez provocando un impacto ambiental negativo .

Con el fin de disminuir estos malos olores, el objetivo de esta práctica es realizar la adecuación y el montaje de una unidad de biofiltración a escala piloto, para esto es necesario la elaboración de un compost apropiado que se usará en el biorreactor que funcionará mediante la actividad metabólica y reproductiva de microorganismos y cuya finalidad es el estudio de los parámetros de operación adecuados. Por esta razón la consecución de los objetivos propuestos permitirá ejecutar la próxima fase del proyecto en la que se ponga en marcha la unidad de biofiltración a escala piloto y poder probar los diferentes escenarios para llegar a conocer la mejor manera de su funcionamiento, donde se evidencie una disminución de la concentración H_2S y así poder llevar a cabo el montaje e implementación de una unidad de biofiltración a escala real en la PTAR de Rio Frio.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la adecuación y montaje de una unidad de biofiltración a escala piloto que reduzca la concentración de H₂S generado en los reactores UASB de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Rio Frio

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer la mezcla de componentes que va a tener el compost más adecuado para ser utilizado como medio filtrante en la unidad de biofiltración
- Construir el montaje de una unidad de biofiltración a escala piloto para el control de olores.

2. MARCO TEORICO

2.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales, de donde salen contaminadas por los distintos usos; por lo cual es de vital importancia realizar los diversos procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin remover los contaminantes orgánicos e inorgánicos, para que permitan alcanzar las condiciones óptimas para ser vertidas a los ríos y así ser más amigables con el medio ambiente⁴. Con referencia a lo anterior se presentan los diferentes tipos de tratamiento de aguas residuales

2.2 TIPOS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

2.2.1. Por criterios de selección

- Características del agua a tratar.
- Grado de tratamiento requerido según el destino final.
- Disponibilidad de espacio.
- Costos.⁵

⁴ NOYOLA Adalberto, MORGAN Juan y GURECA Leonor. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 2013. Pág.7- 11

⁵ LIZARASO Jenny, ORJUELA Martha. Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Designación de trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina. Colombia. 2013. Pág.31.

2.2.2 Por tipo de proceso

- **Procesos físicos:** Remoción de material en suspensión, rejillas, trituradores, sedimentador primario, espesadores y filtración.
- **Procesos biológicos:** Se llevan a cabo debido a la actividad biológica de los microorganismos. Comprende la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes, eliminación del N y P y producción de gases.
- **Procesos químicos:** Aplicación de productos químicos para la eliminación o conversión de los contaminantes. Precipitación, adsorción y desinfección.⁶

En Colombia las plantas de tratamiento de aguas residuales en su mayoría son de tipo físico-biológico. En la parte biológica encontramos dos sistemas que son un sistema anaerobio y un sistema aerobio como se explican a continuación.

2.2.2.1. Plantas de tratamiento:

- **Sistema anaeróbico:** Proceso simple y sencillo de operar, aplicable en pequeña, mediana y gran escala, para aguas residuales industriales y domésticas

Tabla 1.Desventajas y ventajas sistema anaerobio

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none">▪ Bajos costos de inversión y operación.▪ Baja producción de lodo.▪ El arranque de los reactores es rápido con una apropiada inoculación.▪ El lodo anaerobio puede permanecer sin alimento mucho tiempo.	<ul style="list-style-type: none">▪ Emite olores desagradables (H_2S).▪ Tiene una sensibilidad a bajas temperaturas.▪ Calidad de efluente inferior a los procesos aeróbicos, por eso se requiere de un postratamiento para

⁶ LIZARASO Jenny, ORJUELA Martha. Ibid. Pág.31.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Constituyen una fuente de energía alternativa (CH_4). 	<p>cumplir con los niveles de calidad usualmente exigidos.⁷</p>

Fuente: Autor

- **Sistema aeróbico:** El proceso básico de tratamiento es proporcionar un medio de alto contenido de oxígeno para que los organismos puedan degradar la porción orgánica del desecho a dióxido de carbono y agua en presencia de oxígeno. Son similares a los sistemas sépticos o anaeróbicos en cuanto a que los dos usan procesos naturales para el tratamiento del agua residual.

Tabla 2. Desventajas y ventajas sistema aerobio

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minimiza la producción de olores. ▪ Reduce los coliformes y organismos patógenos, así como las grasas. ▪ Produce sobrenadante clarificado. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alta producción de lodos ▪ Altos costos energéticos ▪ Elevada Mecanización ▪ Muchos parámetros que controlar para que los resultados sean óptimos: pH, Temperatura.⁸

Fuente: Autor

2.2.3 Por el grado de tratamiento:

Preliminar: Eficiencia del 5 %

Primario: Eficiencia del 30 al 50 %

Secundario: Eficiencia del 80 al 95 %

Terciario: Eficiencia del 100 %

⁷ COLLAZOS Carlos. Tratamiento de Aguas residuales domesticas e industriales. Cátedra internacional 2008 Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería .2008. [En línea]. [citado el 25 de octubre de 2017] disponible en: <https://es.scribd.com/document/117385890/Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Domesticas-e-Industriales>

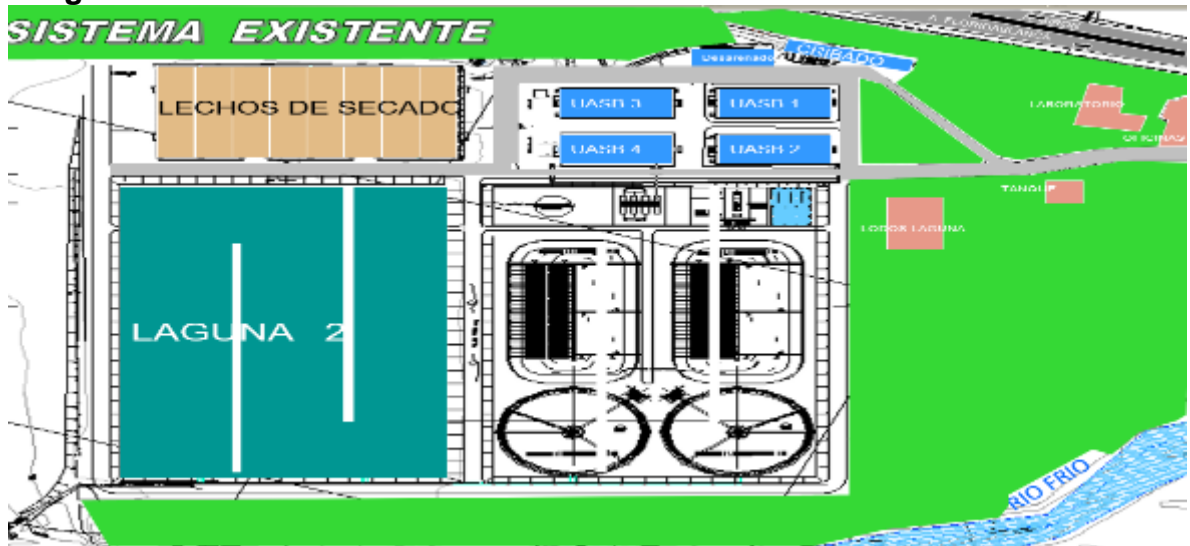
⁸ EPA Folleto informativo de sistemas descentralizados tratamiento aeróbico. 2000 [En línea]. [citado el 28 de octubre de 2017] disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/septic_fs_aerobic_sp.pdf

Específicamente en la PTAR Río Frío los sistemas de tratamiento que se utilizan son por el tipo de proceso y por el grado de tratamiento.

2.3 SISTEMA PTAR RIO FRIO.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR Río Frío, se ubica en el Kilómetro 4 del Anillo vial que comunica los municipios de Girón y Floridablanca en el departamento de Santander como se muestra en la Imagen 1 PTAR Río Frío.

Imagen 1. PTAR Río Frío



Fuente: Manual de operación y mantenimiento de la PTAR RIO FRIO

Dado que la mayor contaminación presente en las aguas residuales domésticas está representada por su contenido de materia orgánica, el diseño de la PTAR adoptó un esquema conformado por tres fases: tratamiento preliminar que se realiza en el cribado y desarenador donde se eliminan los sólidos, tratamiento primario que se realiza en los reactores UASB, en el que se estabiliza la materia orgánica en ausencia de oxígeno a través de la acción enzimática de bacterias especializadas y tratamiento secundario que se realiza en una laguna facultativa la cual estabiliza la materia orgánica remanente mediante la acción conjunta de microorganismos aerobios cerca de la superficie y anaerobios en el fondo. Este sistema tiene una

capacidad de diseño de 640 litros por segundo, para tratar las aguas residuales provenientes de Floridablanca y la zona sur de Bucaramanga, permitiendo la remoción de la materia orgánica en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendedos Totales (SST). (En el Anexo A se describe de una manera general cada una de las áreas que componen la planta de Rio frio)

2.4 GENERACIÓN DE H_2S (ac) EN LA PRODUCCIÓN DE METANO

El ácido sulfhídrico generado en los reactores UASB se debe a un proceso de descomposición anaerobio de la materia orgánica para llevar a cabo la producción de metano (CH_4) mediante cuatro etapas las cuales son:

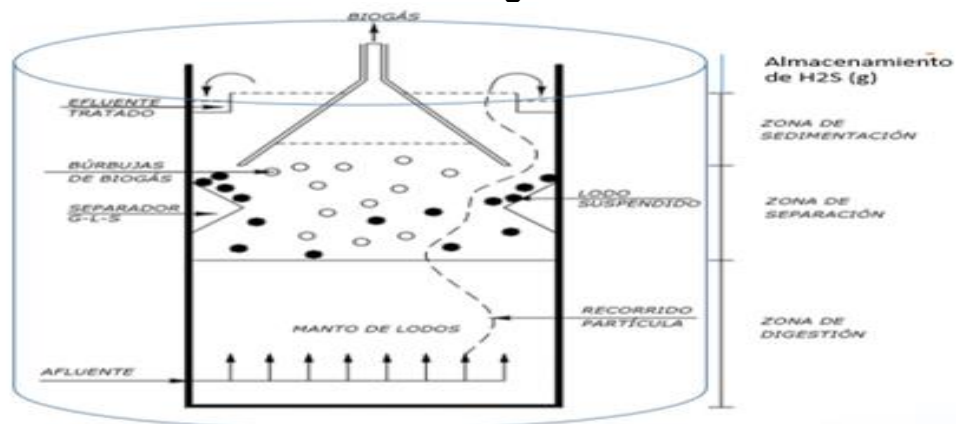
- **Hidrolisis:** Donde la masa de proteínas, lípidos, grasas, aceites se hidrolizan a monómeros que puedan entrar a la membrana celular de los microorganismos.
- **Acidogénesis:** Donde los compuestos obtenidos durante la hidrolisis son capturados por microorganismos fermentativos cuyo metabolismo da lugar a la producción de ácidos grasos volátiles, alcoholes y a la generación de ácido sulfhídrico en fase acuosa el cual al pasar a estado gaseoso se llama sulfuro de hidrogeno.
- **Acetogenesis:** Donde algunos compuestos producidos en la acidogénesis son convertidos a hidrogeno, acetato y CO_2 .
- **Metanogénesis:** En esta etapa actúan bacterias metanogénicas que se encargan de producir metano a partir del CO_2 y el H_2 .

2.5 GENERACIÓN DE SULFURO DE HIDROGENO (H_2S (g))

El sulfuro de hidrogeno que se genera en las plantas de tratamiento de aguas residuales se obtiene debido a la actividad metabólica de bacterias sulfato reductoras que utilizan compuestos azufrados presentes en el agua a tratar para llevar a cabo sus actividades metabólicas.

En el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales de Rio Frio se presenta la generación de sulfuro de hidrogeno durante el proceso de degradación de la materia orgánica presente en el agua residual, el cual es acumulado en mayor proporción en el espacio existente entre las cubiertas de los reactores UASB y el nivel del agua en el mismo

Imagen 2. Ubicación de sulfuro de Hidrogeno dentro del reactor UASB



Fuente: Manual de operación y mantenimiento de la PTAR RIO FRIO

El sulfuro de hidrógeno es tratado tradicionalmente mediante sistemas fisicoquímicos, esencialmente mediante torres de absorción a pH básico con o sin adición de un oxidante químico. Este tipo de tratamiento es muy efectivo, pero conlleva importantes dificultades tales como: alto costo, riesgo de accidente debido a la utilización de compuestos químicos, producción de halo metanos (compuestos muy conocidos por su alto grado de toxicidad), altas temperaturas y presiones.⁹

Otro método para tratar el sulfuro de hidrogeno es por medio de sistemas biológicos como los biofiltros que tienen una gran eficiencia de remoción ante un amplio rango de contaminantes y bajos costos de operación, aunque no es tan efectivo como los

⁹ YANG. A y TOLLEFSON. E, Oxidation of low concentrations of hydrogen sulphide: process

sistemas físicos-químicos podemos considerarlo como una gran alternativa de solución al problema siendo amigables con el medio ambiente.

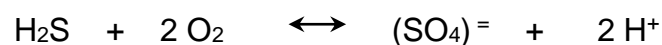
2.6. UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN

En la industria existen diversos tipos de biorreactores, los más utilizados durante los últimos años son los de tipo biofiltro y los biofiltros percoladores, ya que han demostrado su gran eficiencia de remoción ante un amplio rango de contaminantes y bajos costos de operación¹⁰. Los biorreactores para el tratamiento de gases contaminantes utilizan la actividad metabólica microbiana para tratar este tipo de compuestos en fase gaseosa, los cuales son fuentes de energía esenciales para el crecimiento de los microorganismos

La biofiltración es sin duda la tecnología de tratamiento biológico más utilizada para gases contaminantes. Está caracterizada por el uso de un soporte orgánico (aserrín, turba, composte, etc.)¹¹ que provee los nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos, transformando el soporte orgánico en un filtro biológicamente activo (al pasar el aire contaminado a través del lecho, los microorganismos presentes en la superficie del soporte degradan el H_2S gaseoso).

2.6.1. Medio para biofiltro. El mecanismo de oxidación biológica del sulfuro de hidrógeno en los biofiltros depende del tipo de población microbiana del reactor, así como de la concentración del contaminante y del oxígeno. Cuando la oxidación es completa se lleva a cabo la siguiente reacción catalizada por microorganismos autótrofos.

Microorganismos



¹⁰ KENNES C Y THALASSO F, Waste gas biotreatment technology, Journal of Chemical

¹¹ TORRES Guillermo. Tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas

Las bacterias que oxidan microbiológicamente el sulfuro de hidrógeno se encuentran en diversos hábitats: suelos, ambientes marinos, aguas dulces y drenaje ácidos de minas. Este tipo de bacterias no requieren de condiciones especiales para existir, algunas especies son activas a pH entre 0.5 y 10 y en un rango de temperatura de 20 a 75 °C. Los microorganismos predominantes en este tipo de biorreactores pertenecen al grupo *Thiobacillus*, los cuales son bacilos cortos, gram-negativos y la mayor parte de las especies se moviliza por medio de un flagelo polar¹², ya que los pertenecientes al género *Sulfolobus* viven en hábitats sulfúricos geotérmicos, los *Thermothrix* se desarrollan en rangos de temperatura entre 55 y 85 °C y los *Thimicrospira* son microorganismos muy pequeños y con poca capacidad de agarre a los medios de soporte (por lo tanto es de esperar que abandonen el lecho filtrante inmersos en los lixiviados). Otro tipo de microorganismos que intervienen en la biooxidación de sulfuro de hidrógeno son las bacterias del género *Pseudomonas putida* CH₁₁, las cuales son capaces de degradar H₂S en concentraciones alrededor de 200 ppm. Como producto de la oxidación de sulfuros se producen sulfatos (SO₄) y azufre elemental, de forma extracelular, lo que favorece la separación de estos compuestos de la biomasa. La elaboración del lecho filtrante de la unidad de Biofiltración a escala piloto para la planta de tratamiento de aguas residuales de Río Frío conlleva la implementación de un proceso de compostaje, para esto se necesita las materias primas con las cuales se fabricarán las pilas de compostaje.

2.6.1.1. Compostaje. El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. La FAO¹³ (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la

¹² LEE Y. E, CHO S. K, HAN D. H Y RYU W.H, Hydrogen sulfide effects on ammonia removal by a biofilter seeded with earthworm casts, Journal of Environment, vol 31, 2002, pág 1782-1788.

¹³ ROMAN, P., MARTINEZ, M., & PANTOJA, A. Manual de compostaje del agricultor Experiencias en América latina. Pág. 24

Alimentación) define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes

Sin embargo, no todos los materiales que han sido transformados aeróbicamente son considerados compost. El proceso de compostaje incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener compost de calidad. La utilización de un material que no haya finalizado correctamente el proceso de compostaje puede acarrear riesgos como: Fitotoxicidad, Bloqueo biológico del nitrógeno, también conocido como “hambre de nitrógeno”, Reducción de oxígeno radicular y Exceso de amonio y nitratos en las plantas y contaminación de fuentes de agua¹⁴. A continuación, se presentan las diferentes fases del compostaje

2.6.1.2. Fases del Compostaje

1. Fase Mesófila. El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5).).

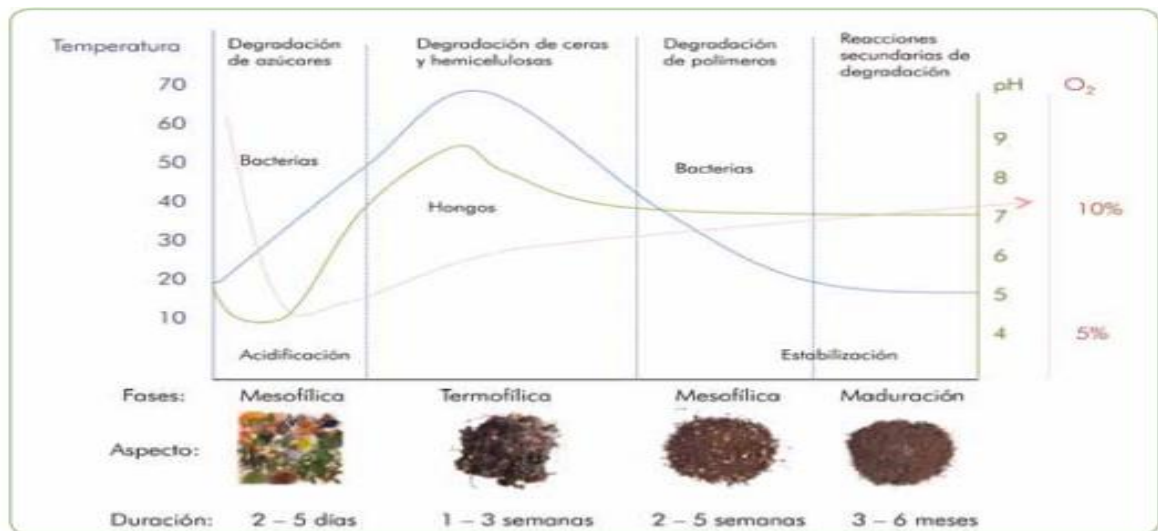
2. Fase Termófila o de Higienización. Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Igualmente, Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas del lugar y otros factores. (El pH puede estar entre 5 a 7).

¹⁴ ROMAN, P., MARTINEZ, M., & PANTOJA, A. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2013 [en línea] disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración. (El pH puede estar entre 6.5 a 6).

4. Fase de Maduración. Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. Esta fase termina cuando el aspecto, forma y textura se ve como en la imagen 3 (El pH puede estar entre 5.5 a 6).

Imagen 3 Temperatura, Oxígeno y pH en el proceso de compostaje



Fuente: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

3. METODOLOGIA

3.1 ANALISIS FISICO-QUIMICOS AL COMPOSTAJE

Con el fin de encontrar el mejor compostaje a utilizar como medio filtrante en la unidad de biofiltración, se determinó la necesidad de construir una serie de mezclas de diferentes materiales en diferentes proporciones (Lodos residuales de los reactores UABS, residuos de podas de la misma planta y aserrín de un proveedor externo) la cual constará de 10 pilas de compost (primero en forma plana y luego en arrumes), para lograr que el lodo se composte.

Diseño de las Pilas de Compostaje

Tabla 3. Planteamiento para el diseño de las pilas de compostaje

Pila	Material	Relación
Pila 1 (P1)	Lodo + Aserrín	1:1
Pila 2 (P2)	Lodo + Aserrín	2:1
Pila 3 (P3)	Lodo + Aserrín	3:1
Pila 4 (P4)	Lodo + Res. Poda Seca	1:1
Pila 5 (P5)	Lodo + Res. Poda Seca	2:1
Pila 6 (P6)	Lodo + Res. Poda Seca	3:1
Pila 7 (P7)	Lodo + Res. Poda Fresca	1:1
Pila 8 (P8)	Lodo + Res. Poda Fresca	2:1
Pila 9 (P9)	Lodo + Res. Poda Fresca	3:1
Pila 10 (P10)	Lodo	NA

Fuente: Autor

Estas relaciones, fueron definidas por el profesional III-operación de la EMPAS, debido a que él ha participado en los diferentes estudios y pruebas piloto que ha realizado la PTAR Río Frío en búsqueda de un compostaje apropiado para el biofiltro y la estabilización del lodo como subproducto del tratamiento de aguas residuales.

3.1.1. Monitoreo durante el proceso de compostaje. Debido a que el compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos aerobios, se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen la aireación, la humedad del substrato, temperatura, pH y la relación C: N.

Externamente, el proceso de compostaje dependerá en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar. No obstante, éstos deben estar bajo vigilancia constante para que siempre estén dentro de un rango adecuado. A continuación, se señalan los parámetros y sus rangos recomendados¹⁵.

Temperatura: La PTAR Río Fío cuenta con una termocupla digital, la cual es usada para realizar la medición de temperatura de las pilas de compostaje, este parámetro se realizó todos los días en la jornada de la mañana. (Cada 24 horas)

pH: Para la medición del pH en las mezclas de compostaje se hizo según lo establecido en el Standard Methods (ANEXO C). Este parámetro se va a realizar una vez por semana.

Humedad: Para el funcionamiento de la planta de compostaje, la medición de este parámetro se hizo según lo establecido en el Standard Methods (ANEXO C). Este parámetro se medirá una vez por semana

Porosidad: Para el funcionamiento de la planta de compostaje, la medición de este parámetro se hizo según lo establecido en el Standard Methods (ANEXO C). Este parámetro se va a medirá una vez a la semana

¹⁵ ROMAN, P., MARTINEZ, M., & PANTOJA, A. *ibid.* Pág. 27

3.2. MONTAJE DE LA UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN

Para llevar a cabo el montaje de la unidad de biofiltración a escala piloto se necesita contar con diferentes equipos y materiales a saber: bomba Ebara (1Hp) , Blower (trifásico de 3600 rpm) , un tablero eléctrico , un biofiltro y accesorios (tuberías PVC, codos PVC , adaptadores machos y embras en PVC entre otros). Los cuales se ubicarán respectivamente que cumplan su función como se evidencia en el ANEXO F.

4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 ANALISIS DE PREPARACIÓN DEL COMPOSTAJE

Teniendo clara la relación del lodo con el agente se procedió a la preparación de las pilas de compostaje, la cual consta de dos etapas:

1) Inicialmente se formaron 10 pilas que tuvieron una dimensión de 0.7 m de ancho por 2 m de largo y 0.25m de alto aproximadamente (Ver anexo B) con el fin de secar el lodo proveniente de los reactores UASB e iniciar y homogenizar la mezcla lodo agente.

2) Una vez finalizada la etapa uno, la cual tuvo una duración aproximada de 4 semanas, se procedió a formar los arrumes para dar inicio al proceso de degradación de la materia, donde las pilas pasaron a tener unas dimensiones de 1.5 m de ancho por 0.58 m de alto ($v= 0.78 \text{ m}^3$) (Ver anexo B donde se explica detalladamente esta etapa con su registro fotográfico), esta etapa tuvo una duración aproximada de 8 semanas.

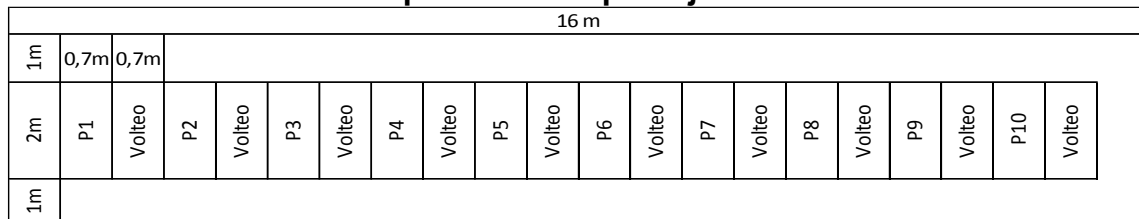
Las dimensiones definidas para las pilas en la etapa 2, se tomaron según recomendaciones de la FAO¹⁶.

En el proceso operativo, se efectuó un volteo manual con frecuencia diaria, esta actividad permitió la aireación del lodo la cual va a optimizar el proceso de transformación de la materia orgánica que realizan los microorganismos.

¹⁶ ROMAN, P., MARTINEZ, M., & PANTOJA, A. Manual de compostaje del agricultor Experiencias en América latina. Pág. 31

De acuerdo con lo anterior, a continuación, se presenta un esquema aproximado del diseño de las pilas de compostaje según las unidades descritas anteriormente y en el anexo B.

Ilustración 1. Diseño de las pilas de Compostaje



Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta el diseño de las pilas de compostaje se determina que sus dimensiones corresponden a las siguientes:

Tabla 4. Dimensiones Pilas de compostaje

Alto	Ancho	Largo
3 m	4 m	16 m

Fuente: Autor.

La adecuación del área para el proceso de compostaje requirió de la construcción de una cubierta, tipo invernadero sobre una placa de concreto, cubierta que se construyó mediante vigas y columnas en madera, con una cubierta de poli sombra; adicional a esto cuenta con un plástico para cubrir las pilas en los momentos de lluvia, con el fin de poder controlar las variables físicas que aseguran el adecuado proceso de descomposición de la materia orgánica (Temperatura, humedad, pH y porosidad), y así evitar que agentes ambientales externos como la lluvia y la radiación solar incidan en los parámetros de evaluación y control de las pilas.

Según el diseño de las pilas de compostaje, a continuación, se relacionan los materiales que se requieren para la construcción de la misma:

Tabla 5. Listado de materiales

Material	Cantidad	Medias
Placa de concreto	1	
Madera Rolliza 2"	40 Unid	3 m
Poli sombra Negra	1	70 m ²
Lodo	2.36	m ³
Poda seca	2	
Poda fresca	2	

Fuente: Autor.

Preparación de las Pilas de Compostaje

Una vez construida la estructura de la planta de compostaje, se requerirán 2360 L de lodo, aserrín, restos de poda frescos y restos de poda secos, al contar con la totalidad de los materiales se procederá a formar las pilas como se mostró en el diseño de las pilas de compostaje.

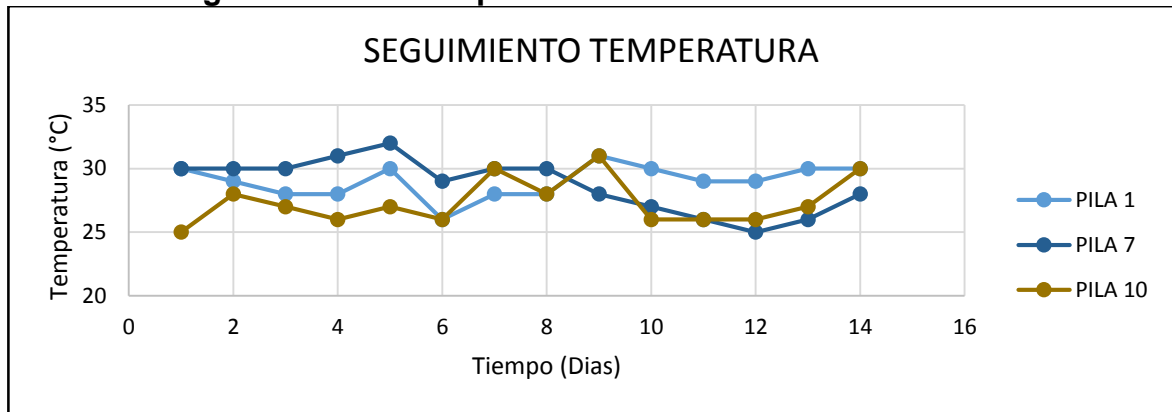
Es importante tener en cuenta que se debe contar con el apoyo del personal para que realice el volteo diario de las pilas, y en caso de presentarse lluvias realizar el cubrimiento de estas con el plástico y proteger el proceso de compostaje de agentes externos.

4.2 ANALISIS FISICO-QUIMICOS AL COMPOSTAJE

4.2.1. Seguimiento de Temperatura. La temperatura es un parámetro estrechamente vinculado al seguimiento del proceso de compostaje, teniendo en cuenta que mientras la temperatura no decaiga demasiado rápido será mejor la velocidad de descomposición de la materia y su higienización¹⁷

¹⁷ ROMAN, P., MARTINEZ, M., & PANTOJA, A. *ibid.* Pág. 28

Gráfica 1. Seguimiento de Temperatura



Fuente: Autor.

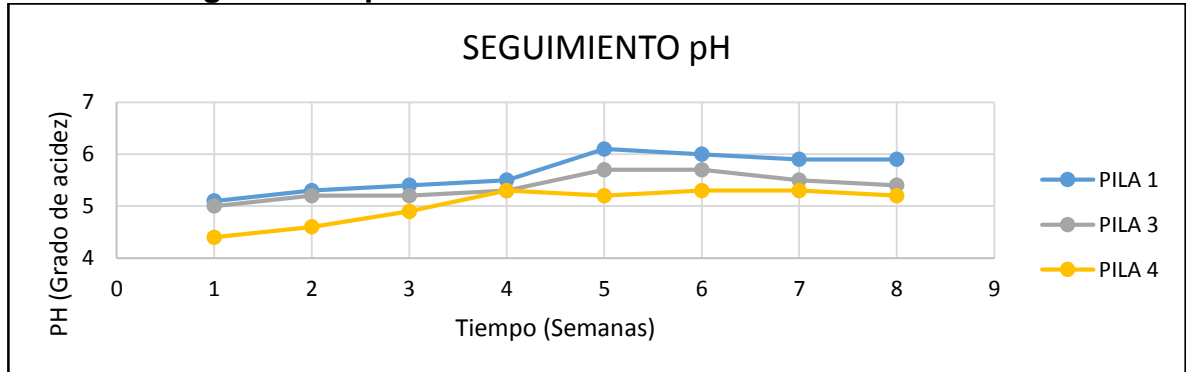
Nota: Seguimiento de las 10 pilas ver en ANEXO E

Al comparar con la tesis de Rojas Francisco, Zeledón Efraín¹⁸, se observa que obtuvieron grandes cambios de temperatura durante el seguimiento de compostaje, donde usaron pilas de gran altura que permitió altas concentraciones de calor dentro de las mismas, con resultados bastante notables entre 40 y 50 grados Celsius, a diferencia de esta prueba en la cual se utilizó pilas de menor altura en donde la temperatura no superó los 35 grados Celsius, razón por la cual no se pudo conocer por medio de este parámetro la fase en la que se encuentra el compostaje como se puede evidenciar en la gráfica 1, como es la variación en tiempos determinados, por tanto es importante adentrarse a identificar otro parámetro que cumpla la misma función y que esté presente en las muestras, a lo que se definió como nuevo parámetro el pH.

4.2.2. Seguimiento de pH. El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH apropiados de crecimiento y multiplicación. El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5).

¹⁸ ROJAS Francisco, ZELEDON Efrain. Efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en algunas características física, química y biológica del compost. Pág. 26.

Gráfica 2. Seguimiento pH



Fuente: Autor.

Nota: Seguimiento de las 10 pilas ver en ANEXO E

Es importante resaltar que las pilas no se realizaron de gran altura teniendo en cuenta la capacidad de la prueba, por lo cual fue necesario tomar como parámetro el pH debido a que por medio del análisis de temperatura no se obtuvo variación significativa, en cambio el pH permite conocer de forma indirecta el control de aireación de la mezcla y así poder obtener las condiciones necesarias para la descomposición de la materia, además de dar la ubicación de la fase en la que se encuentra en el proceso de compostaje, por lo tanto al analizar las 10 pilas de prueba se evidencio que la de mejor comportamiento fue la pila 1, ya que esta desde el inicio del estudio en la semana 0 hasta la semana 8 mostro una estabilidad en el pH en el que comenzó con un 4.5 y termino aproximadamente en 6 de grado de acidez, coincidiendo con el rango entre 5.5 y 6,5 según lo especifica la literatura¹⁹.

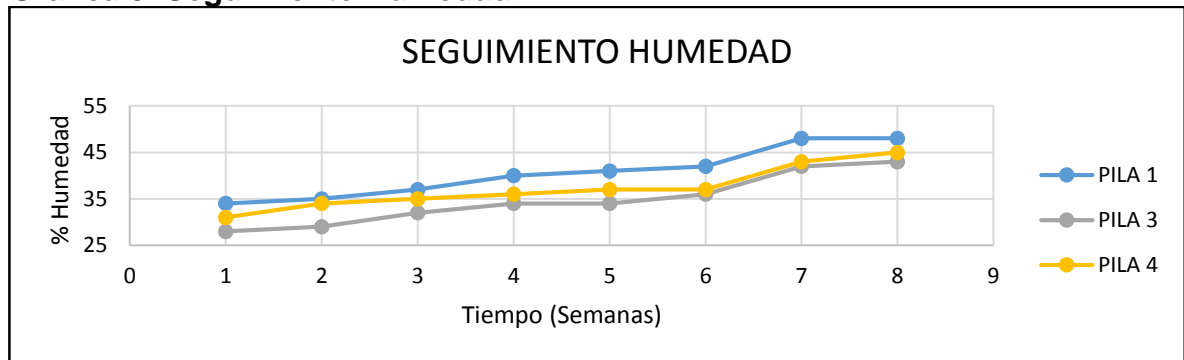
Al comparar los resultados de esta tesis con la prueba realizada por Wilson Acosta y Milton Peralta ²⁰, se puede analizar que los estudios se obtuvieron con mejor comportamiento ya que las pruebas fueron con pH de variaciones no muy significativos a diferencia de la que ellos presenciaron en la investigación.

¹⁹ ROMAN, P., MARTINEZ, M., & PANTOJA, A. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. 2013 [en línea] disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

²⁰ CARRIÓN A, Wilson. PERALTA F, Milton I. *Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá*. p.77

4.2.3. Seguimiento de Humedad. La humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, puesto que, como todos los seres vivos, usan el agua como medio de transporte de nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular²¹.

Gráfica 3. Seguimiento Humedad



Fuente: Autor.

Nota: Seguimiento de las 10 pilas ver en ANEXO E

Según lo estudiado se pudo evidenciar que los parámetros analizados en las pilas de compostaje fluctúan de acuerdo con su composición, teniendo cada una un comportamiento variable, sin embargo, la pila uno fue la que mejor se ajusta a las condiciones, debido a su relación de 1:1 (lodo y aserrín), lo que genera que esta correlación es la ideal para obtener una humedad promedio de 48%, en comparación con las demás pilas, esta presentó la tasa más alta de humedad a consecuencia de la porosidad que presenta y de la obtención del pH más adecuado

En el momento en que la planta no cuente con los recursos necesarios para comprar el aserrín, se recomienda usar como agente y/o material de enmienda la Poda seca (pila 4 relación 1:1 humedad 46%), debido a que posee altos niveles de carbón y

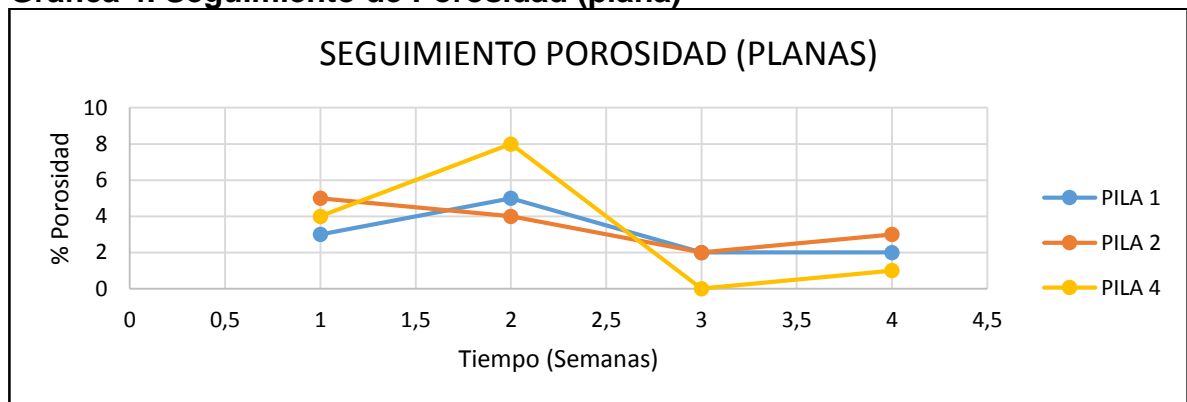
²¹ ROMAN, P., MARTINEZ, M., & PANTOJA, A. Op. cit Pág. 26

ayuda a mejorar la porosidad de la mezcla, disminuyendo la probabilidad de que esta se reduzca al ser compactada lo que evita la oxigenación de la pila, situación que inhibiría la actividad microbiana en el proceso de compostaje

Al revisar los resultados de la tesis de Rojas Francisco, Zeledón Efraín , se pudo ver que el porcentaje de humedad de las pilas esta entre 55 y 60 %, resultados que fueron más altos que los presentes en esta tesis, debido a la composición de los materiales utilizados por estos señores, dichos materiales eran más húmedos que los utilizados en las pruebas de este estudio teniendo en cuenta también que este es afectado por el clima que se presenta en el área de prueba; lo cual para este análisis se esperaba obtener un porcentaje de humedad entre el 40 y 60 % que es el apropiado para un proceso de compostaje como lo indica la FAO²², según esto se puede deducir que las practicas realizadas en los dos trabajos cumplen con este parámetro, permitiendo obtener un buen proceso de compostaje.

4.2.4. Seguimiento de Porosidad. Tanto la porosidad como la estructura, textura o tamaño de partícula limita o favorece el proceso de aireación y a su vez la descomposición de la materia orgánica.

Gráfica 4. Seguimiento de Porosidad (plana)

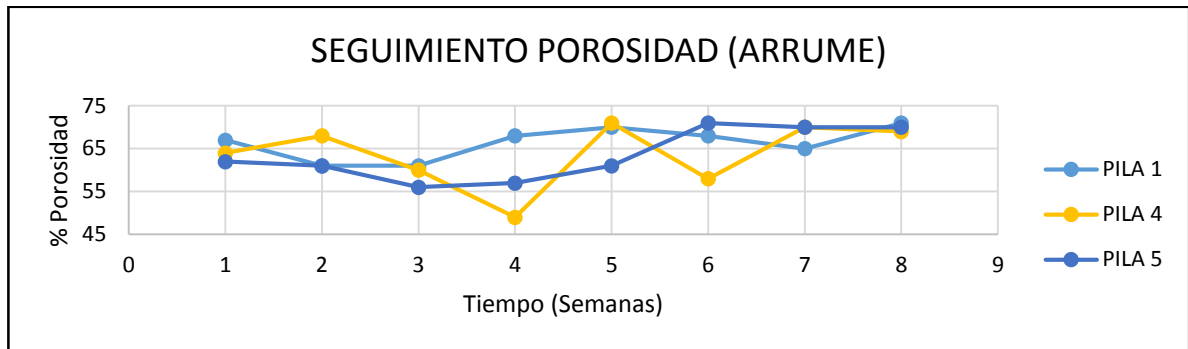


Fuente: Autor.

Nota: Seguimiento de las 10 pilas ver en ANEXO E

²² ROMAN, P., MARTINEZ, M., & PANTOJA, A. Ibid. Pág. 29

Gráfica 5. Seguimiento de Porosidad (Arrumes)



Fuente: Autor.

Nota: Seguimiento de las 10 pilas ver en ANEXO E

En las gráficas 4 y 5 se pudo demostrar que de acuerdo a la forma de hacer la pila (plana o en arrumes) se encuentran cambios en porosidad y volumen, ya que en la pila plana las partículas del lodo son tan finas que se homogenizan de tal manera que el paso del aire por los poros se dificulta, evitando que los microorganismos aerobios realicen el proceso de descomposición de la materia; lo que no pasa con la pila en arrume, que por tener gran aireación aumenta su porosidad y por lo tanto su volumen donde los microorganismos trabajan con gran comodidad permitiendo conseguir resultados necesarios y adecuados para un mejor compostaje

4.3 ANALISIS DEL MONTAJE DE LA UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN

Para el montaje de la unidad de biofiltración a escala piloto se realizó un estudio de campo para definir el lugar más apropiado donde montar esta unidad teniendo en cuenta que fuera lo más práctico y conveniente en cuanto a la facilidad de instalaciones sanitarias, hidráulicas, eléctricas y de los equipos que conforman la unidad, como es el blower que reduce el tiempo y consumo al estar cerca al conducto madre del gas, por otro lado el biofiltro aproximadamente en la mitad de la placa a causa de que genera el mayor peso y es el que necesita los suministros de todos los equipos, también la bomba y el agua + el lixiviado tienen esta ubicación

permitiendo mayor manejo y menor utilización de tubería para la unidad a escala piloto, lo que evita aumentar los costos y facilitar la extracción de H₂S

Considerando todo esto se llegó a la conclusión de realizarlo cerca al reactor UASB número 4 sur; el cual además de contar con todos los requerimientos anteriores también es el que presenta mejores condiciones debido a su sello hidráulico y a su estructura para aplicar las pruebas de esta unidad.

Teniendo todo lo anterior se procederá a adquirir los materiales de la unidad de biofiltración necesarios para su funcionamiento, en donde es importante tener un blower, un biofiltro, tuberías de diferentes diámetros comerciales, accesorios (válvulas, niples, uniones entre otros), un motor de 2 (Hp) y una bomba Ebara de 1(hp), considerando que los dos últimos es necesario que sean nuevos para que la funcionalidad sea correcta y adecuada, debido a que sus capacidades son las mínimas para elevar el fluido a la altura de 3 m que tiene el biofiltro, por otro lado los demás elementos pueden ser obtenidos de los materiales que la planta maneja o que tiene a disposición para hacer pruebas o ensayos, los cuales el blower es de mayor capacidad que la requerida pero no influyendo a alterar la prueba que se lleva a cabo, en donde todos los elementos se ubicaran en una placa de concreto de 9 m² aprobado por la PTAR rio frio, como también de las respectivas conexiones eléctricas, hidráulicas y sanitarias requeridas para la bomba, el extractor y el biofiltro para la complementación de la UNIDAD que se evidencia en las ANEXOS D Y F

Teniendo en cuenta anteriormente la construcción de la unidad de biofiltración y el espacio de acondicionamiento descrito, se pudo analizar que a comparación con el estudio que realizó la PTAR rio frio²³ por el profesional III-operación de la EMPAS sobre biofiltración en el año 2005, que el material con el cual fue construido en aquel tiempo fue de acrílico con impurezas dando excelentes porcentajes de remoción de H₂S pero la estructura del biofiltro presento grandes daños, en contraste a lo anterior se sugirió como recomendación su fabricación en un acrílico 100% puro, el

²³ PORTILLA R, Edgar. Seguimiento y control del biofiltro y neutralización del ácido sulfúrico producido en el sistema de biofiltración de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Rio Frio. p.10

cual al día de hoy es un material demasiado costoso y con dificultad para manejabilidad en la construcción, por esta razón se definió su elaboración en fibra de vidrio puesto que es más económico, manejable y tiene propiedades adecuadas para cumplir con el funcionamiento de la unidad como resistir a altas concentraciones de H₂S, ambiente corrosivo y altas temperaturas, teniendo en cuenta que el estudio de esta unidad no ha arrojado resultados para hacer una comparación con el estudio anterior debido a que está iniciando la fase de puesta en marcha de la unidad de biofiltración a escala piloto

Elaboración del Biofiltro

Para la construcción del biofiltro se utilizó la fibra de vidrio, por su excelente comportamiento para resistir las concentraciones de H₂S y los ambientes corrosivos que se presentan en la PTAR de río frío, en el cual fue empleado un tubo de 60 cm de diámetro fabricado en este material que se encontraba presente en la planta y que cumplía el diámetro para hacer la prueba piloto con mayor claridad, el cual se adecuó a medidas definidas de altura de 1 metro los módulos “B” y “C” y de 0.7 m el módulo “A” referenciado en la literatura²⁴ y al final unidos y sellados con neopreno, además se les anexo conductos de toma de muestras para el compost y concentración de H₂S para cada módulo, también se colocaron rejillas como base del compost y de los jeagers, por último en su punto más alto se realizó de forma cónica para que el gas tratado salga de forma controlada a la atmósfera; este biofiltro constará de cuatro módulos desmontables que se definen a continuación,

Modulo A : será la base en donde se instalarán las conexiones de entrada de gases y recolección de lixiviados ,

Modulos B y C : serán las unidades propiamente dichas de biofiltración, las cuales serán idénticas , además en estas se empacará el material filtrante (compost) con

²⁴ WATER & ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Manual of Practice No. 22. Página 215 y 216

un medio de soporte sintético (Jeagers) que proveera una alta superficie de contacto y un elevado porcentaje de porosidad .

Modulo D: confinara los gases de salida para conducirlos por un ducto hacia la atmosfera, con el fin de obtener un caudal uniforme para la medicion de la concentracion de los gases olorosos.

En terminos generales el gas oloroso ascendera desde la base inferior (A) y pasara a traves de los modulos empacados (B y C) en donde por accion microbiologica se oxidara el sulfuro de hidrogeno, que posteriormente a traves del modulo (D) se evacuará el gas descontaminado hacia la atmosfera. Los modulos tendran las facilidades de conexión de agua, toma para muestras de compost, toma de muestra de gases y asi obtener un mejor control operativo.

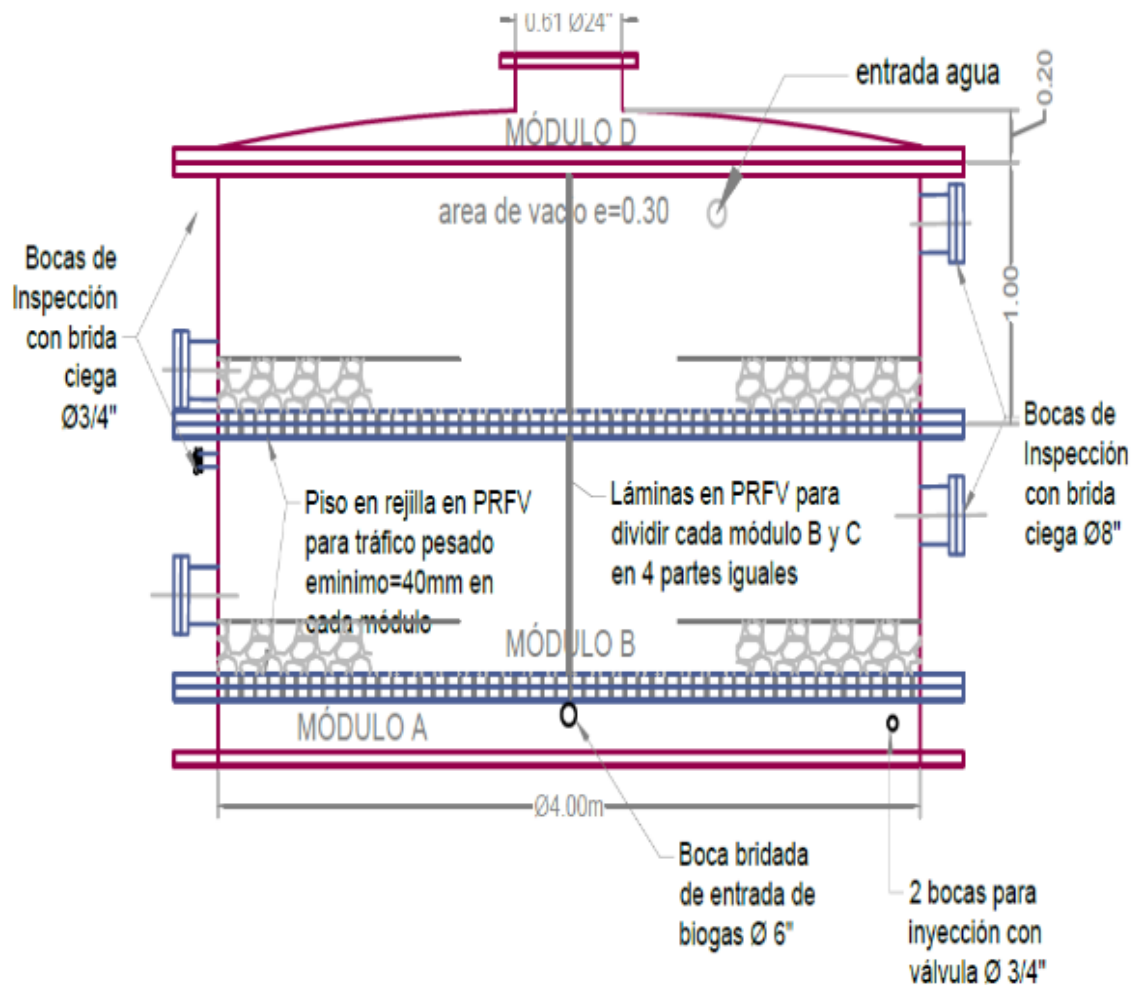
Tabla 6. Descripción tipo modulo del biofiltro

ITEM	DESCRIPCION
MODULO A	
Forma	Circular
Diámetro	0.6 ml
Altura Total	0.7 ml
Material de fabricación	FIBRA DE VIDRIO
Contiene	Recibe gas oloroso. – Almacena Lixiviados.
MODULO B – C	
Forma	Circular
Diámetro	0.6 ml
Altura Total	1.0 ml
Material de fabricación	FIBRA DE VIDRIO
Contiene	Relleno sintético esférico como medio de soporte y compost.
MODULO D	
Forma	Circular
Diámetro	0.6 ml
Altura Total	0.2 ml
Material de fabricación	FIBRA DE VIDRIO

ITEM	DESCRIPCION
Contiene	Cubierta hermética con tubería central de salida de gases con cubierta tipo hongo para evitar la entrada de agua lluvia.
MODULO TOTAL (A+B+C+D)	
Diámetro	0.6 m
Altura Total	2.7 m
Material de fabricación	FIBRA DE VIDRIO
Volumen Total	0.56 m ³
Tiempo de Retención	30 – 60 segundos

Fuente: Autor

Ilustración 2. Biofiltro



Fuente: Hoyos C. Luis F. Diseño de la unidad de biofiltración para la reducción de impacto por olores ofensivos generados en la PTAR río frío. p 6

5. CONCLUSIONES

Al finalizar la etapa de evaluación de las pilas de compostaje se concluye que la pila que cumple con los rangos óptimos de PH, temperatura, humedad y porosidad, según los parámetros de la resolución 1077 del 2015 y la NTC 5167 es la numero uno, la cual está conformada por lodo de los reactores UASB y aserrín en una relación 1:1; siendo así la más apta para ser utilizada como medio filtrante en la unidad de biofiltración.

La realización de la unidad de biofiltración a escala piloto permitió conocer el proceso que se debe llevar a cabo al momento de implementar una unidad de biofiltración a escala real en cuanto a la definición del compost y elementos necesarios para su construcción, permitiendo así la obtención de los parámetros apropiados de funcionamiento según se concluya la fase de puesta en marcha, y así finalmente poder dar una solución al problema de la generación de sulfuro de hidrogeno en la planta de tratamiento de aguas residuales de Rio Frio

6.RECOMENDACIONES

Se debe tener en cuenta que, el aserrín, a pesar de ser el agente y/o material de enmienda más usado en los procesos de compostaje, puede generar daños al proceso (plagas), para evitar esta condición se debe conocer a perfección la procedencia y el estado de la madera.

Se recomienda que, si el proceso al pasar la fase de puesta en marcha no se evidencian cambios significativos o de forma que esta pueda mejorar aún más, es la de alterar los compost dándole propiedades adecuadas para que los microorganismos trabajen con mayor eficiencia y eficacia para degradar H₂S

BIBLIOGRAFIA

CARRIÓN A, Wilson. PERALTA F, Milton I. Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá. Trabajo de grado. Universidad de Cundinamarca. .2015. p.116

COLLAZOS Carlos. Tratamiento de Aguas residuales domesticas e industriales. Cátedra internacional 2008 Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería .2008. [En línea]. [citado el 25 de octubre de 2017] disponible en: <https://es.scribd.com/document/117385890/Tratamiento-de-Aguas-Residuales-Domesticas-e-Industriales>

CORNEJO Daniela. Determinación de la eficiencia de remoción de la DBO de agua residual domestica mediante la utilización de un biofiltro de piedra pómez. Designación de tesis (Título de ingeniero ambiental). Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de ingeniería química. Perú. 2015

EPA. Folleto informativo de sistemas descentralizados tratamiento aeróbico. 2000 [En línea]. [citado el 28 de octubre de 2017] disponible https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/septic_fs_aerobic_sp.pdf

GUTIERREZ MORENO Abril. Efecto de la carga másica y altura del medio filtrante sobre la remoción de H₂S mediante biofiltración. Designación de TESIS (Maestría en ingeniería ambiental). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México. 2008. Pág.4.

Hoyos C. Luis F. Diseño de la unidad de biofiltración para la reducción de impacto por olores ofensivos generados en la PTAR río frío. Informe técnico. Planta de tratamiento de aguas residuales río frío, Girón Santander. Pág. 13

JUTEUA P, LAROCQUE R, RHO D, Y LEDUY A, Analysis of the relative abundance of different types of bacteria capable of toluene degradation in a compost biofilter, 1999, *Applied Microbiology & Biotechnology*, vol 52, pág 863-868.

KENNES C Y THALASSO F, 1998, Waste gas biotreatment technology, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, Vol 72, pág 303-319

LEE Y. E, et al, Hydrogen sulfide effects on ammonia removal by a biofilter seeded with earthworm casts, 2002, *Journal of Environment*, vol 31, pág 1782-1788.

LIZARASO Jenny, ORJUELA Martha. Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Designación de trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina. Colombia. 2013. Pág.31. [En línea]. [citado el 22 de septiembre de 2017] disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>

Del Pilar, Araque. Et al. Manual de Diseño, Operación y Mantenimiento de Reactores UASB para Aguas Residuales Doméstica. Basado en la experiencia de la PTAR Río Frío. Bucaramanga 2003.

NOYOLA Adalberto, MORGAN Juan y GURECA Leonor. Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 2013. Pág.7- 11.

Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. En línea [citado el 22 de marzo de 2018] disponible en: <http://www.fao.org/home/es/>

PORTILLA R, Edgar. Seguimiento y control del biofiltro y neutralización del ácido sulfúrico producido en el sistema de biofiltración de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Rio Frio. p.10

RAMIREZ L. E, et al, Characterization of five agricultural by products as potential biofilter carriers, 2003, *Bioresource Technology*, vol 88, pág 259-263.

ROJAS Francisco, ZELEDON Efrain . Efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en algunas características física, química y biológica del compost. hacienda las mercedes, managua. 2005.Trabajo de diploma. Universidad nacional agraria. facultad de agronomía .2007

ROMAN, P., MARTINEZ, M., & PANTOJA, A. Manual de compostaje del agricultor Experiencias en América latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago de chile. 2013. Pág. 112

TORRES Guillermo. Tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros. Tesis doctoral. Universidad de las palmas de gran canaria. España. 2014

WATER & ENVIROMENT FEDERATION (WEF). Manual of Practice No. 22. Página 215 y 216

YANG. A y TOLLEFSON. E, Oxidation of low concentrations of hydrogen sulphide: process optimization and kinetic studies, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol 76, febrero 1998, pág 76-86.

ANEXOS

ANEXO A. SISTEMA PTAR RIO FRIO

SISTEMA PTAR RIO FRIO

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR Río Frío, se ubica en el Kilómetro 5 del Anillo vial que comunica los municipios de Floridablanca y Girón en el departamento de Santander como se muestra en la siguiente figura . La primera etapa de construcción se inició en febrero de 1989 y las obras se extendieron hasta septiembre de 1990, iniciando operaciones desde 1991.



Dado que la mayor contaminación presente en las aguas residuales domésticas está representada por su contenido de materia orgánica, el diseño de la PTAR adoptó un esquema conformado por tres fases: tratamiento preliminar, tratamiento primario y tratamiento secundario. Este sistema tiene una capacidad de diseño de

640 litros por segundo, para tratar las aguas residuales provenientes de Floridablanca y la zona sur de Bucaramanga, permitiendo la remoción de la materia orgánica en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales.

Sistema Actual de la PTAR Río Frío (ver figura página 50)

Tratamiento preliminar.

El tratamiento preliminar tiene por objeto remover elementos sólidos y partículas gruesas, capaces de interferir con el desempeño de las unidades de tratamiento posterior. Para la PTAR Río Frío está constituido por un sistema de cribado y un desarenador por gravedad.

En el cribado, el agua residual afluyente pasa sucesivamente a través de rejillas con espaciado interaxial de 5 cm, 6 mm y 3 mm, para retener todo tipo de sólidos flotantes. Luego de una limpieza manual y mecánica de las rejillas, el material recolectado se comprime y deshidrata para ser dispuesto posteriormente en el relleno sanitario municipal.

Por su parte, el desarenador consta de tres (3) compartimientos, que se encargan de sedimentar por gravedad el material de origen arenoso presente en el agua residual. El promedio de material removido entre el sistema de cribado y el desarenador oscila entre 31 y 50 m³/mes.

Tratamiento Primario.

Luego de pasar por el tratamiento preliminar, el agua residual con la carga orgánica remanente es conducida al tratamiento primario, cuyo objeto es remover dicha carga. Para el caso de la PTAR Río Frío, este tratamiento es de tipo biológico y lo

conforman cuatro (4) reactores de flujo ascendente con manto de lodo anaerobio (UASB por sus siglas en inglés –Upflow Anaerobic Sludge Blanket-). En estos reactores se lleva a cabo la estabilización de la materia orgánica en ausencia de oxígeno a través de la acción enzimática de bacterias especializadas; dadas las condiciones anaerobias, no sólo se produce lodo sino metano (biogás) como subproducto del proceso.

Tratamiento Secundario.

Finalmente, para incrementar la remoción alcanzada por los reactores UASB, el sistema original incluye un tratamiento secundario consistente en una Laguna Facultativa, la cual estabiliza la materia orgánica remanente mediante la acción conjunta de microorganismos aerobios cerca de la superficie, y anaerobios en el fondo. Este tratamiento proporciona entre un 10 y 15% adicional de remoción para DBO y SST, a fin de cumplir con la legislación vigente.

Manejo de lodos.

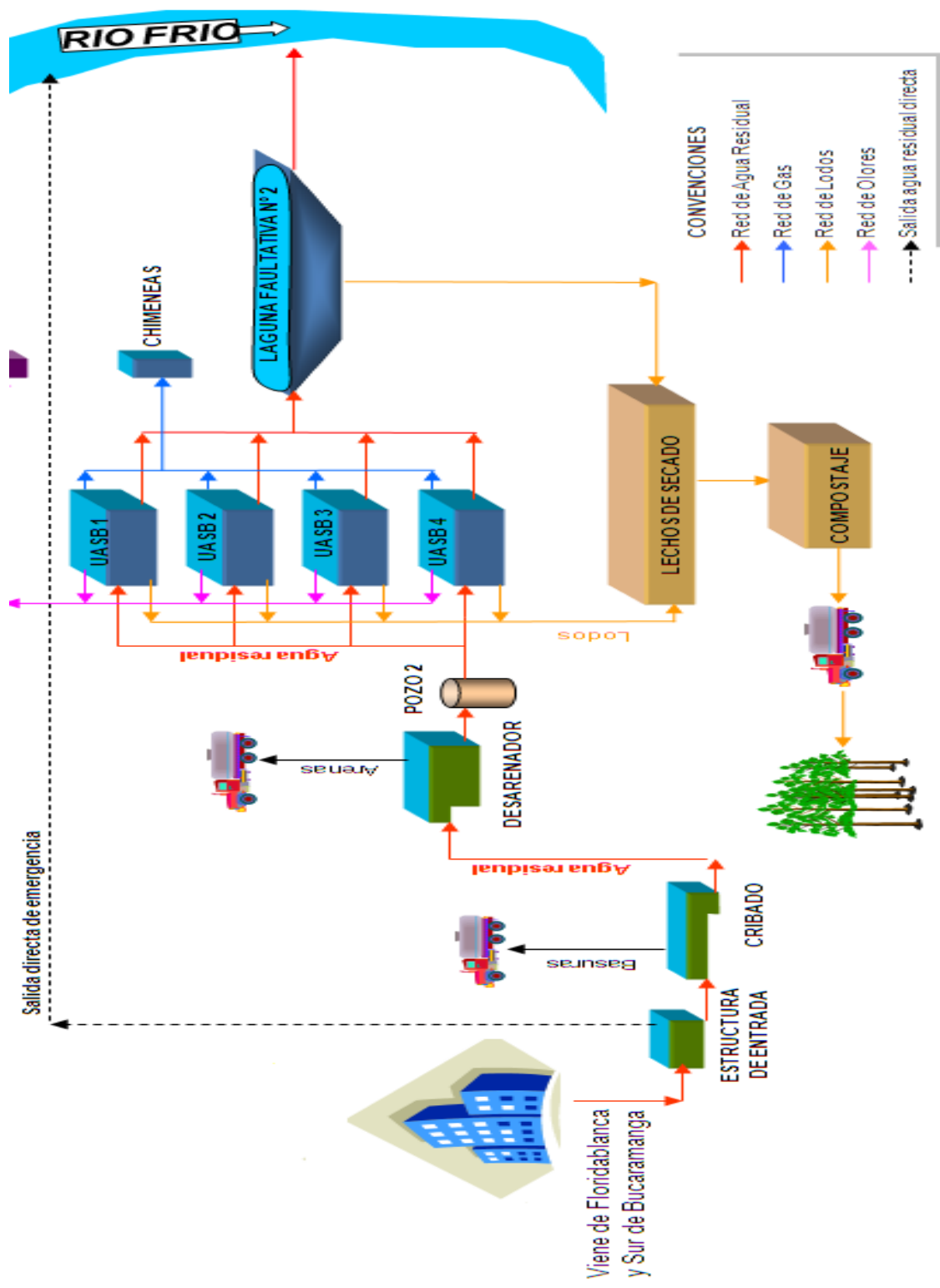
Para el manejo de los lodos generados en los reactores UASB, el sistema incluye veintiocho (28) lechos de secado, por medio de los cuales el lodo es deshidratado por acción de la radiación solar durante quince (15) días. La cantidad de lodo retirado como exceso en los reactores UASB y enviada a estos lechos de secado es de aproximadamente 1200 a 2000 m³ por año. Una vez los lodos han sido deshidratados, se someten a un proceso de compostaje con el fin de obtener abono orgánico.

Manejo de biogás.

Otro subproducto de la digestión anaeróbica de la materia orgánica en los UASB es el biogás, compuesto esencialmente de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N₂). El biogás es conducido desde los reactores hacia unos quemadores fabricados en mampostería de ladrillo. Actualmente existen en la PTAR Río Frío cinco (5) de estos quemadores, los cuales llevan a cabo la combustión de entre 3.000 y 6.500 m³/d de biogás.

Condiciones de operación.

El caudal afluente promedio de 24 horas que ingresa actualmente al sistema de tratamiento de la PTAR Río Frío es de 512 L/s aproximadamente. Debido a su alta carga orgánica, se favorecen las condiciones para el tratamiento anaerobio del agua residual. Las concentraciones promedio del afluente a la planta el último año (2016) de operación son de 779 mg/l para DQO, 362 mg/l para DBO₅ y 332 mg/l de SST



ANEXO B. PUESTA EN MARCHA DE LAS PILAS DE COMPOSTAJE

Puesta en marcha de las Pilas de compostaje

Se realizó la construcción de la estructura como se indica en la fotografía 1 y 2, con el fin de adecuar los recursos existentes, las pilas de compostaje se construyeron junto al tanque, allí existía un área con placa en concreto que se ajustaba a las dimensiones requeridas y facilitaba la construcción de las pilas.

Fotografía 1 y 2 Construcción estructura de las pilas compostaje



Fuente: Autor.

Los materiales usados fueron: lodo, material vegetal fresco, material vegetal seco y aserrín.

Fotografía 3,4,5 y 6 Materiales



Lodo



Material vegetal en descomposición



Material vegetal fresco



Aserrín

Fuente: Autor.

Las pilas de compostaje en forma plana tendrán unas dimensiones de:

Tabla 1 dimensiones pilas de compostaje

Alto	Ancho	Largo	Volumen
0.25 m	0.70 m	2 m	0.35 m ³

Fuente: Autor.

Por lo cual se requieren las siguientes cantidades de material:

Tabla 2 Volumen de material a usar

Lodo	Aserrín	Mat. Veg. Fresco	Mat. Veg. Fresco
2.36 m ³	0,378 m ³	0,378 m ³	0,378 m ³

Fuente: Autor.

El material se distribuyó en 10 pilas, cada una está conformada de forma diferente, a continuación, se relaciona la cantidad de material de cada una.

Pila	Composición	Relación	Material Lodo	Agente
1	Lodo + Aserrín	1:1	0.175 m ³	0.175 m ³
2	Lodo + Aserrín	2:1	0.233 m ³	0.116 m ³
3	Lodo + Aserrín	3:1	0.262 m ³	0.087 m ³
4	Lodo + Res. Poda Seca	1:1	0.175 m ³	0.175 m ³
5	Lodo + Res. Poda Seca	2:1	0.233 m ³	0.116 m ³
6	Lodo + Res. Poda Seca	3:1	0.262 m ³	0.087 m ³
7	Lodo + Res. Poda	1:1	0.175 m ³	0.175 m ³
8	Fresca	2:1	0.233 m ³	0.116 m ³
9	Lodo + Res. Poda	3:1	0.262 m ³	0.087 m ³
10	Fresca Lodo + Res. Poda Fresca Blanco	NA	0.350 m ³	0 m ³

A continuación, se observa cómo se formaron las pilas en forma plana.

Fotografía 7, 8 ,9 y 10 Conformación de Pilas

Pila de lodo



Mezcla material de enmienda



Conformación pila 1,2 y 3, lodo + aserrín



Conformación pila 4,5 y 6, lodo + poda seca



Conformación pila 7,8 y 9, lodo + poda fresca



Planta piloto de compostaje con un Total 10 pilas



Planta piloto de compostaje con un Total 10 pilas

Fuente: Autor.



Pilas de compostaje en forma plana

Fuente: Autor.

Ahora Las pilas de compostaje en forma de arrume tendrán unas dimensiones de:

Tabla 1 dimensiones pilas de compost

Alto	Largo	Volumen
0.58 m	1.5 m	0.78 m ³

Fuente: Autor.



Pilas de compostaje en forma de arrume

Fuente: Autor.

ANEXO C. PRUEBAS DE LABORATORIO

Se relaciona la metodología utilizada para analizar las pilas de compostaje según el Standard Methods

I. DETERMINACIÓN DEL % DE HUMEDAD DEL COMPOSTAJE

Objeto de la Actividad: Determinar el Porcentaje (%) de Humedad en cada una de las Pilas de Compostaje de la planta piloto de la PTAR Río Frío. Expresada en Porcentaje (%).

Responsables: Técnico de laboratorio.

Frecuencia: semanal (viernes)

Equipos y Materiales

- Capsulas.
- Estufa. T° = 110°C
- Mufla. T° = 300°C
- Cronómetro.
- Desecador.
- Balanza analítica.
- Pinzas.
- Tamiz de 0,5 mm

Tareas a Desarrollar

Toma de Muestra.

- a) Se Excavan cuatro hoyos en diferentes sectores de la Pila de Compost, a una profundidad aproximada de 50 Cm.
- b) Se extraen alícuotas de aproximadamente 250gr. En cada una de las excavaciones anteriormente realizadas con el objetivo de conformar la Muestra (1Kg).
- c) Tomar la muestra en Bolsa Plástica con cierre Hermético, Rotular debidamente (Fecha de Toma e identificación de la Pila del Compost, Lugar de Muestreo), para poder determinar su Procedencia
- d) Tamizar las muestras a través de un tamiz de 0,5 mm con el objetivo de lograr una uniformidad en todas las muestras. (50gr).

Manejo de la muestra

- a) Colocar en la Mufla a 300°C durante 30 min. Una Capsula por cada Muestra.
- b) Retirar la Capsula de la Mufla y llevarla al desecador para eliminar cualquier rastro de humedad durante 30 min.
- c) Pesar la Capsula. = (P1)
- d) Agregar 50gr. de muestra previamente Tamizada a la capsula anteriormente pesada. = (P2)
- e) Colocar en la Estufa a 110°C durante 24 Horas la capsula + la muestra.
- f) Retirar la Capsula de la Estufa y llevarla al desecador para eliminar cualquier rastro de humedad durante 30 min.
- g) Pesar la Capsula con la muestra seca = (P3)

Cálculos

% de Humedad

Peso de la Muestra Húmeda = (P2 – P1) = 50gr.

Peso de la Muestra Seca = (P3 – P1)

$$\% \text{ de Humedad} = \left(\frac{(\text{Peso Muestra Húmeda} - \text{Peso Muestra Seca})}{\text{Peso Muestra Seca}} \right) * 100$$

II. DETERMINACIÓN DE PH DEL COMPOSTAJE

Objeto de la Actividad: Determinar el pH en cada una de las Pilas de Compostaje de la planta piloto de la PTAR Río Frío, expresada como Unidades de pH.

Responsables: Técnico de laboratorio.

Frecuencia: semanal (viernes)

Equipos y Materiales

- Balanza analítica
- Cronómetro.
- Tamiz de 0,5 mm
- Vaso de 120 ml
- Agitador magnético
- Multiparámetro (phmetro)

Reactivos

- a) Agua destilada.

Tareas a Desarrollar

Toma de Muestra.

- a) Se Excavan cuatro hoyos en diferentes sectores de la Pila de Compost, a una profundidad aproximada de 50 Cm.
- b) Se extraen alícuotas de aproximadamente 250gr. En cada una de las excavaciones anteriormente realizadas con el objetivo de conformar la Muestra (1Kg).
- c) Tomar la muestra en Bolsa Plástica con cierre Hermético, Rotular debidamente (Fecha de Toma e identificación de la Pila del Compost, Lugar de Muestreo), para poder determinar su Procedencia
- d) Tamizar las muestras a través de un tamiz de 0,5 mm con el objetivo de lograr una uniformidad en todas las muestras. (10gr).

Preservación y manejo de la muestra

- a) Se Agregan 10gr. de muestra previamente Tamizada al vaso de 120 ml.
- b) Se adicionan 100 ml de Agua destilada al Vaso + Muestra.
- c) Se Coloca (vaso + muestra + Agua destilada) durante 30 min. En el agitador magnético.
- d) Después de transcurrido el tiempo se procede a la lectura del pH en el Multiparámetro (pHmetro) y se registran los datos.

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE (%) DE POROSIDAD DEL COMPOSTAJE

Objeto de la Actividad: Determinar el Porcentaje (%) de Porosidad de cada una de las pilas de Compostaje de la planta piloto de la PTAR Río Frío, expresada en Porcentaje (%).

Responsables: Técnico de laboratorio.

Frecuencia: semanal (viernes)

Equipos y Materiales

- Balanza analítica.
- Probeta de 100 ml.

Reactivos

- a) Agua Destilada

Tareas a Desarrollar

Toma de Muestra.

- a) Se Excavan cuatro hoyos en diferentes sectores de la Pila de Compost, a una profundidad aproximada de 50 Cm.
- b) Se extraen alícuotas de aproximadamente 250gr. En cada una de las excavaciones anteriormente realizadas con el objetivo de conformar la Muestra (1Kg).

Manejo de la muestra

- a) Tomar la muestra en Bolsa Plástica con cierre hermético, debidamente rotulada (Fecha de Toma e identificación de la Pila del Compost, Lugar de Muestreo), para poder determinar su Procedencia.
- b) En la Balanza analítica Pesar 20gr. de muestra. = (W)
- c) En la Probeta de 100ml, depositar los 20gr. de muestra y tomar la medición del volumen ocupado por los 20 gr. en la Probeta = (Vap) Registrar el dato.

- d) Agregar la misma cantidad en agua destilada, que el volumen ocupado por la muestra en la probeta (Vap)
- e) Tomar la primera medición; volumen ocupado por el agua destilada + la muestra = (V2)
- f) Tomar la Segunda medición una vez se haya filtrado totalmente el agua en la probeta + la Muestra = (V1)

Cálculos

$$\% \text{ de Porosidad} = \left(1 - \left(\frac{D_{ap}}{D_r} \right) \right) * 100$$

$$D_{ap} = \left(\frac{W}{V_{ap}} \right)$$

$$D_r = \left(\frac{W}{V_r} \right)$$

$$V_r = V_{ap} - Dv$$

$$Dv = V_2 - V_1$$

Convecciones:

Dap = Densidad Aparente.

Dr = Densidad Real

Vr = Volumen Real

Dv = Espacio de Vacíos

Vap = Volumen aparente

W = Peso de la Muestra

ANEXO D. ADECUACIÓN DE AREA DEL MONTAJE DE LA UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN

Fotografía No. 1 y 2. Seguimiento al área de adecuación para el montaje de la unidad de Biofiltración.



Fotografía No. 3 y 4. Fabricación de la placa



Fotografía No. 5 y 6. Tubo en fibra de vidrio para construcción del Biofiltro



Fotografía No. 7 y 8. Seguimiento a la adecuación del tubo en fibra de vidrio para el biofiltro.



Fotografía No. 9 y 10 Seguimiento a la construcción del Biofiltro



Fotografía No. 11 y 12 Biofiltro terminado



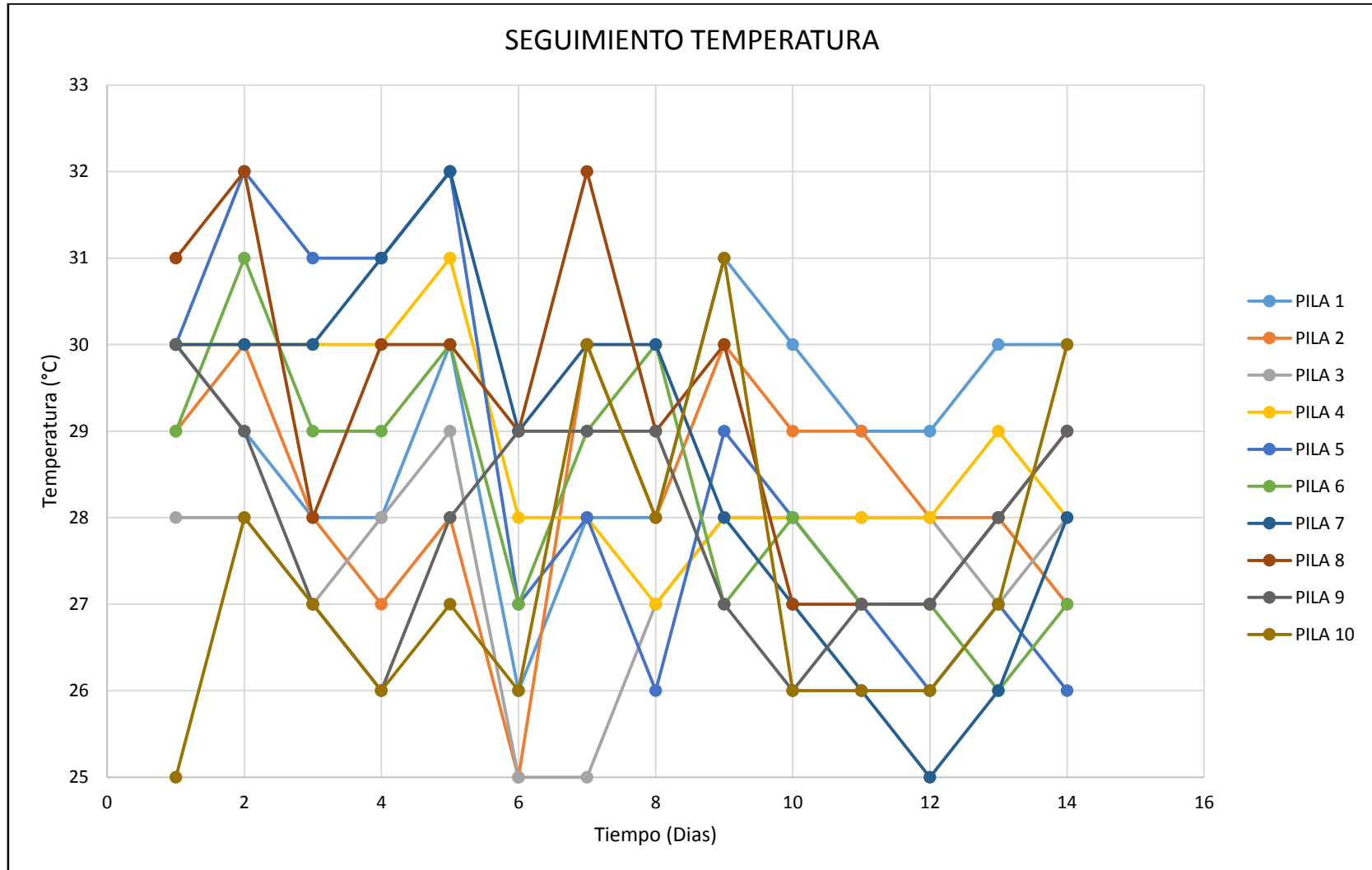
Fotografía No. 13 y 14 Seguimiento a la construcción de la unidad de Biofiltración

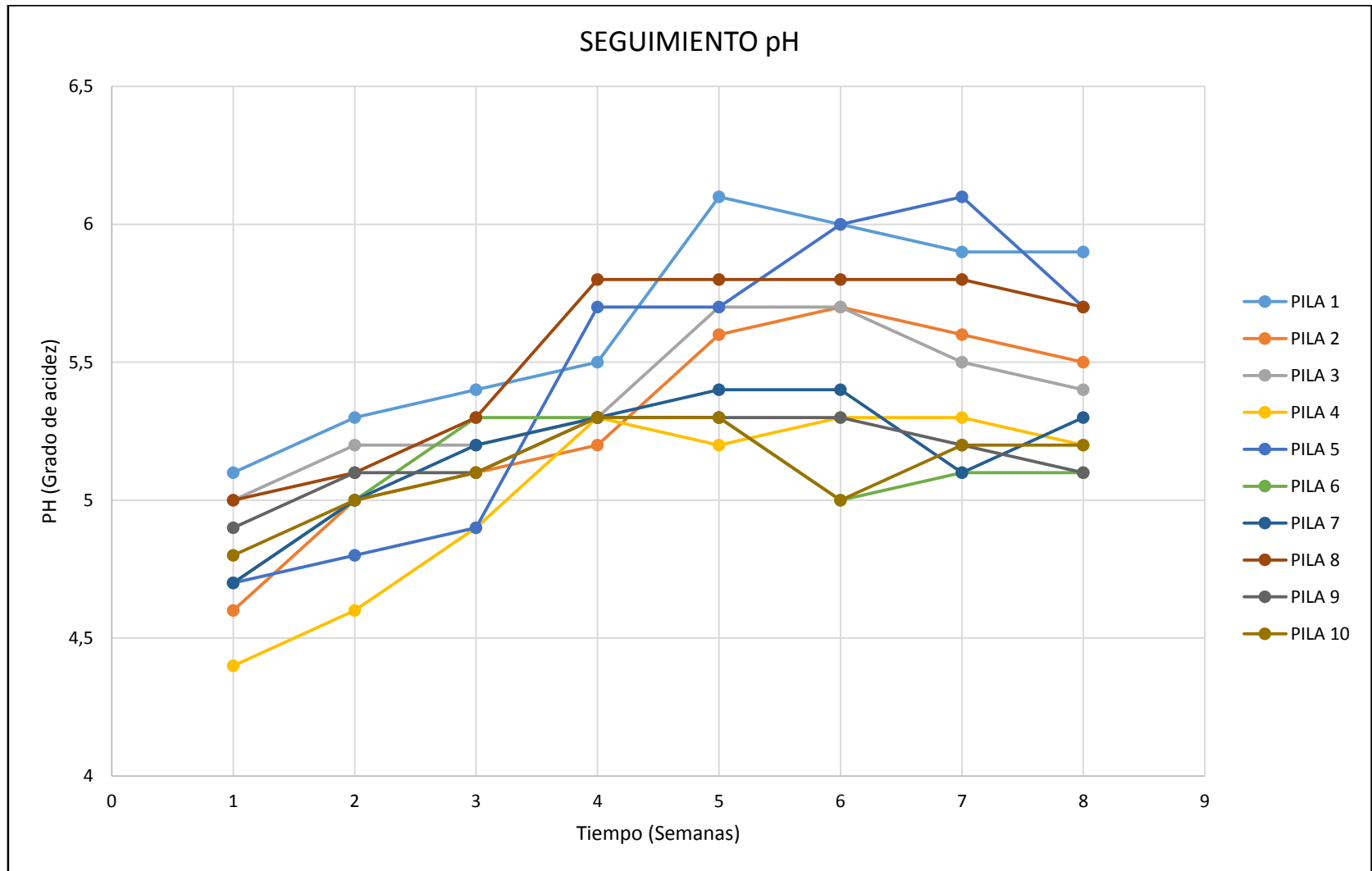


Fotografía No. 15 y 16 Montaje de la unidad de Biofiltración.

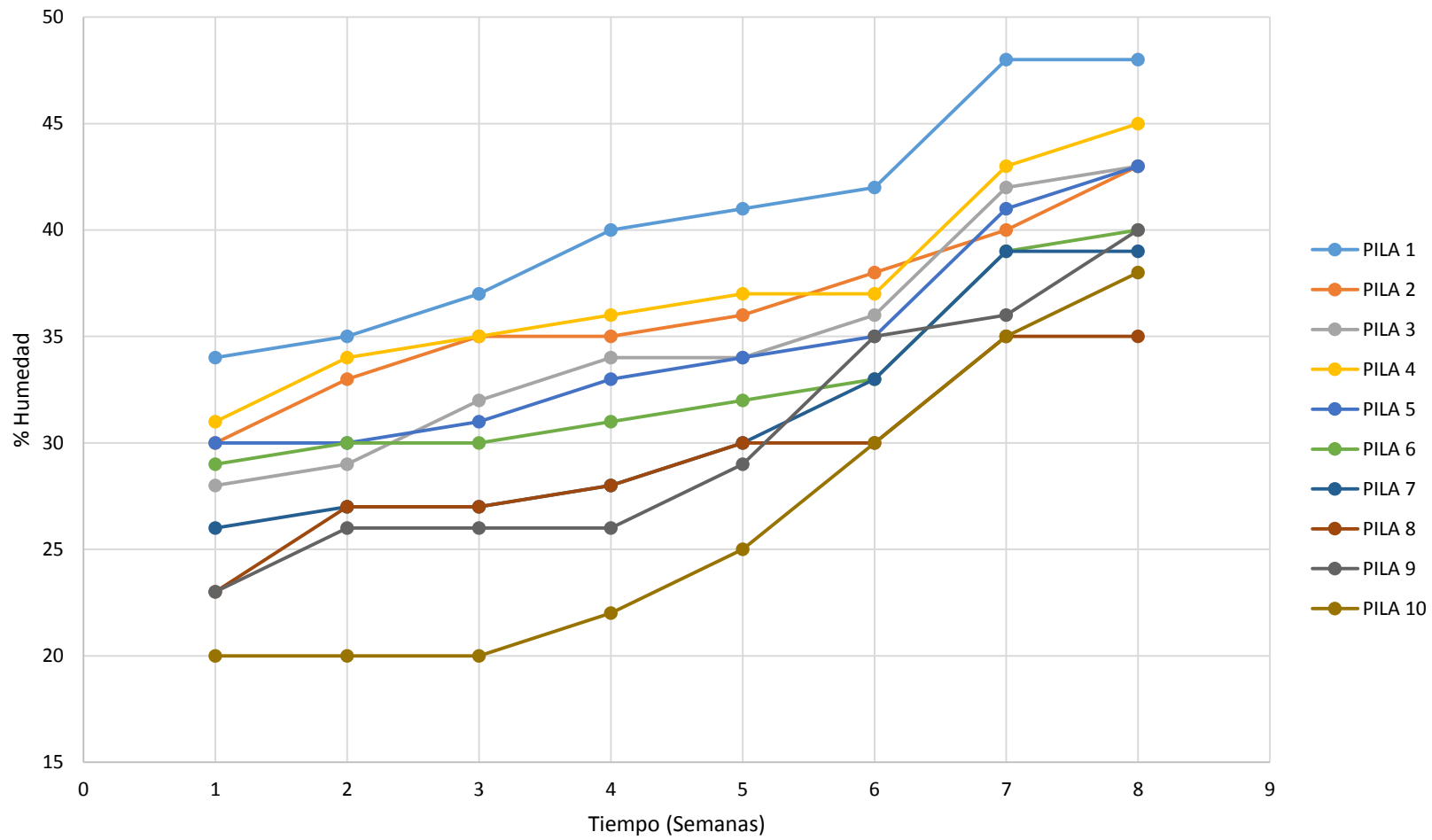


ANEXO E. GRAFICAS DE SEGUIMIENTO AL PROCESO DE COMPOSTAJE

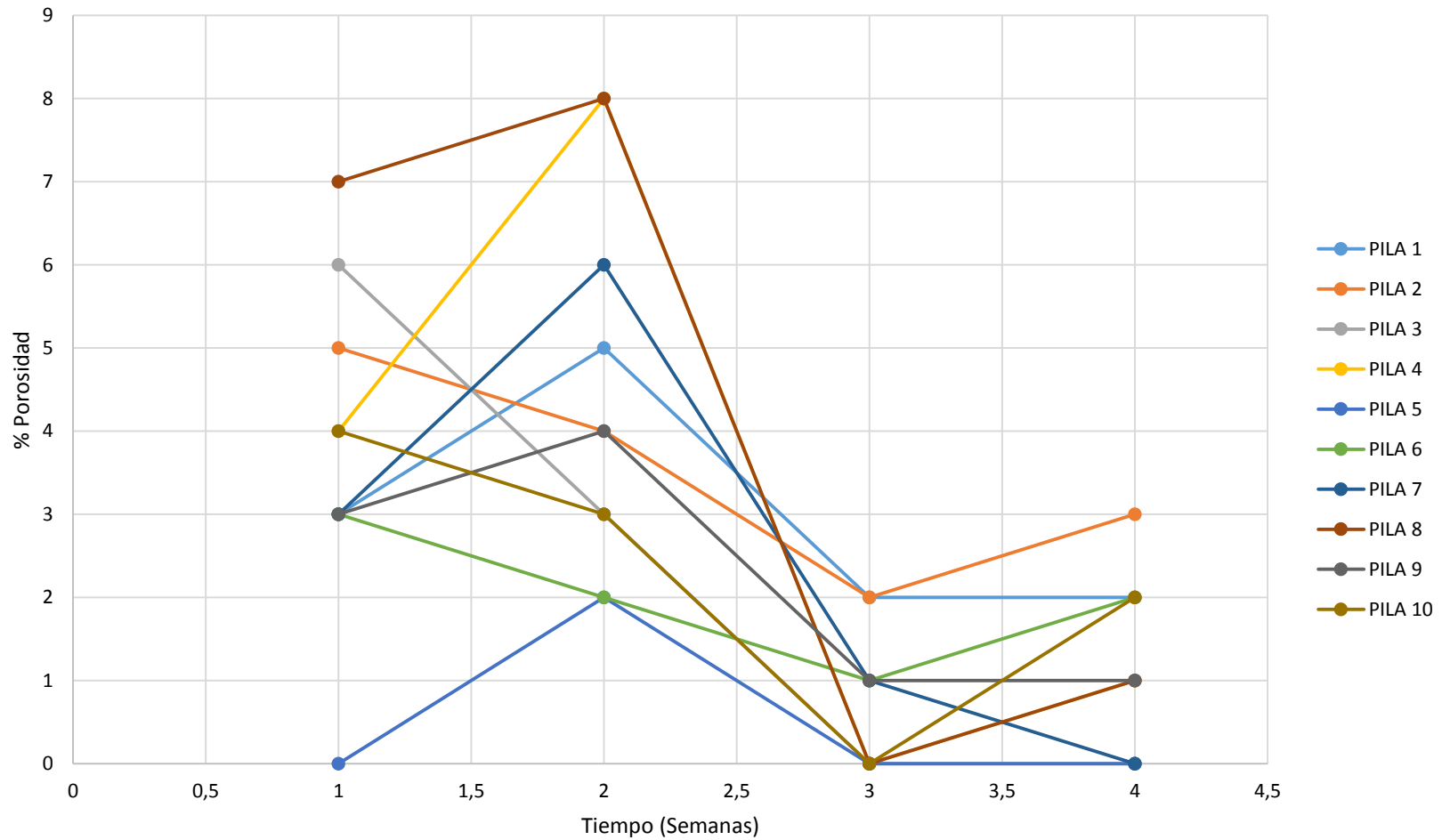




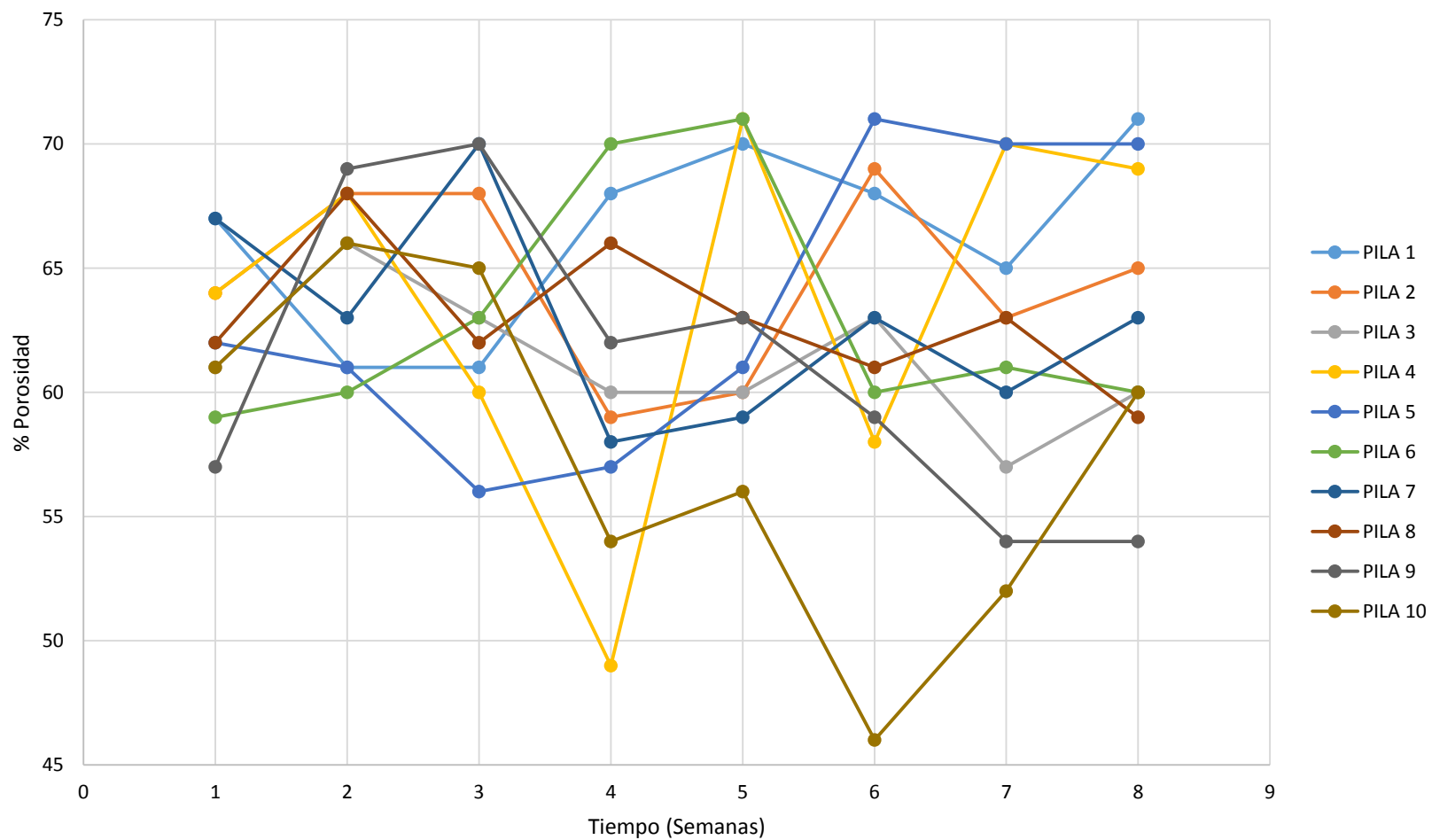
SEGUIMIENTO HUMEDAD



SEGUIMIENTO POROSIDAD (PLANAS)




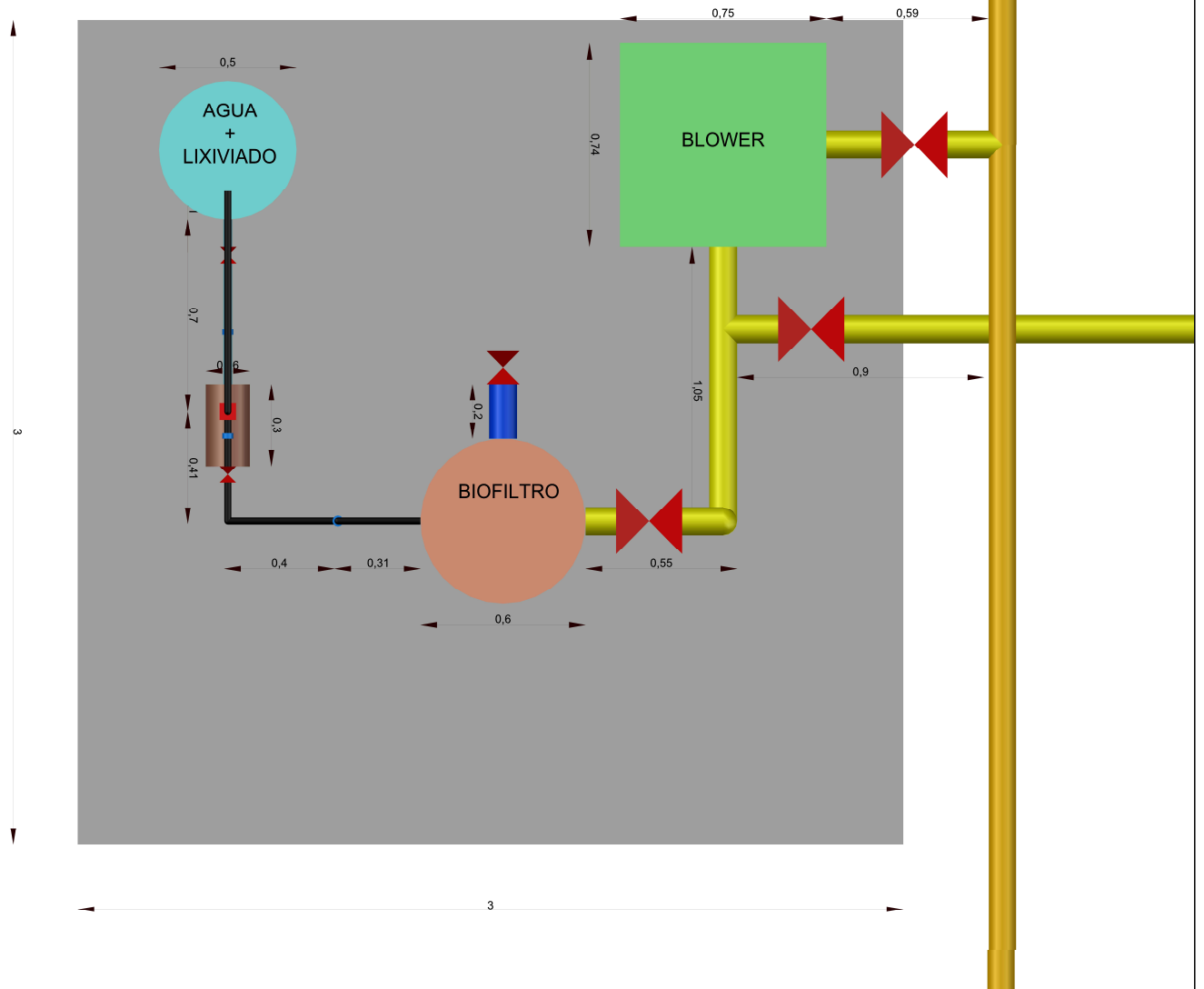
SEGUIMIENTO POROSIDAD (ARRUME)



ANEXO F. PLANOS DE LA UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN A ESCALA PILOTO



CONVENCIONES	
	AGUA + LIXIVIADO
	BLOWER
	BIOFILTRO
	TUBERIA 4 "
	TUBERIA MADRE 4 "
	TUBERIA 1 "
	TUBERIA 1-1/4"
	VALVULA
	UNION UNIVERSAL
	BOMBA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL
DE SANTANDER

DISEÑO:

WILMER YESID PRIETO HERNANDEZ

REVISÓ:

FREDY AUGUSTO AVELLANEDA VARGAS

PROYECTO:

UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN A ESCALA
PILOTO DEL GAS GENERADO EN LOS
REACTORES UASB

UBICACIÓN:

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
FLORIDABLANCA-SANTANDER

CONTIENE:

VISTA SUPERIOR

FECHA:

31 DE JULIO DE 2018

PLANO:

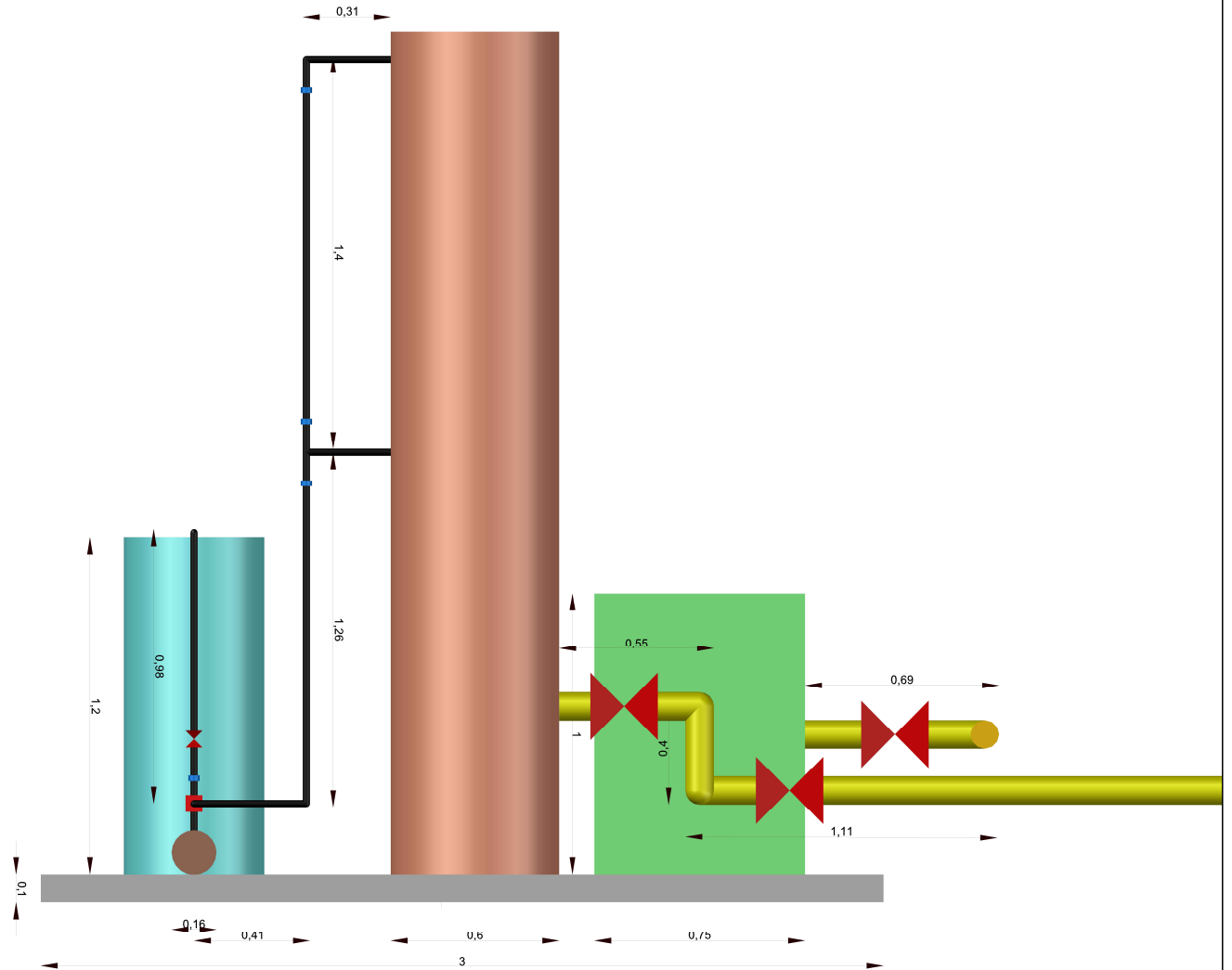
1 de 4

ESCALA:

1:25

D1

CONVENCIONES	
	AGUA + LIXIVIADO
	BLOWER
	BIOFILTRO
	TUBERIA 4 "
	TUBERIA MADRE 4 "
	TUBERIA 1 "
	TUBERIA 1-1/4"
	VALVULA
	UNION UNIVERSAL
	BOMBA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL
DE SANTANDER

DISEÑO:

WILMER YESID PRIETO HERNANDEZ

REVISÓ:

FREDY AUGUSTO AVELLANEDA VARGAS

PROYECTO:

UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN A ESCALA
PILOTO DEL GAS GENERADO EN LOS
REACTORES UASB

UBICACIÓN:

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
FLORIDABLANCA-SANTANDER

CONTIENE:

VISTA POSTERIOR

FECHA:

31 DE JULIO DE 2018

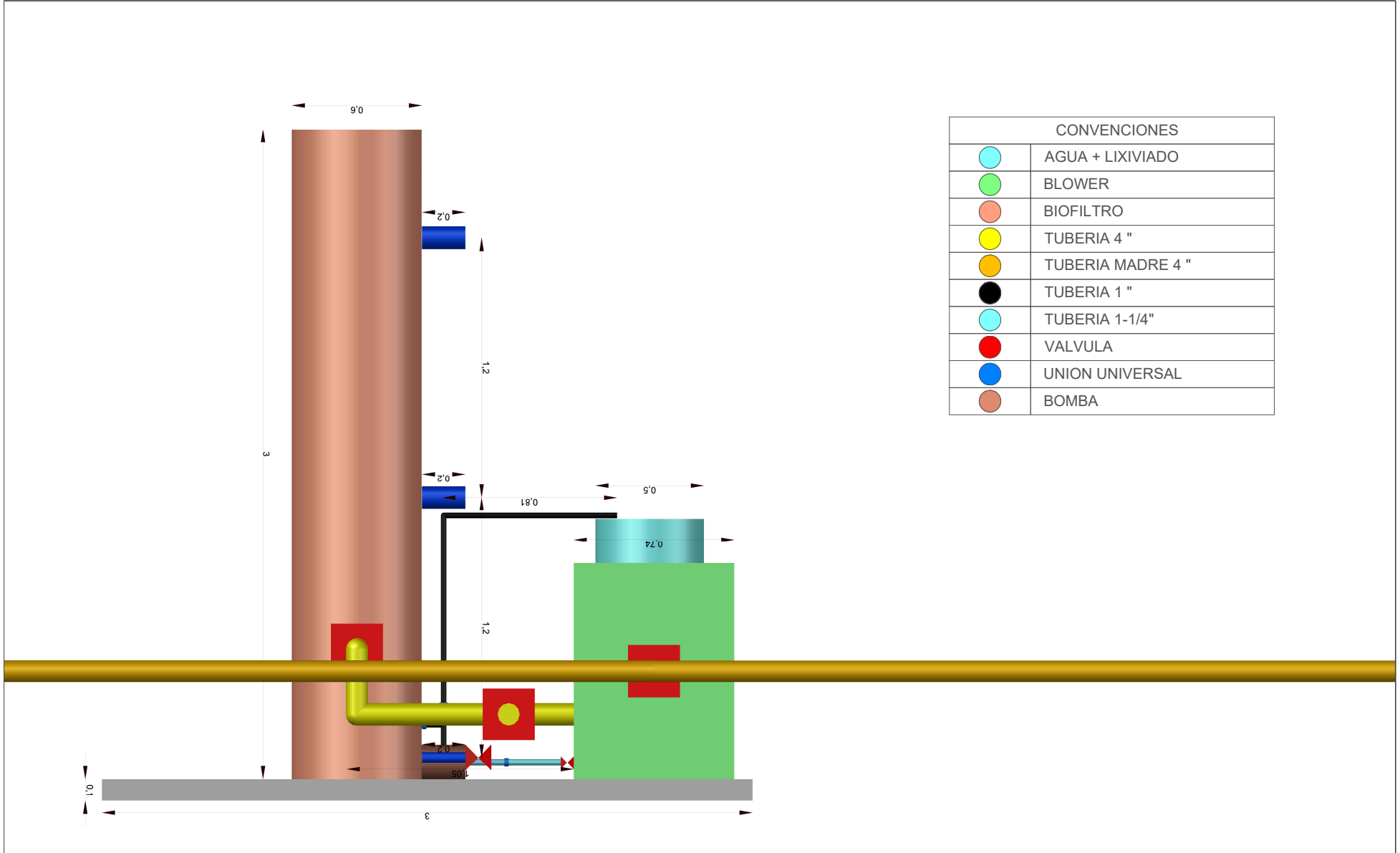
PLANO:

2 de 4

ESCALA:

1:25

D2



CONVENCIONES	
	AGUA + LIXIVIADO
	BLOWER
	BIOFILTRO
	TUBERIA 4 "
	TUBERIA MADRE 4 "
	TUBERIA 1 "
	TUBERIA 1-1/4"
	VALVULA
	UNION UNIVERSAL
	BOMBA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

DISEÑO: WILMER YESID PRIETO HERNANDEZ

REVISÓ: FREDY AUGUSTO AVELLANEDA VARGAS

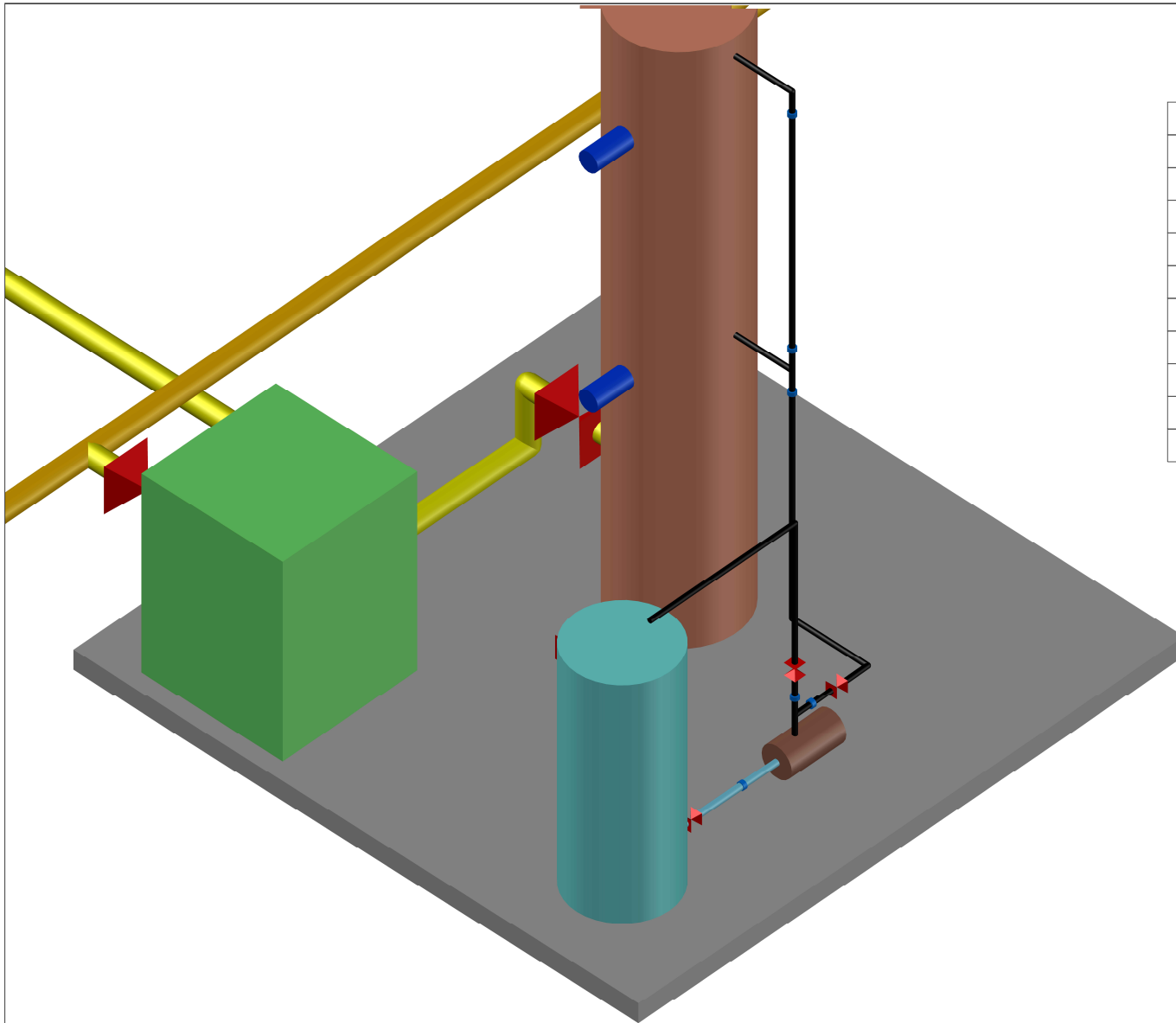
PROYECTO: UNIDAD DE BIOFILTRACIÓN A ESCALA PILOTO DEL GAS GENERADO EN LOS REACTORES UASB

UBICACIÓN: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES FLORIDABLANCA-SANTANDER

CONTIENE: VISTA LATERAL IZQUIERDA

FECHA: 31 DE JULIO DE 2018
 PLANO: 2 de 4
 ESCALA: 1:25

D3



CONVENCIONES	
	AGUA + LIXIVIADO
	BLOWER
	BIOFILTRO
	TUBERIA 4 "
	TUBERIA MADRE 4 "
	TUBERIA 1 "
	TUBERIA 1-1/4"
	VALVULA
	UNION UNIVERSAL
	BOMBA