INFORME FINAL- MODALIDAD TRABAJO DE GRADO

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN REACTOR UASB HÍBRIDO, ALIMENTADO CON EL EFLUENTE DE UN BIORREACTOR ACIDOGÉNICO.

PRESENTADO POR:

LINA MARÍA LADINO CAMPOS
MILADY BASANTE LARA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ
2018

INFORME FINAL- MODALIDAD TRABAJO DE GRADO

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN REACTOR UASB HÍBRIDO, ALIMENTADO CON EL EFLUENTE DE UN BIORREACTOR ACIDOGÉNICO.

PRESENTADO POR:

LINA MARÍA LADINO CAMPOS
MILADY BASANTE LARA

TUTOR DE TESIS
ING. ADELA TATIANA RODRÍGUEZ CHAPARRO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ
2018

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente queremos agradecerle a Dios por cada una de sus bendiciones, Gracias a nuestros padres por ser los principales promotores de nuestros sueños; a cada una de sus palabras de ánimo que fueron de gran motivación para poder obtener este logro, por los valores y principios que nos han inculcado. A cada uno de nuestros compañeros y amigos, por cada uno de sus aportes.

Agradecemos a nuestra tutora de proyecto ING. Adela Tatiana Rodríguez Chaparro por estar ahí paso a paso durante este proceso de tesis, quien gracias a su conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo. Adicionalmente a Andrea Hurtado y Margarita Hernández por su ayuda durante mis pruebas de laboratorio. ya que la mayor parte de este trabajo no será posible sin ustedes.

¡Muchas gracias!

TABLA DE CONTENIDO

1)	RESUMEN	6
2)	ABSTRACT	7
3)	INTRODUCCIÓN	8
4)	OBJETIVO	10
5)	PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN	11
6)	ANTECEDENTES	12
7)	JUSTIFICACIÓN	15
8)	ESTADO DEL ARTE	16
9)	MARCO CONCEPTUAL	20
10)	MARCO LEGAL	23
11)	MATERIAL Y METODOLOGÍA	23
12)	ANALISIS DE RESULTADOS	31
13)	CONCLUSIONES	39
14)	REFERENCIAS	40
15)	APENDICE	44

Lista De Figuras

Figura 1. Número de documentos publicados a través de los últimos 10 años (2008-2018). tomado de: base virtual scopus. palabras clave (anaerobic treatment in two phases) consulta 16/08/2018). 13
Figura 2. comparación de documentos publicados en colombia y otros países (2008-2018). tomado de: base virtual scopus. palabras cables (anaerobic treatment in two phases) consulta 16/08/2018) 14
Figura 3. Producción de biogás- Imagen tomada de (vinasco, s.f). 22
Figura 4. Reactor UASB Híbrido - fase metanogénica 24
Figura 5. Sistema de digestión Anaerobia en dos fases 25
Figura 6. Anillos de polietileno de alta densidad 26
Figura 7. metodología de operación reactor UASB hibrido. 28
Figura 8. pH 32
Figura 9. Alcalinidad Total 33
Figura 10. Índice AI/AP 34
Figura 11. AVT 36
Figura 12. DQO 37
Figura 13. Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV). 38

Lista De Tablas

Tabla 1. Resumen de los principales artículos en Digestión Anaerobia en dos Fases 16
Tabla 2. Frecuencia de Medición 29
Tabla 3. Composición agua sintética 30
Tabla 4. Cantidad de Agente Alcalinizante 31

1) RESUMEN

Este proyecto consiste en la utilización de reactores UASB en dos fases, donde un reactor se encarga de la fase acidogénica, mientras que otro reactor es el encargado de la fase metanogénica, con el fin de producir una mayor cantidad de biogás como subproducto del proceso y al mismo tiempo disminuir la carga orgánica que compone el agua residual de estudio. Esta investigación se realizó mediante una alimentación de agua sintética en el reactor acidogénico, con características muy similares a las aguas residuales de la industria de bebidas no alcohólicas, donde su principal fuente de carbono fue la sacarosa, la cual mantuvo una carga volumétrica constante de 11(kg/m3.d-1), durante toda la etapa de operación. Uno de los objetivos en la fase metanogénica, fue alimentar al reactor metanogénico con un 100% de efluente de la fase acidogénica, por lo cual inicialmente se realizó una aclimatación en el biorreactor y de tal manera obtener las condiciones ideales para el crecimiento de la biomasa, por medio de un afluente sintético. Al interior del reactor, se agregó un inóculo para ayudar con el arranque del reactor, siendo este un lodo proveniente de un proceso metanogénico dentro de una industria lechera con un promedio de solidos totales de 47027(mg/L); Después se incorporó un lecho fijo compuesto por anillos de polietileno de alta densidad, para evitar el arrastre de la biomasa.

La operación del reactor se estableció, durante 5 fases diferentes, en las cuales se empezó a variar el afluente en diferentes porcentajes, comenzando con un 25%, posteriormente aumentando a un 50% y 75%, para así finalizar con una alimentación del 100% de agua del efluente acidogénico, con el fin de buscar y evaluar el desempeño del sistema en dos fases de la digestión Anaerobia que se propuso para el tratamiento de aguas residuales de la industria de gaseosas, además, a este proyecto se le realizaron diferentes mediciones en las cuales a lo largo de los 202 días de operación del sistema, se obtuvo que en la fase 2 se presentó un DQO máximo removido con un valor del 31%, mientras que el COV del sistema fue más alto en la quinta fase con un 8.8 kg/m3*día, en donde los dos reactores funcionan con un TDH de 8 horas y bajo una temperatura mesofílica.

2) ABSTRACT

This project consists of the use of UASB reactors in two phases, where one reactor is responsible for the acidogenic phase, while another reactor is in charge of the methanogenic phase, in order to produce a greater quantity of biogas as a by-product of the process and at the same time decrease the organic load that composes the residual water of study. This research was carried out by means of a synthetic water feed in the acidogenic reactor, with characteristics very similar to the wastewater of the non-alcoholic beverage industry, where its main carbon source was sucrose, which maintained a constant volumetric load of 11. (kg / m3.d-1), during the entire operation stage. One of the objectives in the methanogenic phase was to feed the methanogenic reactor with 100% of the effluent from the acidogenic phase, for which an acclimation was initially carried out in the bioreactor and in such a way as to obtain ideal conditions for the growth of the biomass, by means of a synthetic tributary. Inside the reactor, an inoculum was added to help start the reactor, this being a sludge from a methanogenic process within a dairy industry with an average total solids of 47027 (mg / L); Then a fixed bed composed of high density polyethylene rings was incorporated to avoid the dragging of the biomass.

The operation of the reactor was established, during 5 different phases, in which the tributary began to be varied in different percentages, starting with 25%, later increasing to 50% and 75%, thus ending with a 100% feed. of water of the acidogenic effluent, in order to seek and evaluate the performance of the system in two phases of the Anaerobic digestion that was proposed for the treatment of wastewater from the soft drink industry, in addition, this project was made different measurements in which during the 202 days of operation of the system, it was obtained that in phase 2 a maximum COD removed with a value of 31% was presented, while the VOC of the system was higher in the fifth phase with a 8.8 kg / m3 * day, where the two reactors operate with a TDH of 8 hours and under a mesophilic temperature.

Palabras Clave: Metanogénica, Acidogénica, Mesofílica, Biogás.

3) INTRODUCCIÓN

En la actualidad se han desarrollado diferentes formas para tratar el agua residual proveniente de industrias, de esta manera se tiene que en las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR), se está implementando la utilización de reactores biológicos que pueden ser de carácter aerobio o anaerobio, donde su aplicación se da dependiendo de las características del agua que ingresa y los parámetros con los que debe salir la misma, después del proceso de tratamiento. Dichos reactores son usados por los diferentes beneficios que implica la puesta en marcha y desarrollo en la operación, pero en este trabajo nos centraremos en la aplicación y manejo específicamente de reactores anaerobios, los cuales hacen parte de las posibilidades a usar dentro de los ya mencionados reactores biológicos (Mendes (2015)).

A medida que avanza la implementación y estudio de estos reactores anaerobios se evidencia que al realizar el determinado proceso de digestión anaerobia para lograr reducir la carga orgánica que contiene el agua residual de las industrias (Romero & et al., 2011), se genera un subproducto el cual está compuesto principalmente por gases como el Hidrogeno (H_2) y Metano (CH_4), este último conocido por los efectos nocivos en la atmosfera ya que es un gas de efecto invernadero y por esta razón, muchas veces estos reactores son descartados, pues anteriormente era común realizar la quema de este biogás o simplemente ser soltado a la atmosfera.

Después de la realización de distintas investigaciones se identificó que el metano producido por los procesos de digestión anaerobia, pueden ser usados como un tipo de combustible ya sea calorífico o de orden energético, situación que favorece a estos sistemas, pues se tendría un aprovechamiento del subproducto generado en vez de simplemente ser desechado, además el aprovechamiento que se le está dando al Biogás, permite reducir costos en las plantas de tratamiento gracias a los procesos de Biorrefineria, Spaccini (2018), que permiten recuperar un porcentaje de la energía utilizada en el proceso de digestión y utilizarla para el mantenimiento de la planta.

Por tanto, con el fin de conocer la eficiencia que puede llegar a presentar el uso del metano como una fuente potencial de energía, se busca realizar un sistema anaerobio en dos fases, en donde se tenga en un reactor UASB para la fase acidogénica y en otro reactor UASB hibrido el cual contenga la fase metanogénica, con esto se busca evaluar que tan eficiente puede ser este sistema, tanto en la

remoción de la carga orgánica que compone el agua y el volumen producido de biogás que pueda ser útil y para lograr esto se plantea un sistema en el cual el reactor metanogénico sea alimentando 100% con el efluente obtenido en el reactor acidogenico.

4) OBJETIVO

4.1) OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el desempeño de un reactor UASB híbrido de manto de lodos y flujo ascendente, alimentado del efluente de un reactor acidogénico.

4.2) OBJETIVO ESPECIFICO

- Determinar la producción volumétrica del biogás y el rendimiento en un reactor UASB híbrido de mando de lodos y flujo ascendente.
- Calcular la energía que se puede recuperar del proceso biológico en un reactor UASB híbrido de manto de lodos y flujo ascendente.

5) PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad para el tratamiento de aguas residuales con características de carga orgánica elevadas, se plantea como tratamiento secundario, la realización de un reactor anaerobio de flujo ascendente con bajo requerimiento energético, que es capaz de reducir la carga contaminante hasta un 60%, generando aproximadamente un 10% de lodos a comparación de otros tratamientos. Según Neumann & Jeison (2015), la degradación de materia orgánica sin la presencia de oxígeno, crea una mezcla gaseosa como subproducto el cual es llamado biogás.

Por tanto, Burbano (2006), considera que el biogás es una forma biológica de energía que puede ser sintetizada y está compuesta por metano CH_4 (perjudicial para el medio ambiente si es liberado a la atmósfera), dióxido de carbono CO_2 e Hidrogeno H_2; Dicho subproducto es considerado combustible debido a la presencia de metano, ya que su poder calorífico es aproximadamente de 5500 ($Kcal/m^3$), cuando la producción de metano es similar al 60% del biogás obtenido. (Ardila & Isidro, 2002).

La energía utilizada en el mantenimiento y crecimiento celular es de aproximadamente el 10% de la totalidad del sistema, el cual se utiliza en el crecimiento de las bacterias que son encargadas de degradar la materia orgánica, por lo cual se busca evaluar la aplicación del diseño de reactores anaerobios en fases, donde se mantienen dos reactores en serie. Uno está encargado de la fase acidogénica, mientras que el otro de la fase metanogénica, estos reactores funcionan con un diseño de biomasa híbrido, en donde la parte inferior del mismo está conformado como un reactor UASB de flujo ascendente y la parte superior consta de un filtro, conocido como lecho fijo; Con este sistema de dos fases se busca una mayor eficiencia, rendimiento y potencial en la degradación de materia orgánica, buscando en su proceso la recuperación de energía en forma de metano, donde los subproducto sean aprovechados como energía para el sostenimiento de las plantas de tratamiento de agua residual. (IDAE, 2007).

Por lo tanto, en esta propuesta el principal propósito es cuantificar el metano producido y su rendimiento energético a partir de un tratamiento anaerobio de dos fases en un reactor UASB híbrido, alimentado con el efluente de un biorreactor acidogénico.

6) ANTECEDENTES

En Colombia se han realizado distintos tipos de proyectos para el tratamiento de agua residual usando el sistema de fases; Berrio *et al*., (2017), aplicaron una metodología experimental en una planta de tratamiento de agua residual en la ciudad de Medellín, con un sistema de tres fases compuesto por un tanque anaeróbico de 25L, un tanque anóxico 50L y por último un tanque aeróbico de 75L, con el objetivo de aumentar el tiempo contacto entre la biomasa existente y el agua residual tratada.

Por otra parte, García & Colaboradores (2011), usan las dos fases para mantener y controlar la estabilidad en los biorreactores a posibles cambios en la composición del afluente o cambios de velocidad por tanto plantean un reactor UASBF a escala piloto el cual consiste en un reactor anaerobio de flujo ascendente más una zona de filtros con volumen aproximado de 1.15(m3) con procesos de hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis, metanogénesis con 19 procesos cinéticos bioquímicos, 3 cinéticos de transferencia de gas-líquido, con medidores de pH,, temperatura, biogás, lo que busca generar una mayor optimización en los procesos de degradación de materia por medio de sistemas anaeróbicos.

El objetivo a elaborar en dicho artículo se establece en determinar la eficiencia de en un sistema de escala en dos etapas, mediante la producción de PHAs (Polihidroxialcanoatos) a través de cultivos microbianos mixtos, los cuales tienen como principio, el funcionamiento de reactores aerobio y anaerobio operando en lotes de manera secuencial y el trabajo a realizar se estableció mediante la degradación anaerobia de colorantes, donde su funcionamiento principal se determinó por medio de tres fases, estableciendo un reactor anaerobio de manto de lodos junto con dos biorreactores anaeróbicos sumergidos con una membrana en la cual en su interior contenía carbón activado. Estableciendo así tres fases con el fin de evaluar el efecto del carbono en la eliminación del color y materia orgánica.

En la Figura 1, se muestra el número de artículos publicados referentes al avance de tratamientos en dos fases desde| el año 2008 hasta la actualidad.

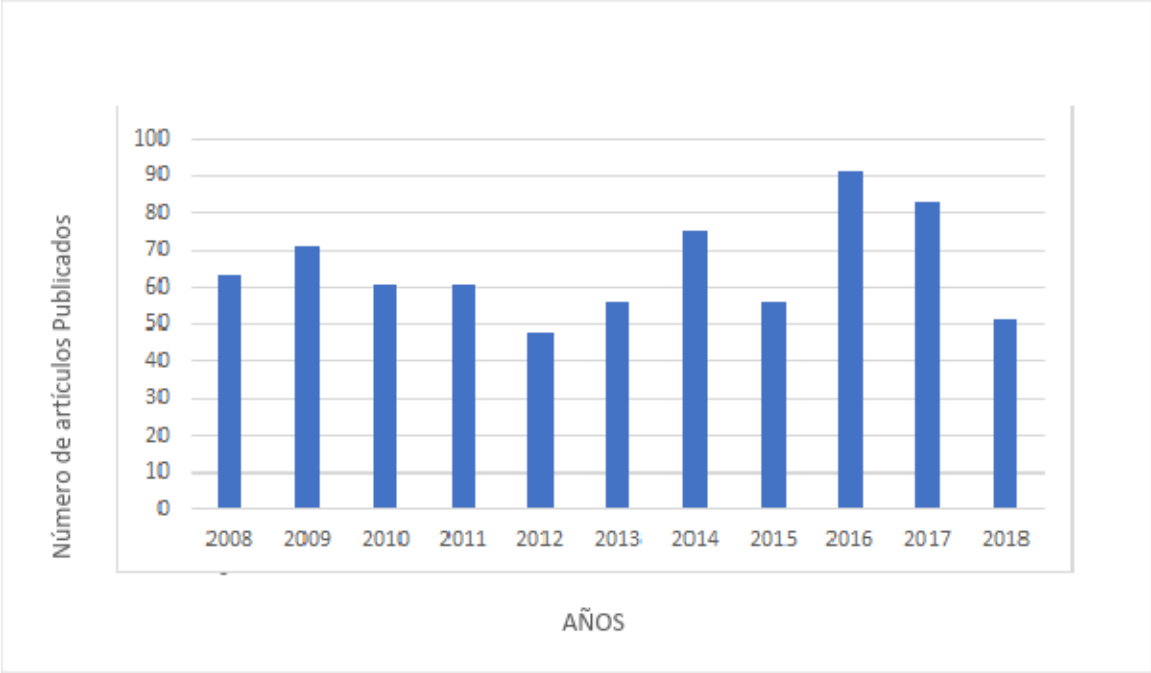

Figura 1. Número de documentos publicados a través de los últimos 10 años (2008-2018). tomado de: base virtual scopus. palabras clave (anaerobic treatment in two phases) consulta 16/08/2018).

Análisis de artículos basados en reactores anaerobios de dos fases (2008-2018):

Observando la Figura 1, se identifica que en los últimos 10 años se presenta un gran crecimiento en las investigaciones de tratamientos anaerobios en dos fases, las cuales sus publicaciones tienden a ser mayor a 90 artículos, tomando como punto de referencia principal al país de China, debido a las crecientes investigaciones que presentan, ya que durante esta década cuentan con el número más alto de publicaciones de artículos, comparado con países como España, Estados Unidos, India, México, Turquía, Argentina, Francia y Japón además se puede observar que países como Alemania, Brasil, Corea del sur, Italia, Bélgica y Dinamarca se han unido durante el transcurso de esta década al proceso de investigación de tratamiento anaerobio en dos fases.

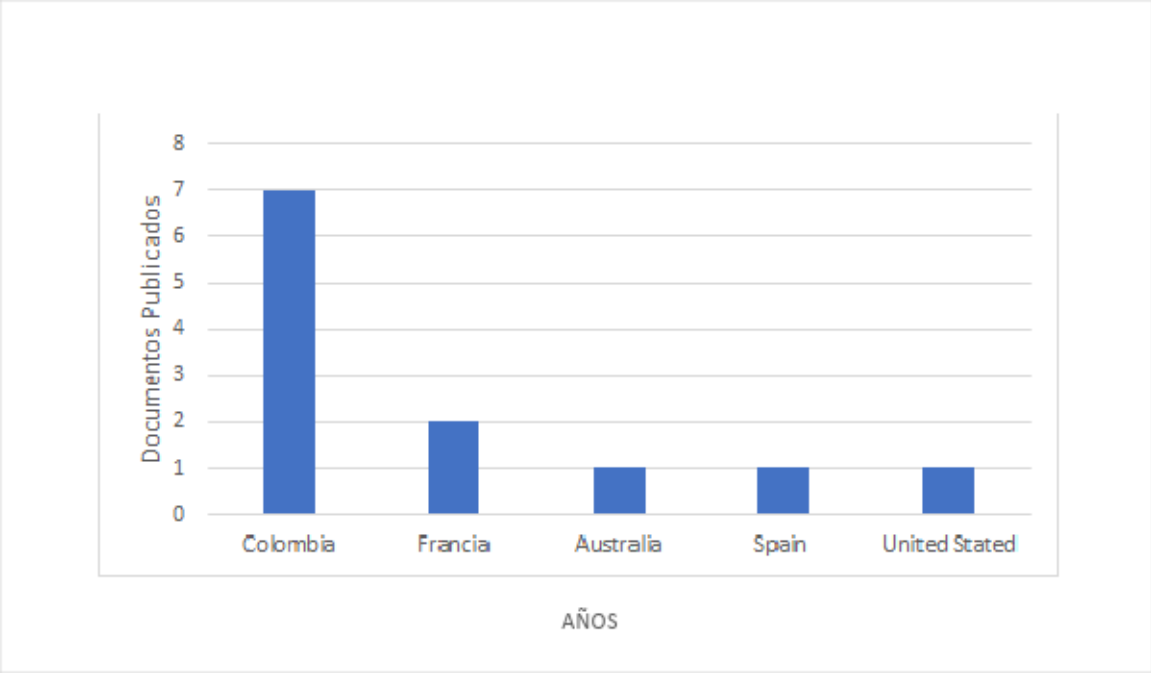

Figura 2. comparación de documentos publicados en colombia y otros países (2008-2018). tomado de: base virtual scopus. palabras cables (anaerobic treatment in two phases) consulta 16/08/2018)

Colombia es uno de los países que presenta una baja frecuencia en publicación de artículos, ya que su proceso de investigación no ha tenido mayor trascendencia y su principal contenido se basa en los procesos de digestión anaerobia. Para conocer un poco más sobre los procesos de investigación realizados en los últimos 10 años tenemos:

En (2003) según Alzate & Pérez; Se compararon dos sistemas mesófilicos a escala de laboratorio para la digestión anaeróbica de la fracción orgánica de los desechos sólidos municipales. Un sistema que consistió en dos reactores empaquetados con OFMSW y el otro consistió en un flujo ascendente en un reactor anaeróbico con manto de lodo, acoplado a un reactor lleno.

Según Jung H & Kim J,(s.f.), la viabilidad de la co-digestión de Ulva con suero, se ha investigado a diferentes proporciones de mezcla de sustrato en dos reactores continuos, ejecutados con proporciones crecientes y decrecientes de Ulva respectivamente. La co-digestión con suero, resultó beneficiosa para la biometanización de Ulva, con un rendimiento de metano mayor en hasta 1,6 veces en las fases de co-digestión, que en las fases de mono digestión de Ulva.

7) JUSTIFICACIÓN

En Colombia el 78% de las aguas residuales se vierten en los ríos sin ningún tipo de tratamiento, razón por la cual, la contaminación por esta vía constituye uno de los problemas ambientales de mayor impacto para la sociedad colombiana. (Díaz (2002)). El deterioro ambiental con respecto a recursos hídricos y la problemática de consumo que actualmente existe con respecto a los combustibles fósiles, conlleva a la sociedad a generar nuevas alternativas medioambientales en los sistemas de tratamiento de aguas residuales y generación de combustibles amigables con el medio ambiente. La planeación de diferentes sistemas de tratamiento a nivel mundial, se están incentivando cada vez más y entre los más eficientes se encuentran los sistemas de digestión anaerobia en dos fases, pero este tipo de tratamiento de agua residual es un tema que ha sido muy poco abordado en Colombia, por que en el procedimiento se generan gases de efecto invernadero; Según Carceller (2005) los procesos anaerobios eliminan aproximadamente un 80% de la materia orgánica y la descomposición de dicha materia orgánica es capaz de generar entre un 70-80% de biogás, compuesto principalmente por gases de efecto invernadero, pero este subproducto puede ser utilizado como una forma de combustibles renovables o biocombustibles, para evitar o reducir el impacto negativo que pudiese llegar a generar la liberación de estos gases a la atmósfera, por tanto Versari (2008), menciona la biorrefinería, la cual nos habla acerca de diversas maneras de producir energía a través de los subproductos generados por la biomasa o por procesos biológicos, incorporando los productos secundarios en forma de insumos o energía para desarrollar nuevamente los procesos de tratamiento de aguas residuales e incluso en el mantenimiento de las mismas plantas de tratamiento, ocasionando una reducción en los costos y en la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, además es uno de los tratamientos que genera poca cantidad de fangos granulares anaerobios, con una producción no mayor al 5% aproximadamente.

Por tanto, este trabajo de investigación es importante para determinar la efectividad del tratamiento anaerobio en dos fases, donde su función principal es lograr una mayor remoción de materia orgánica mediante un grupo de microorganismos presentes en el lodo anaerobio, con el fin de utilizar sus productos de oxidación como el Metano (CH_4), para ser utilizado como una fuente de energía que se pueda reutilizar en el mismo proceso.

8) ESTADO DEL ARTE

DIGESTION ANAEROBIA DOS FASES

Tabla 1. Resumen de los principales artículos en Digestión Anaerobia en dos Fases

AUTOR	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	PRINCIPALES HALLAZGOS
(Campuzano et al., 2018)	En la elaboración de este proyecto se utilizó una planta piloto con duración aproximada de un año, que consta en su primera etapa de un reactor con lecho de lixiviados e hidrolisis anaerobio, donde para su segunda etapa se establece una capa de lodo anaeróbico en un reactor (UASB) de flujo ascendente.	-La variación de su composición en desperdicio de alimentos no afecta la eficiencia del reactor. -Logra una mejor estabilidad a la variabilidad de las tasas de carga de hidratos de carbono. -Disminución de la recuperación de la DQO, cuando aumenta el ORL.

(San-Valero et al., 2018)	En este proceso se establecen dos etapas que permiten la oxigenación de la fase liquida, evitando la dilución de biogás, En un sistema de absorción acoplada con un biorreactor de columnas de burbuja.	-Alta eficiencia de remoción de H2S a altas tasas de carga de azufre -El SOP se mantuvo por encima del 83%

Continuación Tabla 1.

(Nanes et al., 2018)	Para esta investigación se implementaron dos reactores, en el cual el primero tiene una capa de lodo anaeróbico de flujo ascendente y el segundo reactor aeróbico lleno de espuma de poliuretano de forma cúbica para un medio de soporte. Se utilizaron aguas residuales sintéticas para alimentar continuamente los reactores.	- la eliminación de nitrógeno en el reactor aeróbico se relacionó principalmente con la desnitrificación sobre nitrito y una porción menor a través de nitrato - La amonificación en el reactor anaeróbico fue de alrededor del 7%.
(Ripoll, 2018)	En este proceso se inocularon dos reactores EGSB en lo cual se utilizó lodo anaeróbico granular	- La abundancia de espiroquetas aumentó en comparación con el inóculo

	de una planta lechera. El reactor 1 se alimentó con carbohidratos; mientras que el Reactor 2 se alimentó con proteínas y carbohidratos siendo estos reactores operados por etapas.	- Después de ajustar la alcalinidad, el reactor 1 recuperó su eficiencia de eliminación de DQO. - El SAMA aumentó, lo que evidencia que los metalogénicos acetoclásticos se recuperaron de la inhibición de los AGV

Continuación Tabla 1.

(Campos et al ., 2018)	Para esta investigación se utilizaron dos reactores de manera secuencial para llevar a cabo procesos de nitrito parcial y anammox utilizando un reactor de nitrito parcial alimentado con agua de sobrenadante de un digestor de lodos y el sistema anammox corresponde a la corriente de salida del reactor de nitrito parcial.	-Reducción de DQO del 60%. -Los componentes no amoniacales del sistema afluente disminuyen la actividad de los AOB hasta un 60%. -El reactor de nitrito parcial fue capaz de eliminar un NRL de 0,45g N/ (L.d).
(Pereira, 2018)	Utilizando dos reactores UASB; siendo un reactor convencional y un reactor modificado en escala, alimentándose	-La RM establece una reducción en la producción de espuma entre 40-65%.

	con aguas residuales domesticas después de implementar un tratamiento preliminar.	-Las dimensiones del compartimento de gas mejor mucho mas el control de escoria en MR
(Castro, 2018)	El objetivo principal es evaluar el impacto ambiental de los digestores implementados en granjas de pequeña escala en Colombia	-La implementación de los digestores pueden reducir el impacto asociado con la gestión de desechos hasta un 80%

Continuación Tabla 1.

(Moreno-Andrade, 2018)	Se tomo a partir de un tratamiento de aguas residuales municipales iniciando con un proceso de dos etapas de fermentación en un reactor de secuencia por lotes para producción de H2 y el metalogénico utilizando el efluente de la etapa fermentación en un SBR.	-La adición de lodo facilita la fermentación de medida en que la fase de lactancia del proceso disminuye. -La eliminación de carbohidratos fue mayor al 88% para la operación del proceso de dos etapas.
(Martins, 2018)	Esta investigación analiza el comportamiento de un reactor para la generación de biogás a partir de una digestión de residuos de una planta destilería de ipiranga, los cuales son reactores a de banco en sistemas de lotes. Con el fin de evaluar la influencia de sustratos y pH para la producción de biogás.	-Para la operación del proceso de dos etapas El BPR logrado fue de 156.67 ml de biogás g-1 COD. -Este produjo un rendimiento de 129 ml de biogás g-1 de labranza

Mediante este proceso se puede observar las diferentes aplicaciones de las investigaciones, analizando que a medida de los años se han establecido grandes avances para un proceso anaerobio en dos fases de reactores UASB, lo cual se observa sus principales hallazgos y diferentes aplicaciones; por lo tanto este proceso busca mostrar como resultado una mayor efectividad del tratamiento anaerobio en dos fases, donde uno de sus principales logros es la eficiencia en la degradación de materia orgánica pero también el aprovechamiento de uno de sus subproductos como el metano (CH4) para una mejor utilización y aplicabilidad en la vida cotidiana. Por lo tanto, se quiere lograr establecer mejores procesos con diferentes aplicaciones para lograr establecer mayores hallazgos que puedan ser adquiridos con más facilidad y mejor efectividad.

9) MARCO CONCEPTUAL

DIGESTIÓN ANAEROBIA: Está compuesta por etapas como la desintegración, la hidrólisis, el proceso de fermentación o acidogénesis y finalmente se produce la metanogénesis, esta secuencia es eficaz en la reducción de organismos patógenos y lodos además su consumo de energía es bajo (Lozada, 2010).

En la digestión anaerobia se tienen tres etapas para los residuos sólidos los cuales son conocidos como hidrolisis, acetanogénesis y metanogénesis mientras que para los residuos líquidos se conocen dos etapas las cuales son llamadas metalogénesis y acidogénesis. Lorenzo & Obaya (2006)

REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE: Este tipo de reactores se usan para tratar aguas residuales de origen Industrial o doméstico, en donde el afluente ingresa al digestor por la parte inferior en donde se encuentra el lodo, garantizando la retención de la biomasa encargada de la degradación de la materia orgánica, además cuenta con buena tolerancia a las cargas orgánicas altas. (Romero & et al., 2011).

Según Lorenzo & Obaya (2006) un reactor anaerobio de flujo ascendente más conocido por las siglas (UASB) cuenta con un manto de lodos flocúlenlo o granular con alta capacidad para sedimentar; además en ocasiones, consiste en un tanque Inhoff, compuesto por cámaras de decantación y digestión de manera superpuesta que definen 3 zonas: zona de lecho de lodos, zona donde se encuentra la dispersión de los microorganismos o biomasa y finalmente la zona de separación de biogás.
Por otra parte, Mendes (2015), menciona que un proceso biológico se define como anaerobio cuando no están presentes ni oxígeno disuelto ni nitratos. El proceso se lleva a cabo por un amplio espectro de microorganismos, principalmente bacterias. En su mayoría son anaerobias, por lo que la presencia de oxígeno en el medio provoca su desaparición (bacterias metano-génicas). La digestión anaerobia está

caracterizada por la existencia de varias fases consecutivas diferenciadas en el proceso de degradación del substrato.

Al utilizar el tratamiento secundario mencionado anteriormente el proceso de degradación produce un biogás el cual es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable, por tanto, el biogás está siendo utilizado en las distintas plantas de tratamiento como una forma de auto-manutención ya que es capaz de producir energía eléctrica que alimenta la (PTAR), disminuyendo costos, garantizando el buen diseño y manteniendo del diseño del tren de tratamiento de agua residual por medio del tratamiento secundario, con reactores anaerobios de flujo ascendente (Moreno, 2011).

Al agua residual se le realizan distintas características físicas, como temperatura, turbidez, color, sólidos, entre otros; Mientras que en las características Químicas se deben tener en cuenta las proteínas, carbohidratos, grasas y aceites, demanda bioquímica de Oxígeno (DBO), demanda química de Oxígeno (DQO), el carbono orgánico total (COT), pH, alcalinidad, cloruros entre otros (LÓPEZ, 2013).

López & Ricardo (2003), dieron a conocer que las aguas servidas tienen varios orígenes:
Aguas residuales domésticas: Provenientes de sanitarios, lavaderos, cocinas y otros elementos domésticos. Estas aguas están compuestas por sólidos suspendidos (generalmente materia orgánica biodegradable).
Aguas residuales industriales: Procesos industriales o manufactureros y, debido a su naturaleza, pueden contener, además de los componentes citados anteriormente respecto a las aguas domésticas, elementos tóxicos tales como, plomo, mercurio, y níquel.
Aguas lluvias: Provienen de la precipitación pluvial y debido a su efecto de lavado sobre tejados, calles, pueden contener una gran cantidad de sólidos suspendidos.

Mientras tanto Spaccini (2018) menciona la Biorrefinería, como una forma para transformar la energía usada por la biomasa, en el proceso de digestión anaerobia como una forma de recuperar o generar energía.

Para lograr una eficiente recuperación de energía, se debe verificar el buen funcionamiento del reactor a lo largo del tiempo de operación, por tanto, se utilizan Índices de alcalinidad, como la relación AI/AP, que es la relación entre la alcalinidad de los AGV y la alcalinidad bicarbonática (Pérez, 2008), lo cual nos da una aproximación de la estabilidad que presenta el sistema, al obtener resultados de esta relación entre 0.2 y 0.3, se dice que el sistema es estable, a diferencia de la obtención de resultados por encima de 0,35 lo cual indica que el afluente o efluente estudiado es inestable y presenta características acidas.

TEMPERATURA: La temperatura dentro de un biorreactor suele ser un parámetro decisivo para el desempeño del mismo, ya que puede inhibir el desarrollo de la biomasa y la producción eficiente del biogás, por tanto, se ha encontrado que en temperaturas mesofílicas, las cuales se encuentran con rangos entre 30°C y 35°C, las bacterias metanogénicas, presentan una mayor producción de biogás, a diferencia de temperaturas por debajo de 20°C donde la producción de biogás disminuye. (vinasco, s.f).

BIOGAS: El biogás es un subproducto que se genera después de realizar la mezcla de la biomasa con el agua que se desea tratar, formando una suspensión dentro del biorreactor, en donde se genera un proceso de licuefacción seguida de una etapa de gasificación; En la primera etapa se da un proceso de hidrolisis donde se producen ácidos y alcoholes, a diferencia de la fase de gasificación, donde las bacterias metanogénicas, están encargadas de fracturar las estructuras de los ácidos y los alcoholes para generar gases que se encuentran conformados por metano, dióxido de carbono, nitrógeno y en algunas ocasiones ácido sulfhídrico.(vinasco, s.f); Además, se menciona que la utilización del biogás es capaz de reducir la contaminación, pues los gases generados no son expuestos a la atmosfera, sino al contrario son usados como energía en las plantas de tratamiento, mencionando que el efluente de estos sistemas, tienen una mayor cantidad de amoniaco, lo cual los hace factibles en la utilización de riegos, incluyendo que son capaces de mejorar las propiedades de los suelos. (vinasco, s.f).

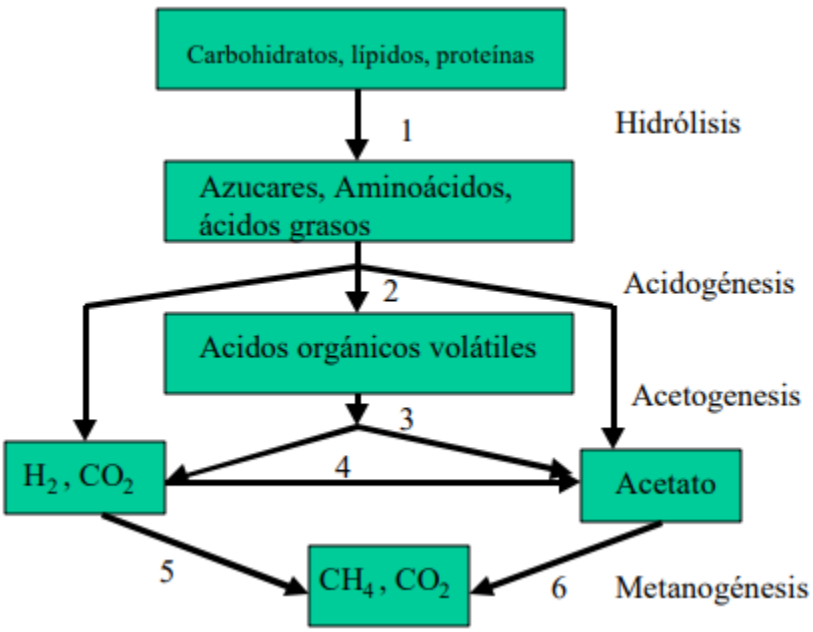

Figura 3. Producción de biogás- Imagen tomada de (vinasco, s.f).

REACTORES EN SERIE: Los reactores en serie son una de las alternativas más usadas en la actualidad, ya que son capaces de mejorar los resultados obtenidos por un solo reactor, al ser capaz de reducir altas concentraciones de cargas orgánicas y generar mayor producción de biogás en este proceso, además de tener una mejor estabilidad de lodos. Uno de los montajes más sencillos es el compuesto por dos reactores en serie, los cuales se manejan con la misma temperatura de operación, en donde la degradación de Solidos Suspendidos Volátiles (SSV) y producción de biogás aumentan, pues el tiempo de retención hidráulico (TDH) aumentan al separar cada fase y al tener un mayor valor en los resultados de carga orgánica (Moreno & et al.,2016).

10)MARCO LEGAL

Para la realización de este proyecto se tendrá en cuenta la RESOLUCIÓN NÚMERO 1207 DE 2014, en la cual se hablan sobre los parámetros de aguas residuales tratadas; RESOLUCIÓN 631 DE 2015 que nos indica los valores permisibles en los vertimientos en un cuerpo de agua, además de la ley 09 de 1979 que habla sobre el control sanitario del agua 11.

Los datos de DQO, SST, ALCALINIDAD, ÁCIDOS, COV, AVT y CARBOHIDRATOS, obtenidos en el presente trabajo investigativo, serán comparados con los valores o rangos indicados por las normativas colombianas mencionadas anteriormente, con el fin de identificar después de realizado el tratamiento si el efluente obtenido cumple o no con lo estipulado por las normativas.

11)MATERIAL Y METODOLOGÍA

Montaje del reactor UASB Hibrido

Para este proyecto de digestión anaerobia en dos fases, se utilizó un reactor UASB de flujo ascendente hibrido para la fase metanogénica, hecho de un material acrílico, el cual tenía una longitud de 70 cm, con dos válvulas utilizadas para tomar muestras del fluido dentro del reactor y con distancia entre sí de 45cm y dicho reactor se diseñó para contener un volumen útil de 3,36 L.

Dentro del reactor se introdujo lodo siendo este un1/3 del volumen útil del reactor, además en la parte superior del reactor se colocó un lecho fijo de 20 cm con anillos de polietileno de alta densidad.

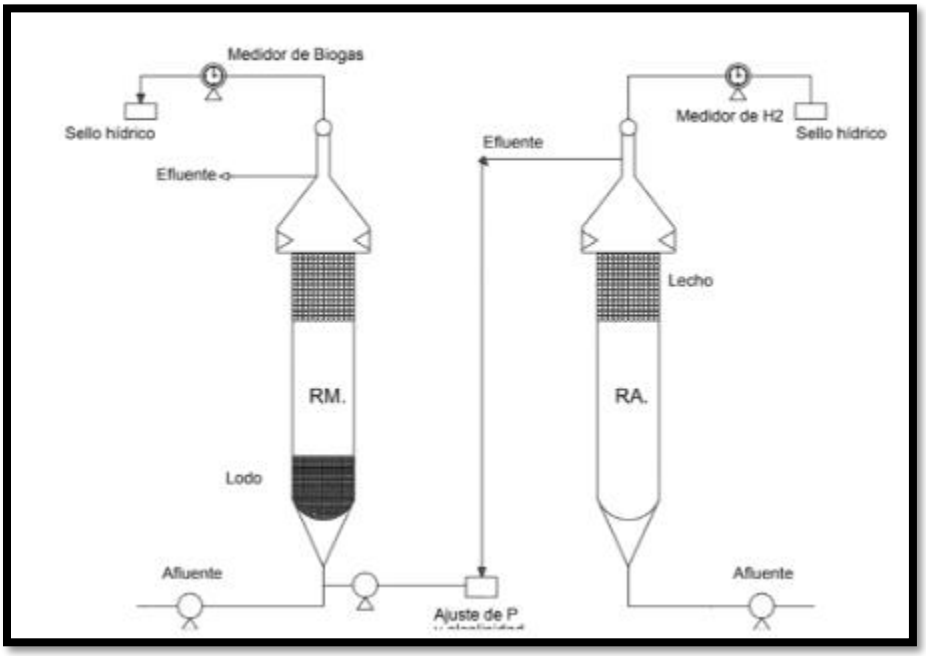

Figura 4. Reactor UASB Híbrido - fase metanogénica

Figura 5. Sistema de digestión Anaerobia en dos fases

Con el fin de retener la biomasa generada dentro de reactor se loco un lecho fijo compuesto de anillos de polietileno de alta densidad con un diámetro aproximado de 2cm y espuma en el interior de los mismos.

Figura 6. Anillos de polietileno de alta densidad

Inoculo

El inoculo usado en el reactor UASB hibrido de manto de lodos y flujo ascendente, corresponde a un lodo de una industria láctea, el cual formaba parte de un reactor ya existente, bajo condiciones metanogénicas, por tanto se realizaron ensayos para determinar la cantidad de solidos Totales que contenía el lodo, por tal motivo se hicieron tres replicas, donde sus resultados fueron de 33670 mg/l, 74760mg/l y 32652mg/l, respectivamente, indicando que el lodo a utilizar dentro del biorreactor, contenía un promedio de 47027mg/l de solidos totales.

Metodología

En la Figura *7*. metodología de operación reactor UASB hibrido.Figura *7*, se observa la metodología experimental, en donde el primer paso fue analizar el diseño del reactor UASB Híbrido identificando el volumen útil del lecho a utilizar, incluyendo la cantidad de anillos de polietileno de alta densidad, cuya función es ayudar a la fijación de la biomasa dentro del reactor, evitando el arrastre de la misma, además de esto se propuso un caudal, un TDH y una porosidad del sistema, para garantizar el funcionamiento. Posteriormente se construyó el reactor UASB con un volumen útil de 3,36 litros, en donde en su fondo se colocó lodo proveniente de un reactor de una industria lechera el cual tenía bacterias metanogénicas que ayudarían con la implementación del proceso, así mismo en la parte superior del reactor UASB se colocaron anillos de polietileno de alta densidad a lo largo de 20 cm y en el centro de estos se introdujeron pedazos de esponjas las cuales fueron sumergidas en el lodo a usar durante aproximadamente 24 Horas.

Después del montaje del reactor se procedió a realizar una aclimatación del sistema en donde dicho reactor fue alimentado inicialmente con 100% de agua sintética, donde la velocidad de flujo que circulaba dentro del reactor, era controlada por una bomba peristáltica de marca masterflex, específicamente a una velocidad de 4.5 (km/h), para lograr un TDH de 8 horas y obtener como resultado que parámetros como la remoción de DQO y ph tuvieran valores constantes, lo cual nos indicaba que podíamos continuar y pasar a la siguiente fase dentro de la alimentación del reactor.

El reactor UASB en la fase Metanogénica fue operado durante 202 días, en los cuales pasó por 5 fases distintas, en donde su variación se presentó en el porcentaje de efluente acidogénico agregado al afluente metanogénico del reactor, al incrementar en un 25% el porcentaje del efluente acidogenico, pues la finalidad se presentaba en alimentar a la fase metanogénica con el 100% del efluente obtenido del reactor acidogénico, para lograr esto, en el reactor metanogénico, se realizó un proceso de aclimatación y al iniciar las distintas fases se identificó que la carga orgánica volumétrica (COV) para la fase 2 fue de 4,2 ± 0,978 (kg/m3d), mientras que en la fase 3 y 4, se obtuvo un resultado de COV 8,6 ± 1,389 (kg/m3d) y tuvo un aumento de cov en la última fase al tener como resultado 8,8 ± 4,3 (kg/m3d).

A medida que operaba el reactor metanogénico en las diferentes fases se tuvo un control de la acidificación del efluente acidogénico, por medio de la utilización de bicarbonato de sodio, en el afluente utilizado para alimentar al reactor metanogénico, además cabe mencionar que la temperatura de operación se encontraba dentro de un rango de 30ºC a 35ºC, lo cual corresponde a una temperatura mesofílica, que favorece a las bacterias metanogénicas de modo que el proceso se viera beneficiado.

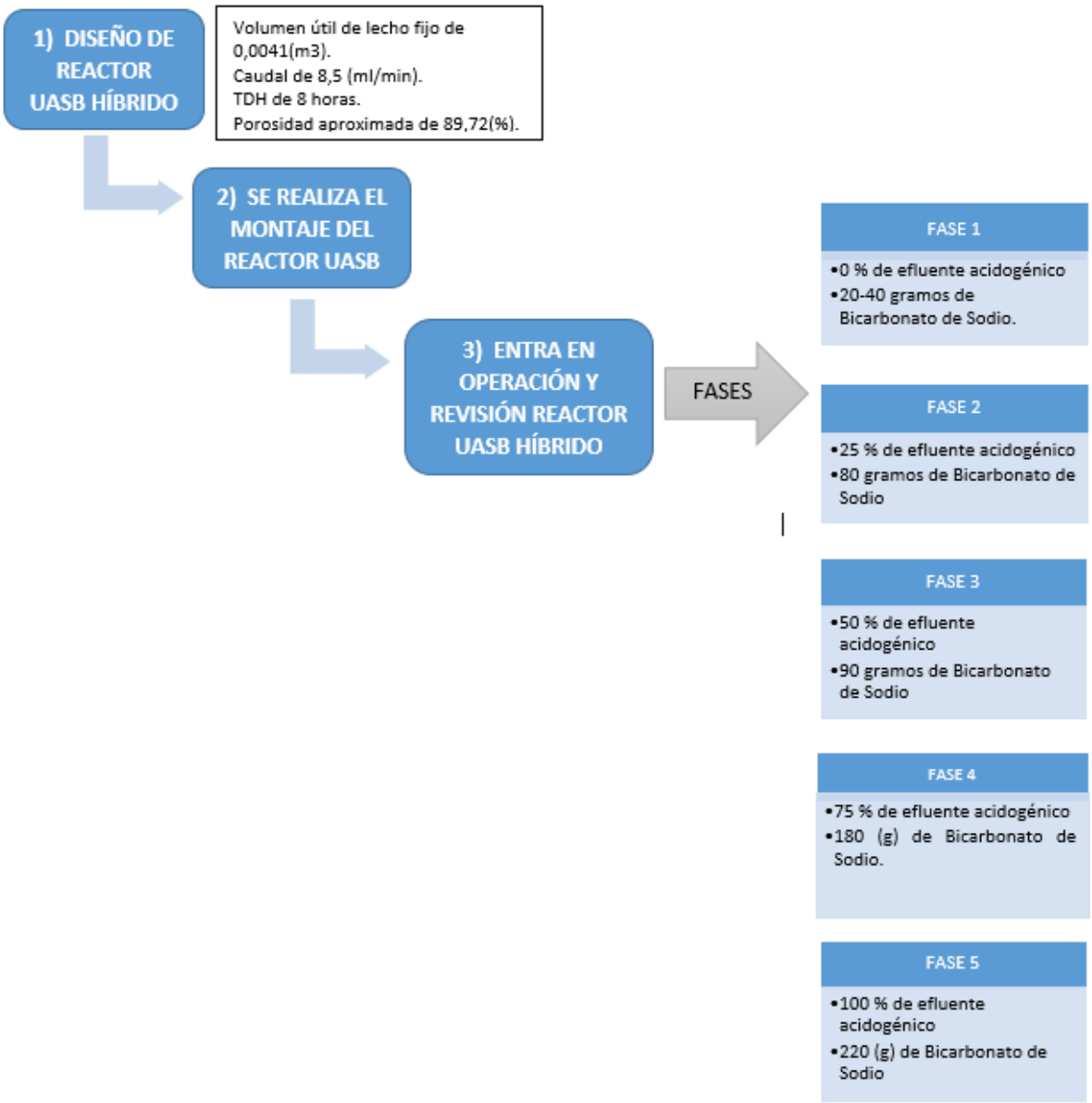

Figura 7. metodología de operación reactor UASB hibrido.

Parámetros Físico – Químicos a medir del reactor.

Para determinar y obtener resultados del sistema en dos fases y específicamente del reactor UASB híbrido que contenía la fase metanogénica, se realiza un seguimiento por medio de la medición de pH y Caudal, parámetros de los cuales se tomaban datos todos los días, mientras que, los parámetros de alcalinidad total, alcalinidad parcial, composición de del biogás, AVT, demanda química de oxígeno DQO y la relación AI/AP eran tomados dos veces por semana a diferencia de los sólidos suspendidos Totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV), ya que

fueron medidos una vez por semana y por último, se obtuvieron datos una vez cada 15 días de los parámetros de Nitrógeno y Fósforo(PT) (Ver Tabla *2*):

Tabla 2. Frecuencia de Medición

Parámetro	Frecuencia de medición	número del método según el SM
***Ph**	Diaria	SM 4500-H+ B
Caudal	Diaria	N.A.
Alcalinidad total	2 veces por semana	SM 2320 B
Alcalinidad parcial	2 veces por semana	SM 2320 B
COMPOSICIÓN DEL Biogás	2 veces por semana	Cromatógrafo
DQO	2 veces por semana	SM 5220 D
SST	1 vez por semana	SM 2540 D
SSV	1 vez por semana	SM 2540 E
AVT	2 veces por semana	SM 2310 B
AI/AP	2 veces por semana	M 2320 B
Nitrógeno	1 vez cada 15 días	SM 4500-Norg C, 4500-NH3 B,C
PT	1 vez cada 15 días	Fosforo-Ortofosfatos

Composición del agua sintética del reactor UASB hibrido

El reactor UASB híbrido encargado de la fase metanogénica, era alimentado todos los días con agua sintética hecha en el laboratorio, con una mezcla de determinados reactivos y con el correspondiente porcentaje de efluente del reactor acidogénico, dependiendo de la fase en la que se encontraba, teniendo en cuenta que el pH del afluente que entraría en el reactor metanogénico debía ser de 7,2 para favorecer al

proceso de la metalogénesis, además dentro de la composición del agua sintética, se agregaba el Bicarbonato de sodio, el cual servía como un agente alcalinizador al que se le variaba la cantidad en gramos agregados en la composición, acorde a la etapa en la que se encontraba, pues a medida que aumentaba el porcentaje de efluente de la fase acidogénica dentro del alimento, este tendía a tener un pH ácido, por lo cual se agregó mayor cantidad de bicarbonato a medida que aumentaba el tiempo de operación, para evitar la caída del pH, incluyendo también que a la composición del agua sintética, se agregaban nutrientes como solución de fósforo y solución de nitrógeno. (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Composición agua sintética

REACTIVO	**PESO por 10 (L).**
Sacarosa	5 (g)
Almidón	1,14 (g)
Cloruro de Sodio	2,5 (g)
Cloruro de magnesio hexahidratado	0,07 (g)
Cloruro de calcio dihidratado	0,045 (g)
Etanol	3 (mL)
Solución de Fosforo	30 (mL)
Solución de Nitrogeno	30 (mL)

Además, por cada una de las fases que atravesó el reactor metanogenico, se tuvo que alcalinizar con Bicarbonato de sodio ya que es considerado uno de los principales suplementos para la alcalinidad bicarbonática (Pérez, 2008), por tanto en las distintas fases del reactor se manejaron diversas cantidades de bicarbonato de sodio (ver Tabla *4*), con el fin de controlar y equilibrar el sistema, evitando la acidificación del mismo, acusada por la acidez del efluente del reactor acidogenico.

Tabla 4. Cantidad de Agente Alcalinizante

FASE	PESO DE BICARBONATO (g) por 10 L	COV $(Kg.m^3.d^{-1})$
FASE Aclimatación	20-40	4,23
FASE 2	80	7,75
FASE 3	90	9,40
FASE 4	180	10,7
FASE 5	220	11,2

12) ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las mediciones realizadas durante los 202 días de operación del reactor UASB hibrido de flujo ascendente, correspondiente a los parámetros de pH, DQO, alcalinidad total, relación AI/AP, AVT, SSV, los cuales dependerán del porcentaje de efluente acidogénico usado y la cantidad de agua sintética agregada.

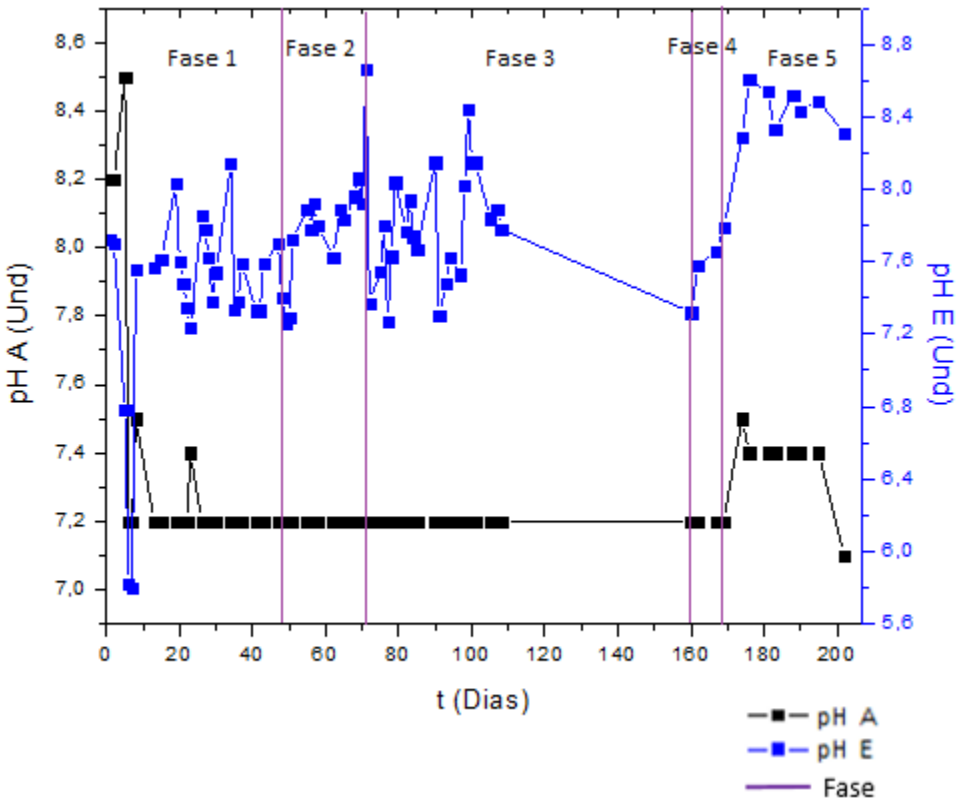
Fase 1
Fase 2
Fase 3
Fase 4
Fase 5
pH A (Und)
pH E (Und)
t (Dias)
pH A
pH E
Fase

Figura 8. pH

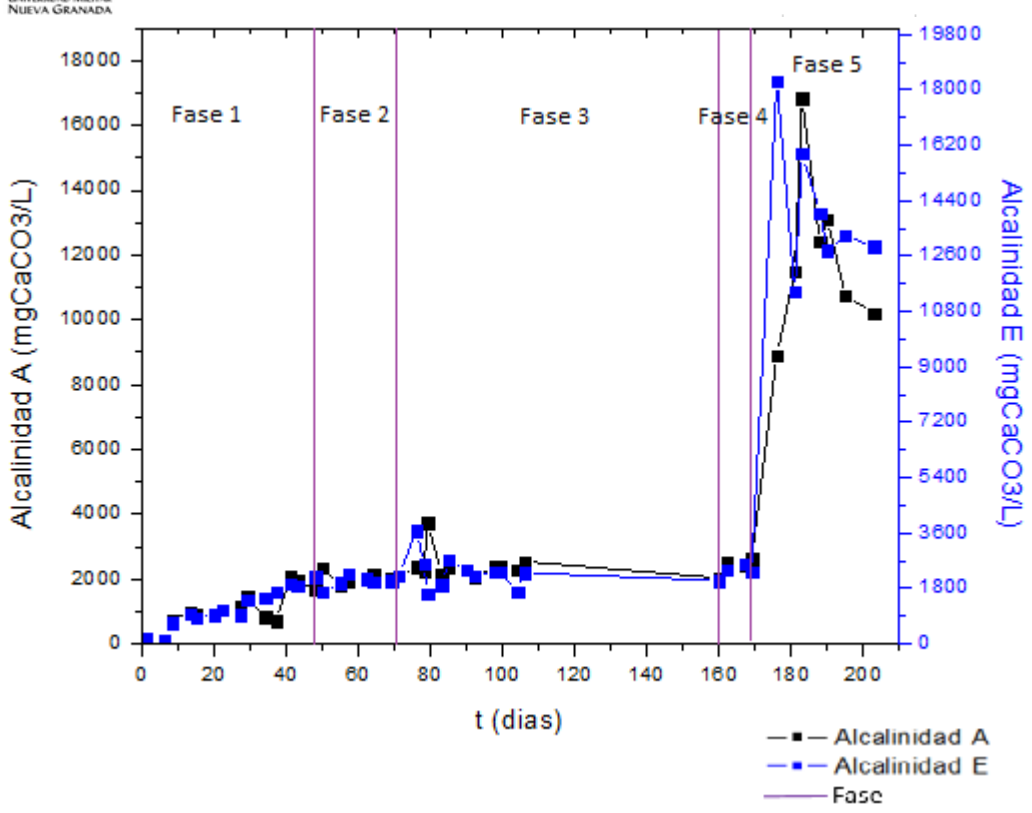

Figura 9. Alcalinidad Total

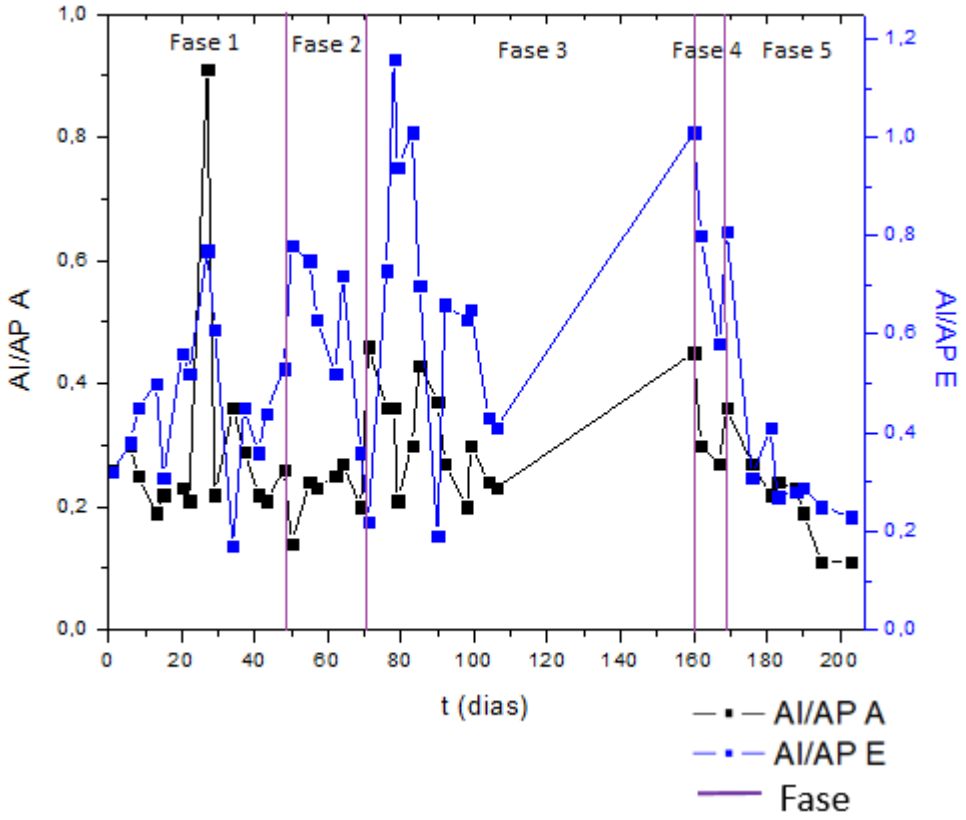

Figura 10. Índice AI/AP

pH, Alcalinidad, índice AI/AP.

Al graficar los datos obtenidos durante la operación del proyecto, se evidencia que el pH presento mayor variación en los datos a medida que se iniciaba con el arranque del reactor, es decir en la fase de aclimatación, donde se alimentaba con un 100% de agua sintética realizada en el laboratorio, pues los resultados nos indican la obtención de pH ácidos provenientes del efluente de la fase metanogénica, indicando un máximo pH acido de 5,8 (und), a diferencia de las fases 2 y 3 donde se observa que el pH tiende a ser más constante y esto se puede corroborar en la

Figura 8, donde se muestra que en estas dos fases el pH medio corresponde a 7.8, mientras que en la etapa 4 se presenta una disminución en el pH a diferencia de la última fase donde este aumenta, además de analizar el pH se presenta la necesidad de realizar medidas de la alcalinidad, pues si se deja a un lado la alcalinidad es posible que el pH disminuya y presente características acidas, lo cual afectaría de manera negativa el funcionamiento del reactor, por tanto a lo largo de las fases, se agregó bicarbonato de sodio, el cual es un componente fácil de disolver con la capacidad de mantener el equilibrio del sistema, por tanto, los valores de alcalinidad,

se pueden observar en la Figura *9*, este parámetro se encuentra relativamente constante en las fase uno y la fase dos, donde sus valores de alcalinidad total media fueron de 2011 ± 0,10 (mg/l) y 2435 ± 0,19 (mg/l), respectivamente para el afluente de reactor metanogénico, mientras que los valores que se obtenían del efluente del reactor metanogénico, tenían resultados de 2066 ± 0,9 (mg/l) ; 2351 ± 0,25(mg/l), por tanto esto nos indicó que el reactor era capaz de contrarrestar y aumentar la alcalinidad con ayuda del Bicarbonato de Sodio.

Es importante destacar que en la cuarta fase, con la cual se manejaba un 75% de efuente acidogénico y 25 % de agua sintética, se evidencia un aumento en la alcalinidad, esto debido a que la cantidad de agente acidogénico que entraba era mayor por tanto fue necesario aumentar la cantidad de bicarbonato agregado a la composición y esto aumentaba la alcalinidad para evitar que el pH, del sistema se viera afectado; De igual forma se realizó un control en la alcalinidad, donde se tomó el índice AI/AP, que es el encargado de la relación entre la alcalinidad de los AGV y la alcalinidad bicarbonática, lo cual nos indica que tan acido e inestable se encuentra el sistema y de esta manera evitar condiciones acidas dentro del reactor, que puedan afectar a las bacterias metanogénicas. Al evaluar el índice AI/AP Figura *10*, se encontró que los valores de la cuarta fase fueron los más altos con un 0,7 ± 0,39 %, mientras que el índice más bajo se presentó en la segunda y quinta fase 0,5±0,34 % y 0,5 ±0,59 %, respectivamente dando a conocer que el sistema no se encontraba en total equilibro ya que para esto, se debía tener un Índice AI/AP de 0,3 aproximadamente. (Pérez, 2008).

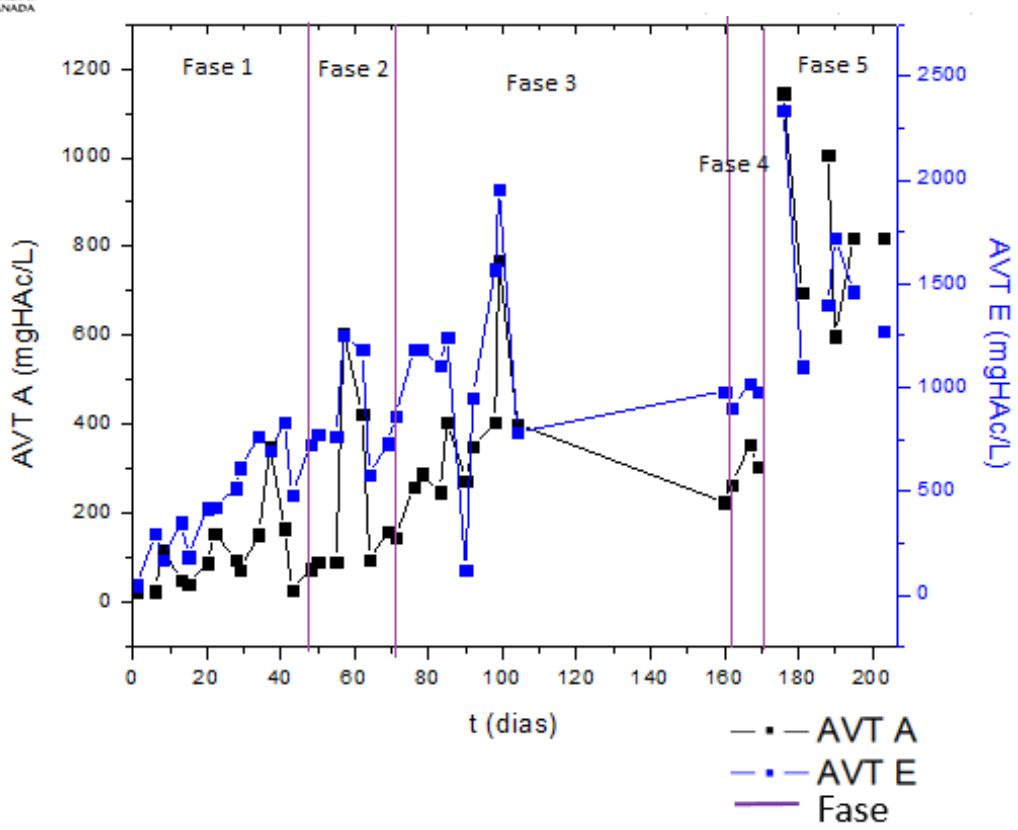

Figura 11. AVT

En la

Figura 11, se puede observar una producción alta de AVT durante la operación del reactor metanogenico, obteniendo una gran variabilidad de resultados en el proceso, por lo tanto se puede analizar que el proceso metanogenico al ser alimentado por un efluente de un reactor acidogénico, puede presentar mayor versatilidad en la concentración en sus componentes, debido a que inicialmente se elabora un alimento en condiciones ideales, pero en el transcurso del tiempo este afluente tiende a fermentarse como también acidificarse logrando así cambiar la

composición de ácidos volátiles junto con el pH, que ingresan al reactor metanigénico.

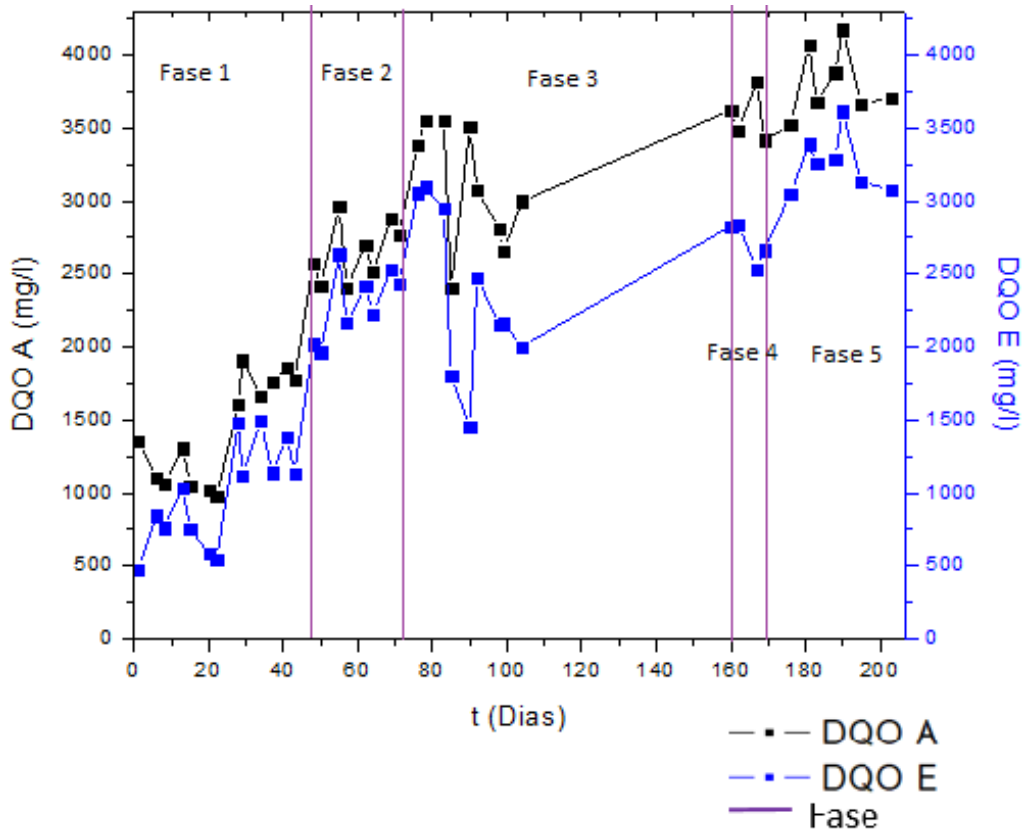

Figura 12. DQO

DQO

Según la Figura *12*, se identifica que la media de la eficiencia de remoción más alta encontrada a lo largo del tiempo de funcionamiento del sistema, se produce en la segunda fase del reactor, en la cual se tiene un 31% ± 0,48% de remoción, pero este valor se encuentra por debajo de los resultados esperados para la remoción de DQO, a pesar de esto se identifica que el reactor metanogenico, sí redujo valores de DQO comparados con el afluente que entraba y el efluente obtenido después del proceso metanogenico, además a medida que el reactor experimenta el cambio de fases, los valores del porcentaje de eficiencia fluctuaban, ya que en la tercera y quinta fase se tiene una disminución importante de DQO, mientras que en la cuarta

fase la remoción vuelve a elevar sus valores pero no supera el porcentaje de remoción conseguido en la segunda fase.

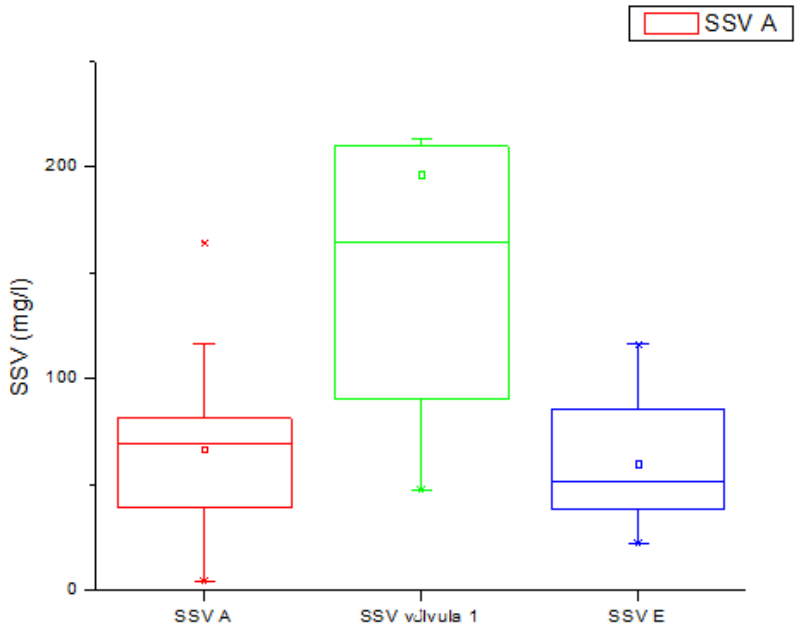

Figura 13. Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).

Al analizar la Figura 13, se logra identificar que el Afluente que entraba al reactor metanogénico, tenía poca concentración de solios, a diferencia de la válvula 1, la cual se encontraba ubicada aproximadamente a 55cm de la parte inferior del biorreactor, justamente en el lugar donde se esperaba la mayor cantidad de biomasa posible para lograr la reducción de materia orgánica, mientras que al identificar lo sucedido con el Efluente, se logra observar que este tuvo una baja concentración de sólidos y esta medida de efluente se encontraba en la parte superior del lecho fijo, compuesto por anillos de polietileno de alta densidad, indicando que la mayoría de la biomasa existente en el reactor metanogenico, no era arrastrada por el flujo ascendente y por el contrario permanecía por debajo del lecho fijo.

Por lo tanto en la investigación se analizó, que durante el proceso de la realización del sistema anaerobio y sus dos fases, no se obtuvieron resultados satisfactorios, esto se debe a que tan solo se presenta un 31% de remoción de DQO, siendo así un sistema completamente ineficiente para que el metano producido por el proceso

de digestión anaerobia, pueda ser usado como un tipo de combustible de orden energético, ya que para que la producción de material combustible sea lo suficientemente grande como para ser un sistema efectivo, debería llegar a un porcentaje de remoción de materia orgánica superior al 60 %. Por lo cual, al no obtener suficientes resultados eficientes durante el proceso de digestión anaerobia, no se logra obtener resultados de los objetivos esperados para el desarrollo de la cuantificación y determinación de la eficiencia energética del proceso.

13) CONCLUSIONES

Frente a la evidencia recaudada, se encontró que la mejor forma de degradación de DQO para un sistema de dos fases y con las características mencionadas anteriormente, es mediante la combinación del 25% de agua sintética realizada en el laboratorio y un 75 % de efluente del reactor acidogénico.

Se observó que los anillos de polietileno de alta densidad cumplieron con la función de evitar el arrastre de la biomasa generada dentro del reactor, a pesar del flujo ascendente que se tenía y los gránulos que tendían a desplazarse por el biorreactor.

Se identificó que en la fase metanogénica, el agente alcalinizante, (bicarbonato de sodio), fue el encargado de ayudar a mantener la alcalinidad de tal manera que el pH no disminuyera y se presentaran condiciones desfavorables para el funcionamiento del reactor, ya que una baja en el pH, podría significar la inhibición del proceso metanogénico, por lo tanto, a medida que se implementaba una nueva etapa, la cantidad de alcalinizante aumentaba para contrarrestar los efectos del efluente acidogénico.

Se determinó que el sistema durante las diferentes fases no mostro estabilidad, ya que los índices de AI/AP sobrepasan el 0,35, afectando la reducción del parámetro de DQO y por tanto disminuyendo el subproducto obtenido después del proceso de digestión.

La máxima degradación encontrada en el parámetro de DQO, tuvo un porcentaje del 31%, por esta razón se dice que el sistema en dos fases no tuvo resultados eficientes en cuanto a la eliminación de la materia orgánica, ya que se esperaban resultados de remoción por encima del 60%. Se cree que la baja remoción se debe a un exceso en la cantidad de lodo existente en el biorreactor, ya que los anillos de polietileno, también contenían lodo en su centro y esto aumentaría el 1/3 del volumen útil que debería ser el porcentaje de lodo presente en el reactor, para un buen funcionamiento.

Se analizó que al tener un 31% de remoción de DQO, el biogás no sería el suficiente para ser utilizado como una fuente de calor o energía, ya que según Carceller

(2005), se necesita un 80% de reducción para generar aproximadamente un 60% de metano en el biogás, por tanto, al tener tan baja cantidad de remoción, no se realizó la cuantificación del biogás, pues la cantidad de metano presente en el biogás no podría ser usado para ser utilizado en calderas o para mantenimiento energético en las plantas.

Después de comparar los valores de remoción obtenidos con los valores permisibles por la resolución 631 de 2015, específicamente en el artículo 12, que nos habla del vertimiento de aguas residuales no domésticas, en cuerpos de aguas superficiales de las actividades asociadas a la elaboración de productos alimenticios, encontramos que el valor de pH cumple, ya se debe encontrar entre 6 a 9 y nuestro pH más bajo fue de 7.4, mientras que el parámetro de DQO no cumpliría ya que el máximo permitido por esta norma es de 400 (mg/L) y en nuestro caso se tiene valores hasta de 3061,9 ±0,14 (mg/L), .

14) REFERENCIAS

Ardila, & Isidro, R. (2002). *Analisis y Evalación Fisico Quimica de un Reactor UASB*. Obtenido de Analisis y Evalación Fisico Quimica de un Reactor UASB: (Berrio, Saldarriaga, & Aguirre, 2017)https://issuu.com/mikeandino/docs/panorama_del_tratamiento_de_aguas_r

Burbano, A. M. (2006). *UTILIZACIÓN DEL METANO GENERADO EN UN REACTOR ANAEROBIO COMO FUENTE DE ENERGIA EN UNA INDUSTRIA GASEOSA*. Obtenido de UTILIZACIÓN DEL METANO GENERADO EN UN REACTOR ANAEROBIO COMO FUENTE DE ENERGIA EN UNA INDUSTRIA GASEOSA: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14834/T41.06%20B891u.pdf?sequence=1

Neumann, P., & Jeison., D. (Abril de 2015). *Contribución energética de la digestión anaerobia al proceso de producción de biodiesel a partir de microalgas*. Obtenido de Contribución energética de la digestión anaerobia al proceso de producción de biodiesel a partir de microalgas: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052015000200012

agua, i. d. (2011). *DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS*. Obtenido de DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS: http://www.aguascalientes.gob.mx/inagua/construccion/Diagnosticos/01%20Diagn%C3%B3stico%20Calvillo.pdf

Cualla, L., & Alfredo, R. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. 2 ed. .* Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería.

Cundinamarca, A. M. (22 de Marzo de 2016). *plan parcial de mejoramiento de zonas urbanas* . Obtenido de plan parcial de mejoramiento de zonas urbanas : http://www.nilo-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/38346137376664383130643237346333/PLAN_LA_ESMERALDA_NILO.pdf

DUARTE, J. V., & DUEÑAS, D. F. (s.f.). Ingeniería civil y medio ambiente . *L'esprit Ingénieux*, 6. Obtenido de Ingeniería.

Forero, R. S. (2202). *El Rol del Ingeniero Civil en el Campo de la Ingenieria Sanitaria y Ambiental en el Siglo XXI.* Obtenido de El Rol del Ingeniero Civil en el Campo de la Ingenieria Sanitaria y Ambiental en el Siglo XXI: http://www.bvsde.paho.org/bvsaia/e/fulltext/civil/civil.pdf

Gonzales, J. (21 de Septiembre de 2015). *Resalto hidráulico* . Obtenido de Resalto hidráulico : prezi.com/db4xzx-179yu/resalto-hidraulico/

Moreno, M. T. (2011). *MANUAL DE BIOGÁS*. Obtenido de MANUAL DE BIOGÁS: http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf

Rojas, M. d., Netto, A. O., & Zaiat, M. (2008). *Actividad metanogénica específica en un reactor anaerobio - aerobio aplicado al tratamiento de agua residual doméstica.* Obtenido de Actividad metanogénica específica en un reactor anaerobio - aerobio aplicado al tratamiento de agua residual doméstica.: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000400010

Rojas, R., & Alberto, J. (2000). *Tratamiento de aguas residuales Teoría y Principios de diseño 1ed.* Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería .

Torres Lozada, P., & Pérez, A. (2010). *ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA: UNA HERRAMIENTA DE CONTROL Y OPTIMIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.* Obtenido de ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA: UNA HERRAMIENTA DE CONTROL Y OPTIMIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES: http://www.redalyc.org/pdf/2311/231116434001.pdf

CHEMILAB. (s.f.). *ANALISIS DE AGUAS. Parámetro Método Técnica Analítica Límite Unidad*. Obtenido de ANALISIS DE AGUAS. Parámetro Método Técnica Analítica Límite Unidad: https://docplayer.es/76141203-Analisis-de-aguas-parametro-metodo-tecnica-analitica-limite-unidad-acidez-total-sm-2310-b-volumetrico-2-54-mg-l.html

Díaz-Báez, M. C. (2002). Digestión anaerobia: una aproximacion a la tecnología. En M. C. Díaz-Báez. Obtenido de Digestión anaerobia: una aproximacion a la tecnología: https://books.google.com.co/books/about/Digesti%C3%B3n_anaerobia.html?id=A0RvuAAACAAJ&redir_esc=y

IDAE. (2007). *Biomasa: digestores anaerobios*. Obtenido de Biomasa: digestores anaerobios: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf

Lozada, P. T. (2010). *Impacto de la incorporación de lixiviados en el arranque de reactores anaerobios al tratar aguas residuales domésticas.* Obtenido de Impacto de la incorporación de lixiviados en el arranque de reactores anaerobios al tratar aguas residuales domésticas: http://www.scielo.org.co/pdf/inun/v14n2/v14n2a06.pdf

Romero-Ortiz, L., Ramírez-Vives, F., Álvarez-Silva, C., & Miranda-Arce, M. G. (2011). *USO DE HIDRÓFITAS Y UN SISTEMA ANAEROBIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE RASTRO*. Obtenido de USO DE HIDRÓFITAS Y UN SISTEMA ANAEROBIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE RASTRO: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62117054010

Rosa, J. M. (2005). *La Depuración Anaerobia De Aguas Residuales.* Obtenido de La Depuración Anaerobia De Aguas Residuales: https://docplayer.es/14380826-La-depuracion-anaerobia-de-aguas-residuales-grupo-damm-departamento-de-ingenieria-josep-miquel-carceller-rosa.html

UNISANGIL. (s.f.). *Paramétros y Métodos de Análisis. Obtenido de Paramétros y Métodos de Análisis.* Obtenido de Paramétros y Métodos de Análisis. Obtenido de Paramétros y Métodos de Análisis.: http://www.unisangil.edu.co/parametros-y-metodos-laboratorio-de-aguas

Versari, M. (2008). *agrocombustibles: Otro enfoque al debate sobre los biocombustibles.* Obtenido de agrocombustibles: Otro enfoque al debate sobre los biocombustibles: https://www.jstor.org/stable/i20743378

(Campos J.L.*, 2018).*Nitrogen removal from a digester supernatant pretreated with thermal hydrolysis by a two stages partial nitritation-anammox process*. obtenido de XIII Latin American Symposium on Anaerobic Digestion

(Digestion, 2018).

(P. San-Valero*, 2018). *Innovative two-stage process for desulfurization of H2S-rich biogas*. obtenido de XIII Latin American Symposium on Anaerobic Digestion

Ingeniería y aspectos técnicos de la digestión anaeróbica . (s.f.). En R. M.-M. J. Moreno. Red Española de Compostaje.

Pérez, A. &. (2008). Indices de alcalinidad para el control del tratamiento anaerobio de aguas residuales fácilmente acidificables. Obtenido de Indices de alcalinidad para el control del tratamiento anaerobio de aguas residuales fácilmente acidificables: http://www.redalyc.org/pdf/2913/291323482002.pdf

Vinasco, J. P. (s.f.). *TECNOLOGÍA DEL BIOGAS .* Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf

(Campuzano, 2018). Hydrolysis-acidification of food waste for energy recovery in a two stage anaerobic digestion pilot plant: book of abstracts of the latin american symposium on anaerobic digestion daal-2018. P. 58-60.

(San-Valer, 2018). Innovative two-stage process for desulfurization of H2S-rich biogas: book of abstracts of the latin american symposium on anaerobic digestion daal-2018. P. 104-106.

(Nanes, 2018). Effects of free ammonia on the inhibition of nitrite oxidizing bacteria under anaerobic and aerobic conditions : book of abstracts of the latin american symposium on anaerobic digestion daal-2018. P. 147-149.

(Ripoll E. C., 2018). EGSB biosludge and reactor dynamics under different operational conditions: book of abstracts of the latin american symposium on anaerobic digestion daal-2018. P. 156-158.

(Campos, 2018). Nitrogen removal from a digester supernatant pretreated with thermal hydrolysis by a two stages partial nitritation-anammox process: book of abstracts of the latin american symposium on anaerobic digestion daal-2018

(Pereira J. O., 2018). Reduction of scum production in a modified UASB reactor treating domestic sewage: book of abstracts of the latin american symposium on anaerobic digestion daal-2018

(Castro L. E., 2018). Life cycle assessment of low-cost digesters implemented in smallscale farms in Colombia: book of abstracts of the latin american symposium on anaerobic digestion daal-2018

(Moreno-Andrade I. B.-B.-A., 2018). Biohydrogen and methane production from organic solid waste and activated sludge purge by a two-stage anaerobic process: book of abstracts of the latin american symposium on anaerobic digestion daal-2018

(Pereira I. I., 2018). Potential of sugar cane stillage: Scale-up in batch reactors for biogas production: book of abstracts of the latin american symposium on anaerobic digestion daal-2018

15) APENDICE

VALORES MEDIOS DE pH EN LAS DIFERENTES FASES DE OPERACIÓN			
FASE	**COMPOSICIÓN AFLUENTE**	**pH AFLUENTE**	**pH EFLUENTE**
Fase 1	100% AS	7,4 ± 0,050	7,4 ± 0,074
Fase 2	25 % (EA)- 75%(AS)	7,2 ± 0,001	7,8 ± 0,042
Fase 3	50% (EA)-50%(AS)	7,2 ± 0,001	7,8 ± 0,039
Fase 4	75% (EA) - 25%(AS)	7,2 ± 0,001	7,6 ± 0,026
Fase 5	100% (EA)	7,2 ± 0,617	8,46 ± 0,013

FIGURA 9. VALORES MEDIOS DE PH

VALORES MEDIOS DE DQO EN LAS DIFERENTES FASES DE OPERACIÓN				
FASE	**COMPOSICIÓN AFLUENTE**	**DQO AFLUENTE (mg/l)**	**DQO EFLUENTE**	**% REMOCIÓN**

			(mg/l)	
Fase 2	25 % (EA)- 75%(AS)	2654 ± 0,25	2300 ± 0,36	31% ± 0,48 %
Fase 3	50% (EA)-50%(AS)	3104 ± 0,08	2350 ± 0,11	13%± 0,32 %
Fase 4	75% (EA) - 25%(AS)	3419 ± 0,14	2590 ± 0,25	24%±0,60 %
Fase 5	100% (EA)	3728,3 ± 0,08	3061,9 ± 0,14	18%±0,41 %

FIGURA 10 VALORES MEDIOS DE DQO

VALORES MEDIOS DE ALCALINIDAD TOTAL EN LAS DIFERENTES FASES DE OPERACIÓN			
FASE	**COMPOSICIÓN AFLUENTE**	**ALCALINIDAD TOTAL AFLUENTE (mg/l)**	**ALCALINIDAD TOTAL EFLUENTE (mg/l)**
Fase 2	25 % (EA)- 75%(AS)	1004 ± 0,58	1094 ±0,50
Fase 3	50% (EA)-50%(AS)	2011 ± 0,10	2066 ± 0,9
Fase 4	75% (EA) - 25%(AS)	2435 ± 0,19	2351 ± 0,25
Fase 5	100% (EA)	6845 ± 0,59	7874 ± 0,61

FIGURA 11 VALORES MEDIOS DE ALCALINIDAD TOTAL

VALORES MEDIOS DE AI/AP EN LAS DIFERENTES FASES DE OPERACIÓN			
FASE	**COMPOSICIÓN AFLUENTE**	**AI/AP AFLUENTE**	**AI/AP EFLUENTE**
Fase 2	25 % (EA)- 75%(AS)	0,3± 0,64	0,5±0,34 %
Fase 3	50% (EA)-50%(AS)	0,3± 0,35	0,6±0,37 %

Fase 4	75% (EA) - 25%(AS)	0,3± 0,25	0,7 ± 0,39 %
Fase 5	100% (EA)	0,2 ±0,45	0,5 ±0,59 %

FIGURA 12. VALORES MEDIOS DE AI/AP

VALORES MEDIOS DE AVT EN LAS DIFERENTES FASES DE OPERACIÓN				
FASE	**COMPOSICIÓN AFLUENTE**	**AVT AFLUENTE (mg/l)**	**AVT EFLUENTE (mg/l)**	**PRODUCCION AVT %**
Fase 2	25 % (EA)- 75%(AS)	105 ± 0,84	445 ± 0,53	73% ±0,26%
Fase 3	50% (EA)-50%(AS)	211± 0,92	859 ± 0,27	78%±0,17%
Fase 4	75% (EA) - 25%(AS)	378± 0,42	1122±0,45	46%± 1,39%
Fase 5	100% (EA)	624±0,52	1013± 0,68	54%± 0,319%

FIGURA 13. VALORES MEDIOS DE AVT