

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Tratamiento de Agua Residual Doméstica Mediante el Uso de un Filtro  
Secuencial Anaerobio-Aerobio, Empacado con Espuma de Poliuretano a  
Diferentes Tiempos de Retención Hidráulica

Por:

**GUADALUPE PONCE MARTÍNEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

Saltillo, Coahuila, México

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Tratamiento de Agua Residual Doméstica Mediante el Uso de un Filtro  
Secuencial Anaerobio-Aerobio, Empacado con Espuma de Poliuretano a  
Diferentes Tiempos de Retención Hidráulica

Por:

**GUADALUPE PONCE MARTÍNEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

Aprobada

Dra. Silvia Yudith Martínez Amador  
Asesor Principal

M.C. Iveth Dalila Antonio Carmona  
Coasesor

Biol. Silvia Pérez Cuellar  
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2014

## DEDICATORIA

*"Dicen, que de todos los animales de la Creación, el hombre es el único que bebe sin tener sed, come sin tener hambre y habla sin tener nada que decir... Por eso, es mejor forjar el alma, que amueblarla.*

*Cuando la sangre de tus venas retorne al mar, y el polvo de tus huesos vuelva al suelo, quizás recuerdes que esta tierra no te pertenece a ti, si no que tu perteneces a esta tierra.*

*Dedico este trabajo especialmente a la Sra. Francisca Martínez Sandoval... mi Madre por sus años de espera y confianza depositada en mí, a esa mujer que siempre me animo a seguir adelante con mi sueño, con sus sabios consejos.*

*A Jesús Alejandro Leija Espinoza, por su paciencia, compañía, y confianza... pero sobre todo su tiempo... ser incondicional que permaneció aun en los peores momentos, siendo una mano amiga pero también un ejemplo constante de la perseverancia que se requiere en esta vida.*

*A la familia Gonzales por su apoyo incondicional en esta travesía*

## AGRADECIMIENTOS

*Llegar a la meta cuentas te cuesta tanto llegar y cuando ya estás en ella mantenerte cuenta más, procura no descuidarte ni mira hacia atrás o todo lo conseguido te lo vuelven a quitar. Amigo aprovecha el viento mientras sopla a tu favor que el aire te lleve lejos cuanto más lejos mejor, que aquel que se queda en tierra le va la parte peor se van cerrando las puertas le van negando el adiós.....*

*Un agradecimiento especial a la Dra, Silvia Yudith Martínez Amador. Por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto cuyo recorrido fue grato y de gran conocimiento,*

*A la Maestra Iveth Dalila Antonio Carmona, por su apoyo para la realización de este trabajo y por ser siempre una mano amiga.*

*Y como olvidar a Tommy Quiterio Gutiérrez, por acompañarme en esta gran aventura siendo participe de los mejores y peores eventos a lo largo de nuestra carrera... por tu amistad incondicional gracias.*

*A José Ángel Gutiérrez Ramírez por su amistad y compañerismo siendo participe de buenas, malas y divertidas etapas a lo largo de nuestra carrera, por lo anterior gracias.*

*A todas las personas que confiaron en que podía lograrlo gracias, a mis maestros del departamento de Botánica... a todos aquellos que me brindaron su apoyo, amistad y cariño pero sobre todo su tiempo. Ahora son parte de una historia que quedara escrita en la eternidad..esa es mi historia.*

*Gracias porque a pesar de todo y de todos llegue a la meta con una gran satisfacción personal y con un espíritu de lucha que si la vida me lo permite jamás dejare hasta el último día de mi existir.*

*Guadalupe Ponce Martínez*

## ÍNDICE

Agradecimientos.....	I
Dedicatoria.....	II
Índice general.....	III
Índice de cuadros	
Cuadro 1.Caracterización de la muestra del agua sin procesar.....	23
Cuadro 2.Caracterización de la muestra del agua sin procesar.....	25
Cuadro 3.Caracterización de la muestra del agua sin procesar.....	27
Cuadro 4.Caracterización de la muestra del agua sin procesar.....	30
Índice de figuras	
Figura 1: Modelo de los reactores.....	15
Figura 2: Sistema secuencial anaerobio-aerobio.....	16
Figura 3: Toma de muestra del efluente.....	16
Figura 4: Muestra del agua cruda.....	16
Figura 5: Reactores con exceso de biomasa.....	17
Figura 6: Reactores después del lavado.....	18
Figura 7: Inyección de lodo anaerobio.....	18
Figura 8: Inyección de lodo aerobio.....	18
Resumen	
I. Introducción.....	2
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
Hipótesis.....	4
II. Revisión de literatura.....	5
2.1. Generalidades.....	5
2.1.1. Agua residual doméstica.....	5
2.1.2.Características del agua residual doméstica.....	5
2.3. Soportes.....	7
2.4. Biopelículas.....	7

2.5. Reactor secuencial biológico.....	9
2.6. Procesos de remoción de contaminantes en los sistemas biológicos.	9
2.6.1. Fundamento de los procesos biológicos aerobios.....	11
2.6.2. Fundamento de los procesos biológicos anaerobios.....	12
2.6.3. Factores que influyen en el proceso.....	13
2.7. Aplicación de los sistemas biológicos secuenciales en el tratamiento de aguas residuales .....	13
III. Metodología.....	15
3.1. Parámetros determinados.....	17
3.1.1. Técnica para determinar DQO.....	19
3.1.2. Técnica para determinar Sulfatos.....	20
3.1.3. Técnica para determinar Nitratos.....	21
3.1.4. Técnica para determinar Amoniacó.....	22
IV. Resultados y discusión.....	23
4.1. Resultados después del lavado de los reactores.....	25
4.2. Resultados después de la inoculación de los reactores.....	27
4.3. Resultado después del lavado y soporte TRH 24 horas.....	30
V. Conclusiones.....	33
VI. Glosario de términos.....	34
VII. Bibliografía.....	35
VIII. Anexos.....	40

## RESUMEN

El acoplamiento secuencial de un sistema anaerobio/aerobio (An/Ar), conformado por filtro con espuma de poliuretano a 2 diferentes tiempos de retención hidráulica, se llevó a cabo a nivel laboratorio para tratar agua residual proveniente de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, las eficiencias de remoción de la Demanda Química de Oxígeno(DQO) oscilaron en un intervalo de 30-50%, bastó sólo un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) igual a 12 h para eliminar 50% de la materia orgánica (MO) remanente del sistema y 24 horas para eliminar el 90% de sulfatos presentes en el agua. Así, las mejores condiciones de tratamiento en el sistema An/Ar se dieron cuando el sistema operaba a un TRH=12 horas. Después de la inyección de los reactores con lodos activados, favoreciendo la formación de biopelículas, lo cual repercutió en la degradación de la materia orgánica en menor tiempo, eficientando el sistema secuencial por completo.

**Palabras clave: sistema biológico secuencial, TRH, poliuretano.**

## I. INTRODUCCIÓN

En el tratamiento de aguas residuales domésticas, el sistema biológico secuencial anaerobio- aerobio, parece ser una tecnología prometedora. Esto se debe a la compensación de las reacciones que se llevan a cabo dentro de cada sistema. Así mientras en el tratamiento anaerobio que en ausencia de oxígeno los residuos orgánicos son degradados obteniéndose metano,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , a través de tres procesos básicos; hidrólisis, acidogénesis y metalogénesis, en el tratamiento aerobio el oxígeno libre o disuelto es utilizado por microorganismos aerobios en la conversión de residuos orgánicos a gases y material celular, también se eliminan el nitrógeno y fósforo, además de la disminución de microorganismos patógenos y fecales que habitan en el agua residual. En síntesis, en este tratamiento ocurre la oxidación de la materia orgánica por los microorganismos que se alimentan de dicha materia. En consecuencia el efluente final del tratamiento secuencial alcanza los valores establecidos para las descargas del agua residual haciendo posible que estos valores sean cada vez más bajos.

Sin embargo la duración de la fase de reacción en el Biorreactor afecta al rendimiento del proceso, puesto que se ha comprobado que a mayor tiempo de reacción, mayor es la reducción de materia orgánica, razón por la cual se suelen emplear tiempos de reacción largos. Esto se puede relacionar en que se obtienen mejores rendimientos de eliminación operando con elevados tiempos de retención hidráulica (TRH). Sin embargo, según Scheumann y Kraume(2009,)una continua reducción del TRH permite una mejora de la calidad de la biomasa puesto que hace que haya una mayor fracción orgánica evitándose la acumulación de sustancias inorgánicas debido al aumento de la frecuencia de extracción de efluente.

Aunado a lo anterior, los sistemas de biopelículas han cobrado gran importancia en los últimos años, principalmente en el tratamiento de aguas residuales. Diferentes tipos de materiales sintéticos como resinas termoplásticas (poliestileno y poliuretano), polietileno de baja y alta densidad, y materiales granulares (termoplásticos), han sido estudiados como medio de soporte para el desarrollo de biopelículas aerobias y

anaerobias, los cuales son diferenciados de acuerdo a su porosidad y rugosidad. Una comunidad de microorganismos concentrados en una matriz polimérica orgánica y adheridos a una superficie dan a la formación de una Biopelícula, la cual se encuentra compuesta por tres partes principales: microorganismos, una matriz polimérica y una superficie que actúa como soporte (22,31).

De tal forma que diversos investigadores han demostrado la eficiencia de este tratamiento por ejemplo: Bernet *et al*, (1998), demostraron en su trabajo de tratamiento de aguas residuales, que la combinación del tratamiento aerobio-anaerobio a escala de laboratorio con un TRH de 24 horas reduce las concentraciones en un 81% nitratos y 90% DQO. Así también Muda *et al*, (2013), demostraron que el TRH óptimo para el tratamiento de aguas residuales para los sistemas de granulación en el sistema es de 2 a 12 horas en donde los gránulos se estabilizan con buena decantación y así también las actividades microbianas.

Finalmente la necesidad del incremento en la efectividad del tratamiento de las aguas residuales domésticas para el uso no problemático de las mismas, exige un avance en el uso de la biotecnología en los tratamientos biológicos con la finalidad de aportar mejores resultados en tiempos más cortos de trabajo de los sistemas con el propósito de obtener aguas tratadas por debajo de los límites permisibles establecidos por las normas oficiales, de tal forma que el uso de estas aguas no sean un riesgo para la salud humana o en los sistemas agrícolas donde mayor se requiera.

Por lo anterior la realización de este trabajo tiene como finalidad demostrar que la correcta combinación y secuencia de los métodos de tratamiento es la clave para el exitoso tratamiento de las aguas residuales domésticas.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la eficiencia del tratamiento de agua residual doméstica mediante un filtro secuencial anaerobio-aerobio a dos diferentes tiempos de retención hidráulica.

### **Objetivos específicos**

1. Evaluar la eficiencia del tratamiento secuencial de aguas residuales doméstica a un tiempo de retención hidráulica de 24 horas.
2. Evaluar la eficiencia del tratamiento secuencial de aguas residuales doméstica a un tiempo de retención hidráulica de 12 horas.

## **HIPÓTESIS**

En algún tiempo de retención hidráulica el reactor secuencial tendrá un mejor desempeño.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Generalidades**

#### **2.1.1. Agua residual doméstica**

El agua residual doméstica (ARD) está compuesta de constituyentes física, química y biológica. Es una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, suspendidas o disueltas. Normalmente las aguas residuales domésticas no son tan complejas como las aguas residuales de tipo industrial donde pueden existir compuestos tóxicos peligrosos (29).

#### **2.1.2. Características del agua residual doméstica**

Se dice que el agua residual doméstica fresca y aeróbica tiene el olor del queroseno o de tierra recién revuelta. Las aguas residuales envejecidas y sépticas son bastante más ofensivas al sentido del olfato. Las frescas tienen un color gris característico. Las sépticas son negras. Este color se debe a la precipitación de sulfuro de hierro, la mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos alimenticios, excretas, materia vegetal, sales minerales y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos. Entre las características químicas se encuentran la materia orgánica e inorgánica, nutrientes, fósforo y nitrógeno. Las temperaturas de las aguas residuales oscilan, normalmente, entre 10 y 20°C. En general, la temperatura del agua residual será mayor que la del suministro de agua, debido a la adición de agua tibia de los hogares y al calentamiento dentro del sistema de drenaje de la estructura.

**Tabla 1. Parámetros típicos de las aguas residuales de origen doméstico. Jiménez (2005).**

Parámetro	Unidad	Concentración mg/l.		
		Fuerte	Mediana	Débil
Sólidos totales	mg/l	1200	720	350
Sólidos disueltos totales	mg/l	850	500	250
Fijos	mg/l	525	300	145
Volátiles	mg/l	325	200	105
Suspendidos totales	mg/l	350	220	105
Fijos	mg/l	75	55	20
Volátiles	mg/l	275	165	80
Sólidos sedimentables, ml/l	ml/l	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	400	220	110
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	290	160	80
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	1000	500	250
Nitrógeno (total como N):	mg/l	85	40	20
Orgánico	mg/l	35	15	8
Amoniaco libre	mg/l	50	25	12
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total como P)	mg/l	15	8	4
Orgánico	mg/l	5	3	1
Inorgánico	mg/l	10	5	3
Cloruros	mg/l	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	200	100	50
Grasas	mg/l	150	100	50
Sulfatos	mg/l	24	22	12
Coliformes totales	NMP/100 ml	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>

### 2.3. Soportes

Espuma de poliuretano: Algunas investigaciones sobre la remoción conjunta o individual de nutrientes sugieren el uso de diferentes medios de soporte. Dentro de estos materiales se incluyen Linpor y Kaldnes, fibra sintética, biodiscos, pellets de polipropileno, fibras de carbón, espumas de poliuretano, entre otros.

La espuma de poliuretano es un material sintético y duroplástico, altamente reticulado y no fusible, que se obtiene de la mezcla de dos componentes generados mediante procesos químicos a partir del petróleo y el azúcar: el isocianato y el poliol. El poliuretano al igual que el polivinil, son materiales ampliamente usados en la inmovilización de microorganismos gracias a su resistencia a condiciones ambientales diferentes. Se ha reportado el uso de estas sustancias en la inmovilización de *Scenedesmus obliquus* para la remoción de metales en agua (6).

### 2.4. Biopelículas

La limitación de espacios para instalar plantas para tratamiento de aguas residuales obliga a desarrollar nuevas tecnologías para incrementar la capacidad de los sistemas depuradores por unidad de área construida. Una alternativa para el tratamiento biológico de aguas residuales son los sistemas que utilizan biopelículas como forma de crecimiento de microorganismos.

Biopelículas: las biopelículas se componen de grupos complejos de microorganismos que forman delgadas e irregulares colonias o múltiples capas superficiales, donde se protegen contra los cambios del medio o sustancias tóxicas, se relacionan particularmente con sistemas acuáticos con altos contenidos de nutrientes, especialmente aguas residuales. La biopelícula no sigue una forma única de crecimiento; las aglomeraciones de

microorganismos tienden a ocupar espacios limitados rodeados de otros espacios sin crecimiento. Los microorganismos se desarrollan de una manera irregular, sin formar biopelículas definidas. Se observan espacios libres de microorganismos por los que circula el agua con nutrientes y oxígeno hasta las partes más profundas de los cubos de espuma de poliuretano (soporte). Se identifica el diámetro promedio de los poros como el factor limitante para que los microorganismos colonicen las zonas internas de material y para que circulen los nutrientes.

Los procesos que conllevan a la formación de la biopelícula son similares para ambientes acuáticos naturales como para los desarrollados en aguas residuales. Después de acondicionarse la superficie del sólido, que generalmente es impermeable y de naturaleza muy variada, con materiales orgánicos, se lleva a cabo la adsorción de bacterias a superficies en un proceso de tres fases o pasos:

- Primera fase: adhesión reversible a la superficie, los microorganismos normalmente se perciben como seres solitarios que flotan libremente, es decir, en estado planctónico.
- Segunda fase: adhesión irreversible a la superficie, a medida que las bacterias se multiplican, se adhieren más firmemente (sésiles) y se diferencian, cambiando los patrones de expresión génica en formas que promueven la supervivencia.
- Tercera fase: biopelícula/matriz protectora viscosa, una vez bien adheridas, las bacterias comienzan a segregar una matriz circundante conocida como sustancia polimérica extracelular (SPE). Se trata de una matriz protectora o "limo". A partir de ahí, las pequeñas colonias bacterianas empiezan a formar una biopelícula inicial (26).

## **2.5. Reactor secuencial biológico**

Después de la implantación de los procesos continuos para el sistema de fangos activos, en la década de los 60 nació el interés por los sistemas de alimentación discontinua con el desarrollo de nueva tecnología y equipos. El sistema, que consistía en que había una alimentación y una descarga periódicas, se denominó SBR. Las investigaciones posteriores se centraron en investigar y potenciar las ventajas de este sistema frente al sistema continuo. En la mayoría de los estudios realizados en los que se probó que las características de sedimentabilidad variaban en función del llenado/reacción demostraron que con menor carga de alimento se obtenía mejor calidad de efluente, y que el tratamiento “semi-batch” era más adecuado para minimizar el crecimiento disperso de los microorganismos demostraron la factibilidad de la nitrificación-desnitrificación, dado un correcto diseño y modo de operación. Estos estudios demostraron que el SBR era un proceso seguro para llevarlo a la práctica como una alternativa viable y novedosa para el tratamiento biológico de aguas residuales urbanas e industriales (28).

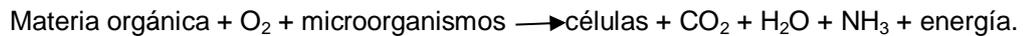
## **2.6. Procesos de remoción de contaminantes en los sistemas biológicos secuenciales**

El tratamiento biológico consiste en la eliminación de la materia orgánica a través de la acción de los microorganismos y en la separación del agua de los fangos mediante sedimentación. Los procesos biológicos se pueden clasificar en:

- Procesos aerobios, es decir, con presencia de oxígeno
- Procesos anaerobios, con ausencia de oxígeno.

Los más comunes son los procesos aerobios que se definen como aquellos realizados por microorganismos, que en presencia de oxígeno actúan sobre

la materia orgánica e inorgánica disuelta, suspendida y coloidal que existe en el agua residual:



Según la disposición de la biomasa en el reactor, los procesos aerobios se dividen en dos grupos:

- Procesos de Cultivo en Suspensión (Fangos Activos). Es un sistema de tratamiento de las aguas residuales en el que se mantiene un cultivo biológico formado por diversos tipos de microorganismos suspendidos en el agua residual formando flóculos. A la mezcla de los microorganismos y el agua residual se le denomina licor de mezcla.
- Procesos de Cultivo Fijo (Lechos Bacterianos, Biodiscos). El agua a tratar se hace pasar en sobre un soporte de gran superficie específica, sobre el que se desarrollan los microorganismos. No requiere de aireación forzada (11).

Además del proceso convencional de fangos activos cabe destacar dos tipos de reactores que se están empezando a implantar en determinadas aplicaciones:

- SBR (“SequencingBatch Reactor”). Este tipo de reactor opera de forma discontinua y cíclica. Cada ciclo se compone principalmente de las siguientes fases: llenado en la que se produce la entrada del agua residual, reacción, sedimentación y vaciado del agua depurada (13).
- MBR (“MembraneBioreactor”). En este tipo de reactor se combina la degradación de la materia orgánica con la separación del agua depurada de la biomasa a través de membranas en una misma operación. El módulo de membranas puede encontrarse acoplado a la unidad biológica externamente o estar sumergido en su interior (25).

## 2.6.1. Fundamentos de los procesos biológicos aerobios

### Los procesos de oxidación biológica.

La oxidación biológica tiene como objeto la eliminación y estabilización de la materia orgánica presente en el agua residual mediante la acción de microorganismos, que transforman la materia orgánica coloidal y disuelta en materia floculada y sedimentable. La oxidación de la materia orgánica es un fenómeno complejo en el que se genera la energía necesaria para la vida de los microorganismos y sus manifestaciones (reproducción, crecimiento, movimiento, etc.).

De forma simplificada se puede decir que los microorganismos para realizar sus funciones vitales necesitan:

- Una fuente de energía para desarrollar sus actividades.
- Una fuente de carbono para realizar la síntesis celular.
- Una fuente de oxígeno y nutrientes necesarios para la vida.

En los procesos de oxidación biológica tienen lugar dos tipos de reacciones, las de oxidación y las de síntesis (14):

- Reacciones de oxidación. Son exotérmicas y consisten en la oxidación de la materia orgánica y la autocombustión del protoplasma celular.

Materia orgánica + O<sub>2</sub> + bacterias → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + NH<sub>3</sub> + Energía

Microorganismos + 5 O<sub>2</sub> → 5 CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O + NH + Energía

Después de un tiempo de contacto suficiente entre la materia orgánica del agua residual y los microorganismos, la materia orgánica del medio disminuye considerablemente transformándose en nuevas células que seguirán actuando sobre el agua residual, gases y otros productos.

## Eliminación del nitrógeno

Para poder eliminar el nitrógeno presente en el agua residual, en primer lugar, se produce la amonificación en la que el nitrógeno orgánico pasa a ser nitrógeno amoniacal, reacción que se da muy rápidamente. A continuación se produce una nitrificación y una desnitrificación.

El proceso de Nitrificación. Es el proceso en el que el nitrógeno orgánico y amoniacal se oxida por acción de las bacterias nitrificantes, transformándose primero en nitrito (por acción de las *Nitrosomonas*) y, posteriormente en nitrato (por acción de las *Nitrobacter*). Estas bacterias son autótrofas aerobias, por lo que necesitan carbono inorgánico, procedente del carbonato del agua y otras sustancias, y oxígeno. Por otra parte el suministro de oxígeno debe ser tal que permita la nitrificación y la oxidación de la materia orgánica(32).



### **2.6.2. Fundamentos de los procesos biológicos anaerobios**

El tratamiento anaerobio de las aguas residuales supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia de oxígeno molecular.

Los microorganismos causantes de la descomposición de la materia se dividen en dos grupos:

- Bacterias formadoras de ácidos: estas hidrolizan y fermentan compuestos orgánicos complejos a ácidos simples, de los cuales los más simples son el ácido acético y el ácido propiónico.
- Bacterias formadoras de metano: estas convierten los ácidos formados por las bacterias del primer grupo en gas metano y  $\text{CO}_2$ . Las bacterias que se alimentan del ácido acético y del ácido propiónico tienen tasas de crecimiento muy lentas y por ello su metabolismo se considera una limitante de proceso.

### **2.6.3. Factores que influyen en el Proceso**

#### Temperatura.

La cinética de un proceso biológico, según la ley de Arrhenius, depende de la temperatura en que éste se desarrolla. Además incide sobre la velocidad de transferencia de gases, la concentración máxima de equilibrio de oxígeno disuelto y las características de sedimentación de los flóculos, debido a la influencia sobre la viscosidad del agua.

### **2.7. Aplicación de los sistemas biológicos secuenciales en el tratamiento de aguas residuales**

Diversos estudios han demostrado la eficiencia de la combinación de estos tratamientos.

Bertnet *et al*, (1999), demostraron que es posible llevar a cabo desnitrificación en un reactor secuencial. La producción de metano seguida de desnitrificación. Así también que la eficiencia de eliminación de nitrógeno era dependiente en el reciclaje aplicada al cociente de influente y fue realizado por desnitrificación parcial. Aunado a lo anterior que la eliminación de carbono orgánico total fue del 85 al 91%.

Por otra parte Arrojo *et al*, (2003), al emplear un sistema secuencial para el tratamiento de aguas provenientes de un laboratorio de análisis de productos lácteo, encontraron que: tanto la eficacia global de depuración de materia orgánica, como la de nitrógeno están en torno al 98%, aplicándose velocidades de carga comprendidas entre 5 y 6 kg DQO/(m<sup>3</sup> • d) para el filtro anaerobio y entre 1 y 2 kg DQO/(m<sup>3</sup> • d) en el SBR. La DQO del efluente final del sistema es menor de 200 mg/L y la concentración de nitrógeno total (principalmente nitrato), se encuentre por debajo de 10 mg N/L.

Sin embargo Supaka *et al*, (2004), quienes trabajaron con aguas coloradas provenientes de una textilera, demostraron que bajo condiciones anaeróbicas, los colorantes azoicos se redujeron y las aminas aromáticas se han generado por la biomasa bacteriana. Después de volver a la aireación de las aguas residuales con tinte sintético, las aminas eran más degradadas por los mismos aislados. Por lo tanto, la degradación total de colorantes reactivos azoicos se logra mediante el uso de un ambiente anaerobio-aerobio.

Así también López *et al*, (2008), demostraron que al utilizar un tratamiento secuencial para aguas residuales de rastro las eficiencias de remoción de DQO variaron entre 50 y 81% y fueron inversamente proporcionales al valor de la carga orgánica(CO). La degradación de la materia orgánica (MO) en el SBR mostró una cinética de pseudo primer orden con respecto a la concentración de MO. La remoción de la DQO por el proceso biológico con fangos aerobios (FA+SBR) fue del 97% para un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 20h para el FA y de 9h de aireación para el SBR.

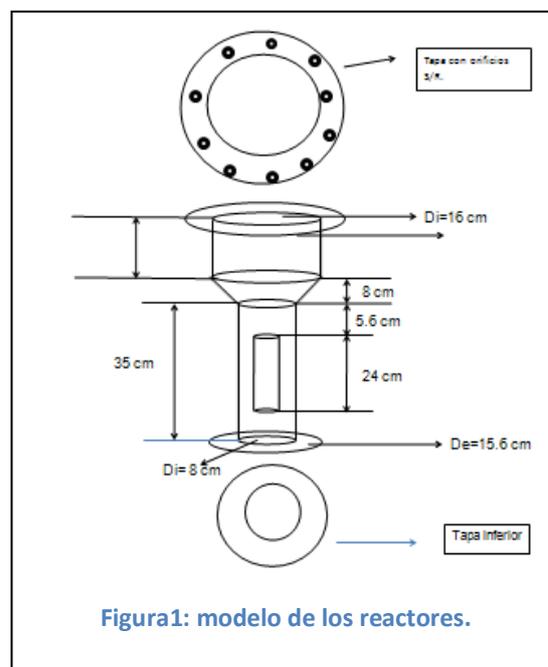
Tomasini y mueller, (2010), encontraron que al tratar el agua residual textilera colorada, mediante este sistema, presentó una remoción total del 92% de la DQO (21% en el proceso anaerobio, 79% en el anaerobio+aerobio y 92% en anaerobio+aerobio+ carbón activado granular (CAG). En cuanto a la reducción del color, este se redujo en un 97%. Para la DBO, el porcentaje de remoción fue del 75% en el efluente anaerobio, del 89% en el efluente anaerobio+aerobio y 98.7% en el efluente anaerobio+aerobio+CAG.

### III. METODOLOGÍA

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de Biología del Departamento de Botánica, perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila México a los 25°21'13" latitud norte, 101°02'01" longitud oeste y a una altura de 1742 m.s.n.m.

El experimento fue distribuido de acuerdo al Diseño Completamente al azar con tres repeticiones de cada Tiempo de Retención Hidráulica y para el análisis de los datos se utilizó un análisis estadístico de varianza (ANVA) y la prueba de medias, mediante Tukey ( $P \leq 0.01$ ).

Para llevar a cabo esta investigación se inició con el establecimiento de los reactores secuenciales los cuales presentaron las siguientes dimensiones: una tapa con orificios S/R que tiene una base de 16 cm de diámetro, una ranura para Oring, con una altura del tronco de 35 cm en donde se encuentra un orificio de  $\frac{1}{2}$  con rosca a 1.5 cm de base con una Dimensión = 8 cm y una respectiva tapa en la parte inferior con una



perforación para la entrada del agua cruda, con una capacidad para 5.8 litros de agua ( Figura 1). Con un soporte de espuma de poliuretano para la formación de Biopelícula de 1 cm de espesor.

Antes del inicio del experimento se procedió a la preparación de los reactivos necesarios para la determinación de los parámetros a evaluar tales como la solución de sulfato de plata y solución digestora para la DQO, Así como la solución acondicionadora para la determinación de sulfatos.

Una vez finalizado lo anterior se llevó a cabo el arranque del experimento con un TRH de 24 horas. Se colecto agua residual doméstica proveniente de los internados, comedor, laboratorios y respectivos departamentos de la institución la cual setomó antes de que llegue a los cárcamos (Ubicado por el Jardín Botánico).



Figura 2: sistema secuencial anaerobio-aerobio.

Una vez que los reactores (figura 2) comenzaron a trabajar se tomaron muestras del efluente (figura 3) durante 3 días- Las muestras se analizaron en el laboratorio de Biología del Departamento de Botánica.



Figura 3: toma de muestra del efluente.

Al agua residual doméstica(figura 4) de entrada se le realizaron análisis de los diferentes parámetros que son: DQO, temperatura, nitratos, pH, sulfatos, sólidos totales suspendidos y amonio.

Mismos parámetros que se analizaron al terminar el experimento, aplicando las curvas de calibración se obtuvo la ecuación de la recta y se sustituyeron los valores de absorbancia que dieron como resultado la concentración.



Figura 4: muestra del agua cruda.

Se utilizaron diferentes técnicas para la determinación de los parámetros estas son puestas bajo las diferentes Normas Mexicanas que son:

- NMX-AA-004-SCFI-2000 Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas
- NMX-AA-008-SCFI-2011 Determinación del pH-método de prueba, Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
- NMX-AA-074-1981, Determinación de ion sulfato.
- NMX-AA-154-SCFI-2011 Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas- Método de prueba.

Sin embargo los datos arrojados por las pruebas indicaban que había una posibilidad de error en el proceso, por lo cual se hicieron modificaciones para determinar los parámetros, sin embargo los datos siguieron siendo irregulares. Después de analizar detenidamente las posibilidades para explicar el motivo por el cual los datos no correspondían a los esperados según la literatura, se procedió al lavado de los reactores y soportes,



Figura 5: reactores con exceso de biomasa.

esto debido a la observación de la acumulación de biomasa excesiva en los reactores (figura 5), por lo cual interfería en la lectura de las absorbancia arrojando datos erróneos.

Se reactivaron nuevamente los reactores adicionándoles agua para restablecer el TRH de 12 horas (figura 6), el procedimiento fue el mismo que el del inicio para la toma de muestra y la posterior determinación de los parámetros a evaluar.



Figura 6: reactores después del lavado.

Una vez restablecido el sistema secuencial se procedió a la inyección del lodo anaerobio (figura 7) el cual fue donado por la Facultad de Ciencias Químicas, Saltillo Coahuila, así mismo se inyectó el lodo aerobio (figura 8) que fue donado por el Gran Bosque Urbano, Saltillo Coahuila. Esto con la finalidad de acelerar y eficientar la formación de biopelícula en los soportes de los reactores para el funcionamiento adecuado del sistema secuencial.



Figura 7: inyección de lodo anaerobio.



Figura 8: inyección de lodo aerobio.

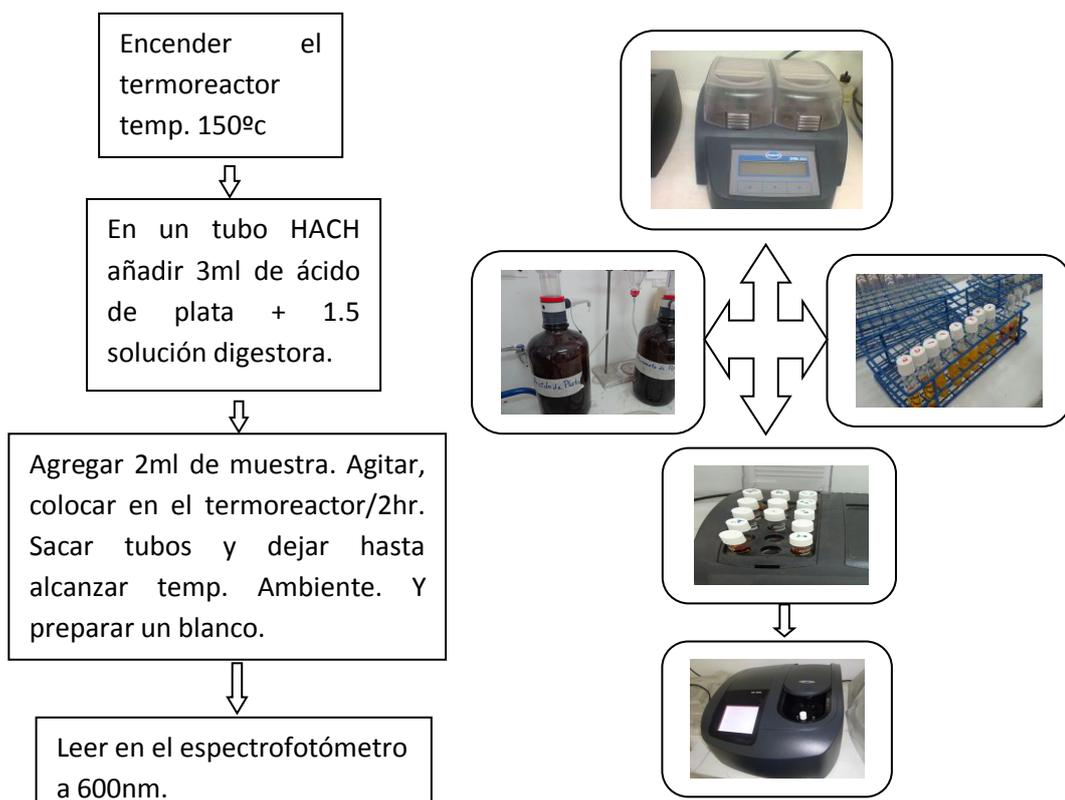
El lodo se recirculó en el reactor por espacio de una semana, junto con agua residual doméstica, para favorecer la formación de biopelícula. Esto se realizó tanto en el reactor anaerobio (lodo anaerobio), como en el reactor

aerobio (lodo aerobio). Al término de este tiempo, se retiró todo el líquido con el lodo, para remover los sólidos que no se adhirieron a la espuma de poliuretano (soporte), y se dejó trabajando otros 7 días con agua residual doméstica para inducir las biopelículas. Al término de este tiempo, se reinició el experimento, repitiendo el TRH de 24 horas, y 12 horas, tomando muestras para determinar los parámetros correspondientes.

### 3.1 Parámetros determinados

#### 3.1.1. Técnica para determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La materia orgánica es oxidada por el dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), en un medio fuertemente ácido con la ayuda de catalizadores en presencia de sulfato de plata ( $Ag_2SO_4$ ) que actúa como agente catalizador, y de sulfato mercúrico ( $HgSO_4$ ) adicionado para remover la interferencia de los cloruros. El dicromato oxida la materia orgánica y la inorgánica presentes en la muestra, reduciéndose de  $Cr^{+6}$  a  $Cr^{+3}$ . La decoloración pasa de un color amarillo a uno verde azul y se lee a una absorbancia de 600nm. Esta es la base de la medición de los reactores anaerobios la condición de los parámetros de operación para los tratamientos de efluentes industriales y urbanos.



### 3.1.2. Técnica para determinar sulfatos

El ion sulfato precipita con cloruro de bario, en un medio ácido (HCl), formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La absorción espectral de la suspensión del sulfato de bario se mide con un nefelómetro o fotómetro de transmisión. La concentración de ion sulfato se determina por comparación de la lectura con una curva patrón.

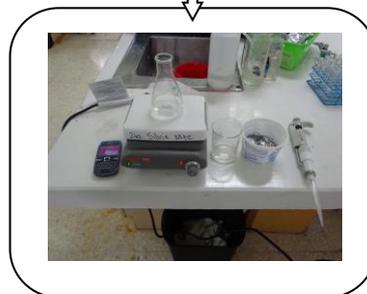
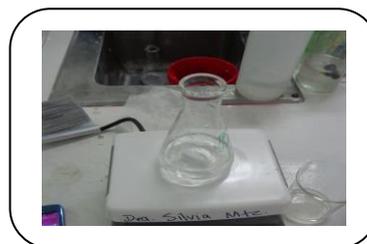
Modificación a la norma

En un matraz de aforación de 100ml agregar 10ml de muestra y aforar.

Vaciar a un matraz colocar magneto y colocar en la parrilla de agitación

Agregar 5ml. de solución acondicionadora, agregar.30g de cloruro de bario, por 1 min exactamente.

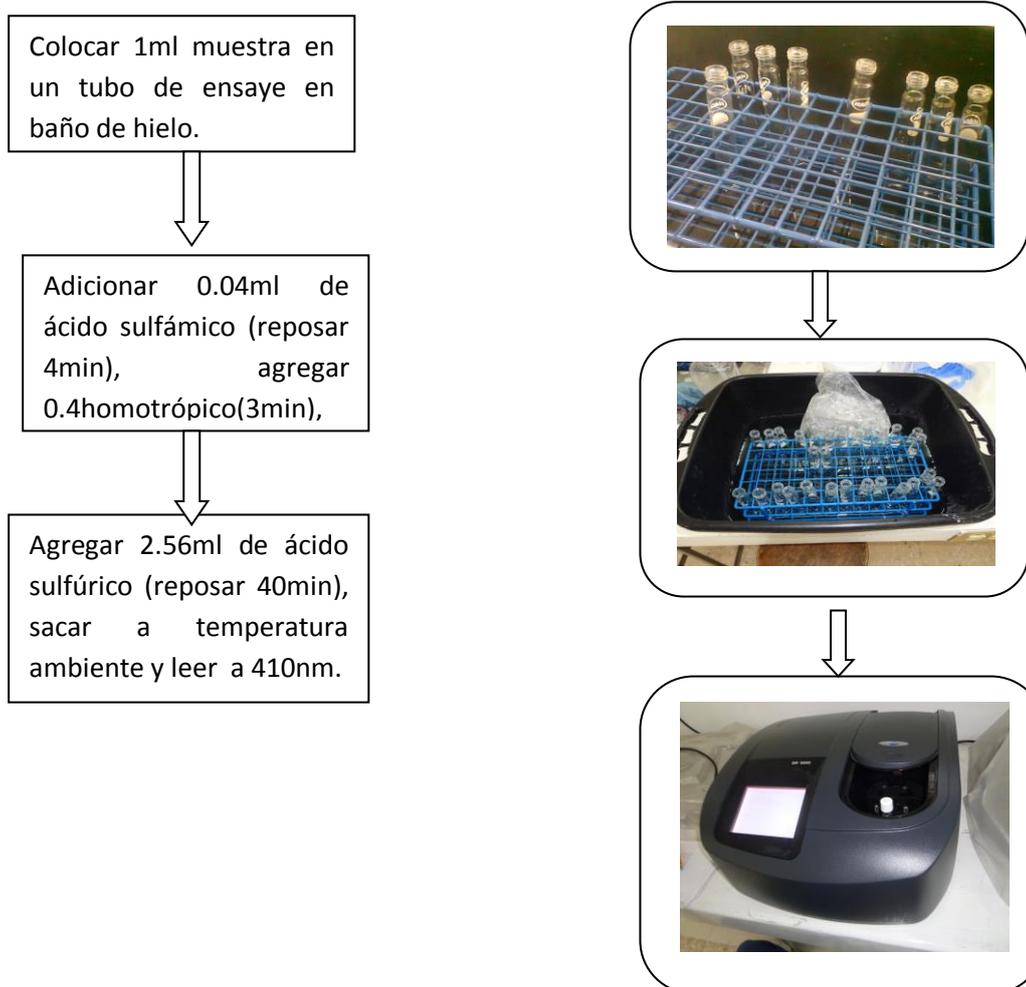
Pasar un poco a un tubo HACH y leer a 420nm.



### 3.1.3. Técnica para determinar Nitratos

El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) siempre se reduce cuantitativamente a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) en presencia de cadmio (Cd). Este método emplea gránulos de cadmio, disponible comercialmente, tratado con sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) y empacado en columna de vidrio.

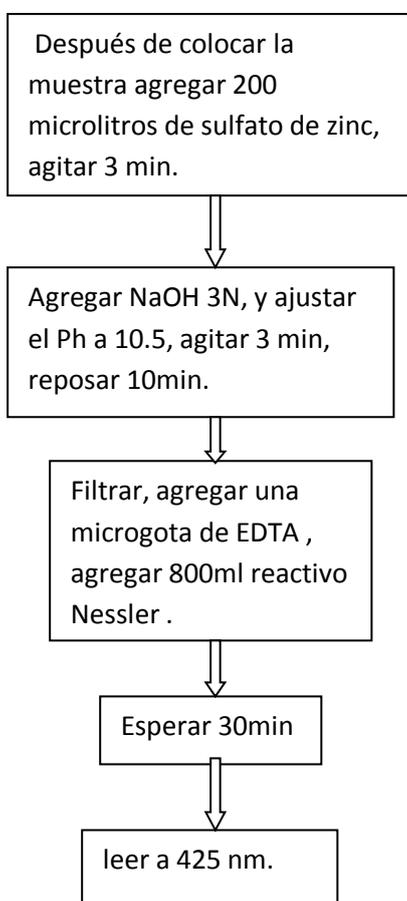
El nitrito producido se determina entonces por diazotización de la Sulfanilamida acoplada con dihidrocloruro de N-(1-naftil) etilendiamina para formar un azo compuesto altamente colorido que se mide espectrofotométricamente o colorimétricamente. Para determinar la presencia de nitritos en la muestra y realizar las correcciones necesarias se puede hacer un análisis sin el paso de reducción. Este método es aplicable en el intervalo de concentraciones entre 0,01 mg de N- $\text{NO}_3^-$ /L a 1,0 mg de N- $\text{NO}_3^-$ /L. El método se recomienda especialmente para niveles de nitrato por debajo de 0,1 mg N/L, donde otros métodos carecen de la sensibilidad adecuada.



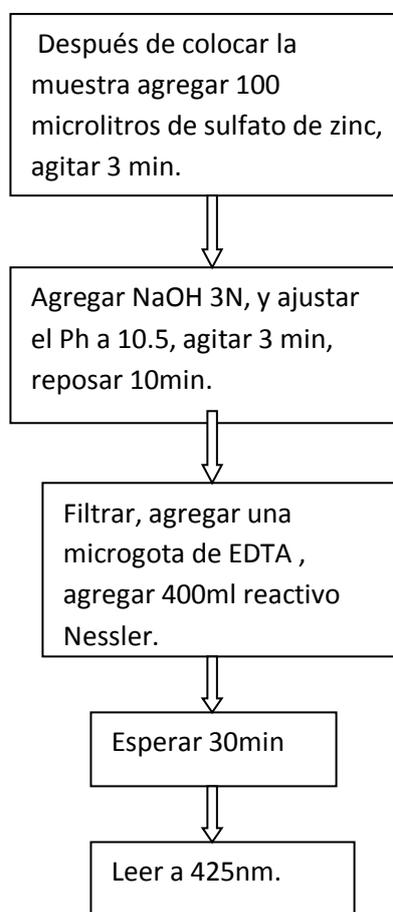
### 3.1.4. Técnica para determinar amoniaco

En el método Kjeldahl los compuestos nitrogenados de la muestra se descomponen con ácido sulfúrico concentrado en caliente, transformándose el nitrógeno de la mayoría de los grupos funcionales orgánicos en amonio. Cuando la descomposición se ha completado la disolución se enfría, se diluye y se alcaliniza con hidróxido de sodio concentrado. El amoniaco liberado se destila y se adsorbe en una disolución de concentración conocida de ácido bórico. Los grupos amino y amido se convierten cuantitativamente a ión amonio. Sin embargo los grupos nitro, azo o azoxi generan en las mismas condiciones, otros productos nitrogenados ( $N_2$  u óxidos de nitrógeno).

Para 20 ml de muestra.



Para 10 ml de muestra



#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una acumulación masiva de biomasa en los sistemas biológicos secuenciales, modifica de manera significativa cada parámetro, puesto que interviene de manera directa en la lectura de la absorbancia.

Si no se tiene un sistema totalmente monitoreado es difícil percatarse de las deficiencias que este pueda tener. Sin embargo factores como la temperatura y el pH pueden ser la causa de los grandes disturbios que un reactor pueda presentar en determinados momentos, es preciso tener presente que un aumento de temperatura o disminución de la misma provoque un descontrol en el metabolismo de los microorganismos cuya actividad o bien puede acelerar o disminuir, de igual forma esto ocurre con cambios severos del pH que se pudiera tener en el momento de incorporar agua cruda al sistema.

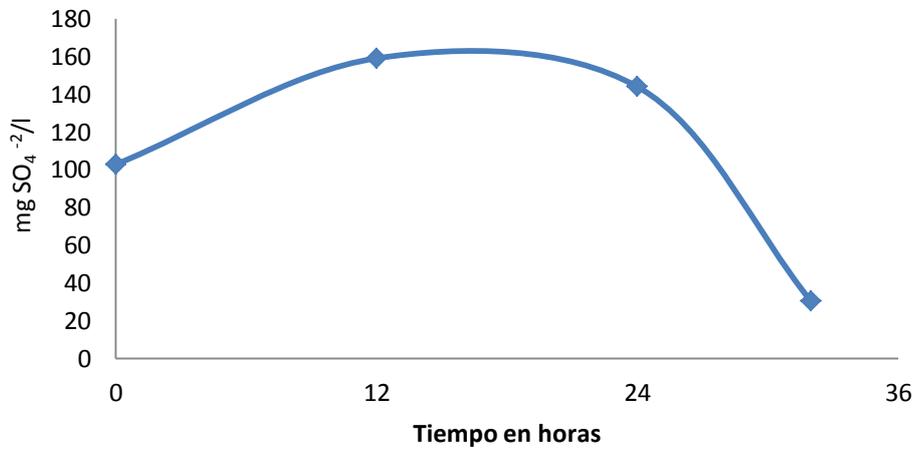
En el cuadro 1 se presenta la caracterización del agua cruda cuyos valores se esperaba fueran menores al final del proceso. No obstante en las gráficas 1 y 2 se puede observar el comportamiento a través del tiempo con el primer TRH de 12 horas, donde se aprecia que no hubo remoción de los contaminantes.

**Cuadro 1. Caracterización de la muestra del agua sin procesar**

Día	Tiempo	pH	mg DQO/l	mgSO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /l	mg NO <sub>3</sub> /l
04/10/13	0	8.84	194.22	103	0



**Grafica 1: comportamiento de la DQO en el sistema secuencial anaerobio- aerobio durante un TRH de 12 horas.**



**Grafica 2: comportamiento de los sulfatos en el sistema secuencial anaerobio-aerobio en un TRH de 12 horas.**

#### 4.1. Resultados después del lavado de los reactores

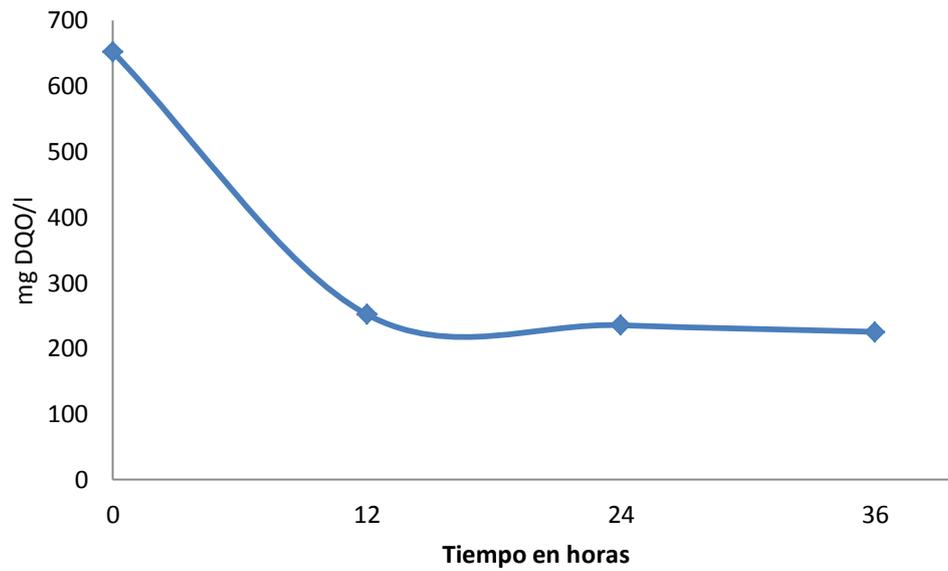
Nuevamente no se obtuvieron los resultados esperados, si bien la acumulación de biomasa ha desaparecido en consecuencia se tiene la pérdida de microorganismos que habitan en los reactores por ende el tiempo para la toma de muestras debía aplazarse, esto con la finalidad de permitir a los microorganismos adaptarse n al ambiente nuevamente incorporados para la formación de la biopelícula.

En cuadro 2, se muestra los valores obtenidos por la muestra cruda los cuales se espera disminuyeran al finalizar el tratamiento secuencial, no obstante en las gráficas 3 y 4 se puede apreciar el comportamiento que tuvo el agua al cabo del TRH de 12 horas. Donde no disminuyo si no por el contrario los valores se incrementaron.

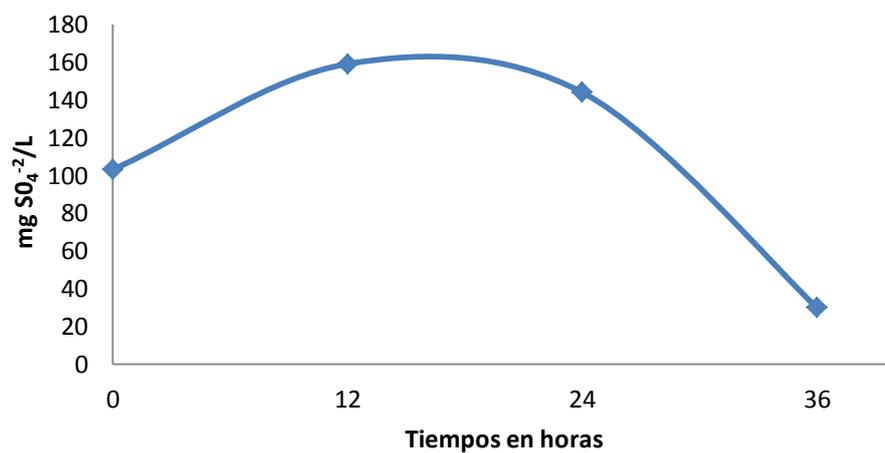
Es así como se decide realizar una inoculación de lodos anaerobios y aerobios respectivamente en los reactores para acelerar la formación de la biopelícula y estabilizar en un menor tiempo el sistema secuencial por completo.

**Cuadro 2. Caracterización de la muestra del agua sin procesar**

Día	Tiempo	pH	mg DQO/l	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /l	mg NO <sub>3</sub> /l
22/10/13	0	8.87	652	30443	0.04



**Grafica 3: Comportamiento de la DQO en el sistema secuencial anaerobio- aerobio durante un TRH de 12 horas. Después del lavado de reactores**

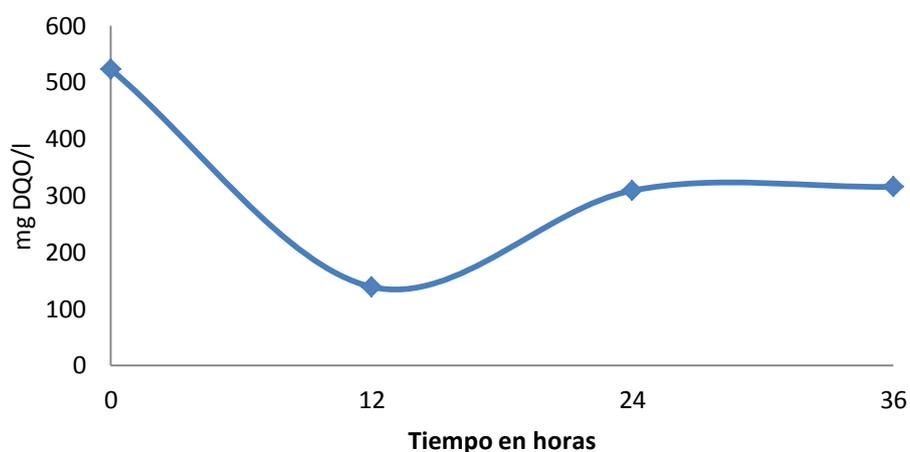


**Grafica 4: Comportamiento de los sulfatos en el sistema secuencial anaerobio- aerobio en un TRH de 12 horas Después del lavado de reactores**

## 4.2. Resultados después de la inoculación de los reactores

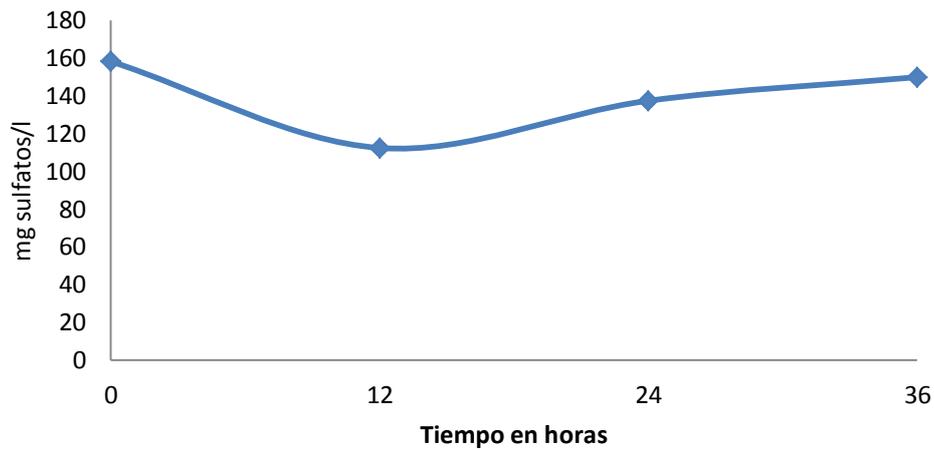
**Cuadro 3. Caracterización de la muestra del agua sin procesar**

Día	Tiempo	pH	mg DQO/l	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /l	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l	Amoniaco mg/l
24/10/13	0	8.87	523.11	158	9.51	59.97



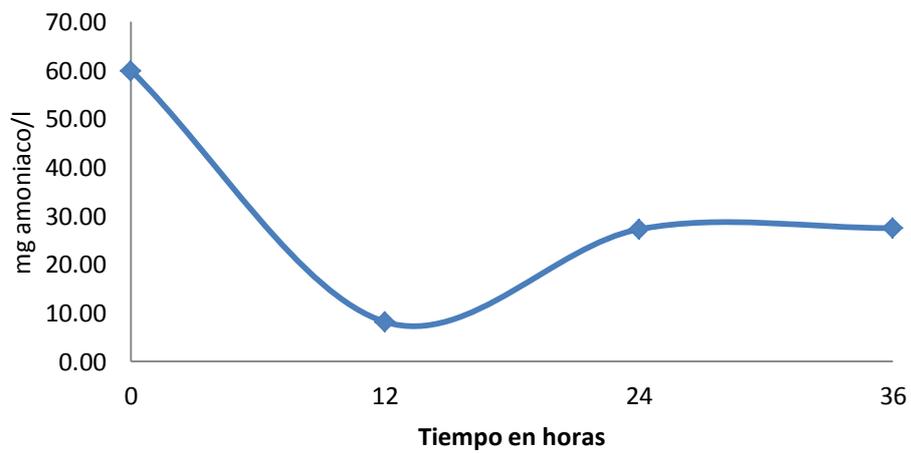
**Gráfica 5: Comportamiento de la DQO en el sistema secuencial anaerobio- aerobio durante un TRH de 12 horas después de la inoculación de los reactores.**

En la gráfica 5, se puede observar que la eficiencia de remoción de la DQO por el sistema secuencial obtuvo valores menores respecto a los iniciales que tenía el agua residual, el sistema obtuvo el 51% de eficiencia de remoción con un TRH de 12 horas estos resultados son similares a los obtenidos por Diez y Borhardt (2002), quienes en su trabajo demostraron que la eficiencia de un tratamiento secuencial después de una inoculación se ve reducida sin embargo después de la estabilización alcanza los niveles máximos de eficiencia. Así también López *et al* (2007), al trabajar también con sistemas secuenciales obtuvieron una eficiencia de remoción del 50-81%, en un TRH de 6 horas.



**Grafica 6: Comportamiento de los sulfatos en el sistema secuencial anaerobio-aerobio en un TRH de 12 horas después de la inoculación de los reactores.**

En la gráfica número 6, se muestra el comportamiento de los sulfatos durante el lapso de trabajo del sistema secuencial, siendo este capaz de generar cantidades por debajo de los iniciales con una remoción del 15% cumpliendo así con lo esperado respecto a los procesos a los que se somete el agua para la reducción de ciertos contaminantes. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Sánchez y Cardona (2009), quienes demostraron al trabajar con aguas domésticas que los tratamientos secuenciales tienen una mayor eficiencia de remoción de materiales orgánicos en comparación con otros modelos.



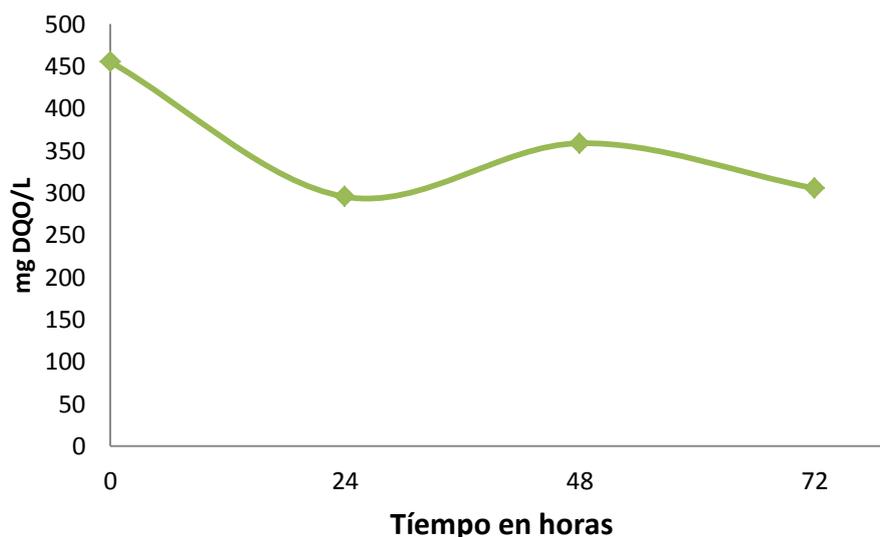
**Grafica 7: Comportamiento del amoniaco en el sistema secuencial anaerobio-aerobio en un TRH de 12 horas después de la inoculación de los reactores**

En la gráfica 7, se muestra la eficiencia de remoción de amonio durante las fases secuenciales de tratamiento, se obtuvieron valores que datan de una eficiencia notable en el tratamiento puesto que la reducción de amonio fue de un 75%, estos resultados no difieren tanto de los reportados por Zenget *al.* (2010), quienes en su experimento al trabajar con sistemas secuenciales reportan una eficiencia de remoción de amonio del 95%.

### 4.3 Resultados después del lavado del reactor y soportes TRH 24 Hrs.

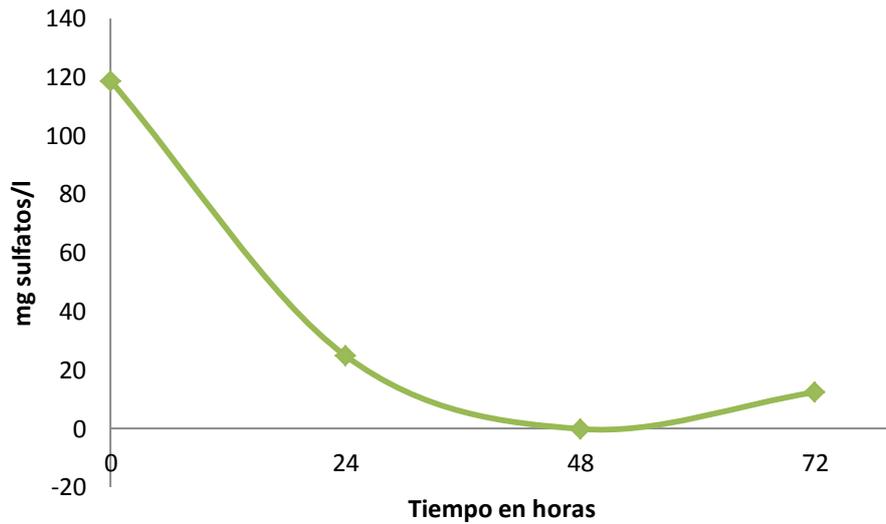
Cuadro 4. Caracterización de la muestra del agua sin procesar

Día	Tiempo	pH	mg DQO/l	mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /l	mg NO <sub>3</sub> /l	Amoniaco mg/l
25/11/13	0	8.71	455.36	119	0	42.34



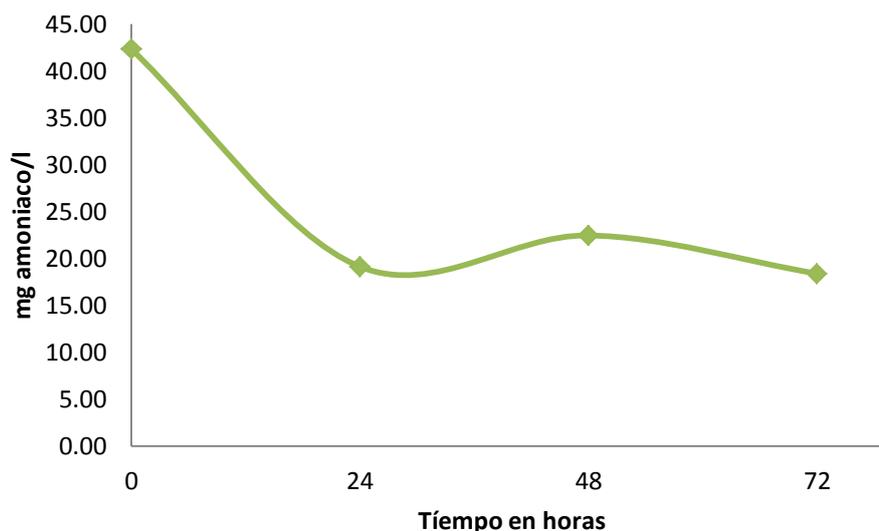
Grafica 8: Comportamiento de la DQO en el sistema secuencial anaerobio- aerobio durante un TRH de 24 horas después del lavado de los reactores.

En la gráfica 8, se puede observar que la eficiencia de remoción de la DQO por el sistema secuencial obtuvo valores menores respecto a los iniciales que tenía el agua residual, el sistema obtuvo el 30% de eficiencia de remoción con un TRH de 24 horas. Estos resultados son similares a los obtenidos por Jiménez *et al*, (2005), quienes demostraron que al utilizar un sistema secuencial con membrana se obtiene una eficiencia de remoción del 50% en un tiempo de retención hidráulica no mayor a 24 horas. Así también Gonzales *et al*, (2008), demostraron en un estudio comparativo que el manejo de biopelículas en los sistemas para el tratamiento de aguas residuales domésticas incrementa la eficiencia del mismo.



**Grafica 9: Comportamiento de sulfatos en el sistema secuencial anaerobio- aerobio durante un TRH de 24 horas después del lavado de los reactores.**

En la gráfica número 9, se muestra el comportamiento de los sulfatos durante el lapso de trabajo del sistema secuencial, siendo este capaz de generar cantidades por debajo de los iniciales con una remoción del 90% cumpliendo así con lo esperado respecto a los procesos a los que se somete el agua para la reducción de ciertos contaminantes. Esto coincide con los datos obtenidos por Guerrero *et al*, (2003), quienes al trabajar con un sistema secuencial obtuvieron una remoción del 100% de sulfatos en aguas provenientes de industrias textiles.



**Grafica 10: comportamiento del amoniaco en el sistema secuencial anaerobio-aerobio en un TRH de 12 horas después de la inoculación de los reactores**

En la gráfica 10, se muestra la eficiencia de remoción de amonio durante las fases secuenciales de tratamiento, se obtuvieron valores que datan de una eficiencia notable en el tratamiento puesto que la reducción de amonio fue de un 52%, estos resultados no difieren tanto de los reportados por Gašpariková *et al.* (2004), quienes demostraron que al utilizar un tratamiento secuencial anaerobio-aerobio obtiene un eficiencia de remoción de materia orgánica de un 65%. De la misma forma Cardona *et al.* (2012), demostraron una eficiencia de remoción de 40% de amoniaco en un tratamiento de secuencial para aguas residuales domésticas.

El pH durante el tiempo de operación de los reactores no tuvo mayor variación, por tanto no hubo necesidad de adicionar ningún tipo de compuesto químico para su estabilización.

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se demuestra la efectividad del tratamiento del agua residual doméstica bajo un sistema secuencial anaerobio- aerobio, esto debido a la eficiencia de remoción de materia orgánica así como la no generación de lodos.

De acuerdo a la hipótesis establecida se demuestra que el mejor tiempo de retención hidráulica es de 12 horas por el porcentaje de remoción de materia orgánica lo cual no significa que el sistema pierda efectividad a un mayor tiempo de acción pues los valores obtenidos en un tiempo de retención de 24 horas también se encuentran por debajo de los máximos permisibles por las normas oficiales.

De la misma forma el uso de soportes para la formación de biopelículas acelera la actividad microbiana mejorando los resultados para el tratamiento de las aguas residuales. Así también se demuestra las ventajas del uso de birreactores esto debido al poco espacio que se requiere para la instalación de los mismos aunado a la simplicidad de su tecnología y manejo.

Finalmente el tratamiento secuencial es una tecnología prometedora no sólo para el tratamiento de aguas residuales domésticas, sino también para aguas residuales provenientes de industrias diversas con la finalidad de la reutilización en campos agrícolas cuya necesidad de aporte de agua para reuso menos contaminada se acrecienta día a día.

## **VI. GLOSARIO DE TÉRMINOS**

Biorreactor: recipientes en los cuales se llevan a cabo reacciones bioquímicas y/o bioprocesos, ya sea con enzimas, microorganismos o con células vegetales y animales, viables y no viables.

SBR: reactores biológicos secuenciales.

DQO: demanda química de oxígeno.

TRH: tiempo de retención hidráulica.

CAG: carbón activado granular.

SST: Sólidos totales suspendidos

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Arrojo,B; Omil, F; Garrido, J.M; Méndez, R. 2003.Combinación de un filtro anaerobio y un sistema SBR para el tratamiento de las aguas generadas en un laboratorio de análisis de productos lácteos.AFINIDAD.60: 344-354
2. Bernet N., Delgenes N., Akunna, J. C. Delgenes j. P.; Molettar..1998; combined anaerobic-aerobic SBR for the treatment of piggery wastewater . PERGAMON. Vol. 34, No. 2, pp. 611- 619.
3. Chernicharo L. 2006.Post-treatment options for the anaerobic treatment of domestic wastewater. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology (2006) 5:73–92.
4. Cardenas c.; Carolina S.Y.;Benítez A.; Páes K.; Perruolo T.; Angulo I.; Herrera L. 2012.Desempeño de un reactor biológico secuencial (RBS)en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Revista Colombiana de Biotecnología.14(2): 111-120.
5. Diez C.; Borhardt C. 2009. Puesta en marcha y operación de una planta anaerobia- aerobia a escala de laboratorio para el tratamiento de riles de la industria cervecera. Universidad de la frontera facultad de ingeniería , ciencias y administración de ingeniería química.
6. Garzón, C; Barragán,B. 2008.Inmovilización microbiana: técnicas y usos en el tratamiento de residuos tóxicos. Sistemas Ambientales. 2 (1): 23-34.

7. Gašpariková E.; KapustaŠ.;Bodík I.; Derco J.; Kratochvíl K.2004.Evaluation of Anaerobic-Aerobic Wastewater Treatment Plant Operations. Original research. 29-34.
8. González M.B.; López F.L.; 2008.Comportamiento de un reactor de biopelícula para tratamientode agua residual a diferentes velocidades de flujo.Revista mexicana de IngenieriaQuimica. (7)3.183-193.
9. Guerrero L.S.; Torres B.;Chamy R.2003. remoción de sulfatos en un reactor UASB.INDEXADAS.
- 10.Jiménez E. L.; Martha P.; Mojica L H.2005. estudio de factibilidad de un reactor anaerobio de flujo a piston a escala de laboratorio, en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tecnogestión. 13-18.
- 11.Kassab G.; Halalsheh M.; Klapwijk A.; Fayyad A.; van Lier J.V. 2010. Sequential anaerobic–aerobic treatment for domestic wastewater – A review. Bioresource Technology. 3299–3310.
- 12.López, A; De la Barrera, J; Vallejo, R; Barahona, C. 2008. Estudio comparativo entre un proceso Fisicoquímico y un biológico para tratar agua residual de rastro. AVERCIENCIA. 33(7): 490-495.
- 13.Muda K.; Aris A.; Razman M.; Salim.; Ibrahim Z. 2013.Sequential Anaerobic-Aerobic Phase Strategy Using Microbial Granular Sludge for Textile Wastewater Treatment. INTECH. 232-264.

14. Mahavi A. 2008. Sequenciig batch reactor: apromisigtechnology in wastewater treatmen. university of theran. Vol. 5: 79-90.
15. Norma Mexicana NMX-AA-04-SCFI 2000 Análisis de agua. Determinación de solidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas (Cancela a la NMX-AA-004-1997) Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México.
16. Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2011 Análisis de agua – Determinación del pH-método de prueba (Cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2000) Secretaría de Economía. México.
17. Norma Mexicana NMX-AA-030-SCFI-2001 Análisis de agua – Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-030-1981) Secretaría de Economía
18. Norma Mexicana NMX-AA-074-1981 Análisis de agua – Determinación de ion sulfato. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México.
19. Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001 Análisis de aguas - Determinación de Nitratos en Aguas Naturales, Potables, Residuales y Residuales Tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-079-1986) Secretaria de Economía.
20. Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2000 Análisis de agua - Determinación de la Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y

Residuales Tratadas - Método de Prueba (Cancela a la NMX-AA- 007-1980) Secretaria de Comercio y Fomento Industrial.

21. Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2001 Análisis de Agua - Determinación de Nitrógeno Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba (Cancela a la NMX-AA-026-1980) Secretaria de Economía.
22. Pérez M.; Gonzales O.; Gonzales S. 2006. Estructuras de biopelículas en el tratamiento de aguas residuales. Ingeniería ambiental.170.
23. Sánchez J.; Cardona S.2009. Evaluacion del comportamiento hidráulico un reactor aerobio y un reactor anaerobio, en una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas de pequeña escala. ISSN.65-80.
24. Scheumann, R.; Kraume, M. 2009. Influence of hydraulic retention time on the operation of a submerged membrane sequencing batch reactor (SM-SBR) for the treatment of greywater.444-45.
25. Stacy Scott. Application of membrane bioreactor technology to wastewater treatment and reuse.
26. Steven S.; Branda A.; Schild V.; Friedman L.; Roberto K. 2005. Biofilms: the matrix revisited. EL SEVIER. 21-26.

27. Supaka, N; Juntongjin, K; Damronglerd, S; Line Delia, M; Strehaiano, P. 2004 Microbial decolorization of reactive azo dyes in a sequential anaerobic–aerobic system. *Chemical Engineering Journal*. 99: 169–176.
28. Tam, P.; Lo K.; Bulley N. 1986. Treatment of milking center waste using sequencing batch reactors. *CANADIAN AGRICULTURAL ENGINEERING*, 125-130.
29. Tomasini, A.C; Moeller, G.E. 2010. Tratamiento biológico con biomasa suspendida anaerobio/aerobio de un agua real textilera con colorante azo. *AIDIS*.3: 1-10.
30. Torres Patricia. 2012. Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *EIA*, ISSN 1794-1237 Número 18, p. 115-129.
31. Yaxcelys .A; Caldera M.; Pedro I.; Madueño M.; Alonso G.; Griborio D.; Edixon C.; Gutiérrez G.; Nola M.; Fernandez A. 2003. Efecto del tiempo de retención hidráulica en el funcionamiento de un reactor UASB tratando efluentes cárnicos. *REDALYC*. vol.3.
32. Zeng w.; yingying Y.; Shuying W.; Yongzhen P. \* 2010. Nitritation and denitritation of domestic wastewater using a continuous anaerobic–anoxic–aerobic (A2O) process at ambient temperatures. *Bioresource Technology*. 8074–8082.

## VIII. ANEXOS

Tabla 1. Comparación de porcentajes de remoción de la materia orgánica

Parámetros	TRH 12horas	TRH 24 horas
DQO	51%	30%
SULFATOS	15%	90%
AMONIACO	75%	52%



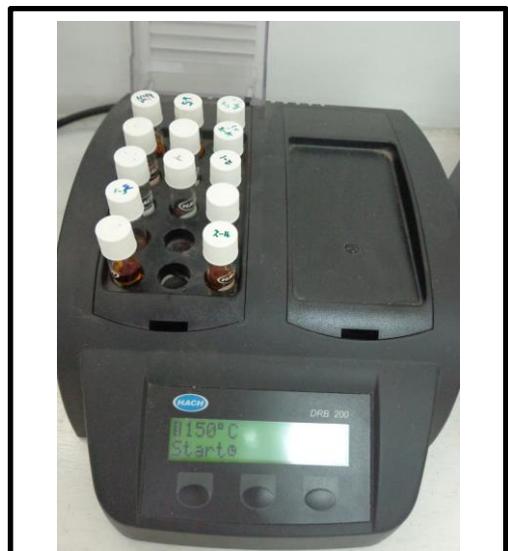
**Soluciones para DQO**



**Muestra centrifugada**



**Tubos Hach: determinación de DQO**



**Termoreactor**



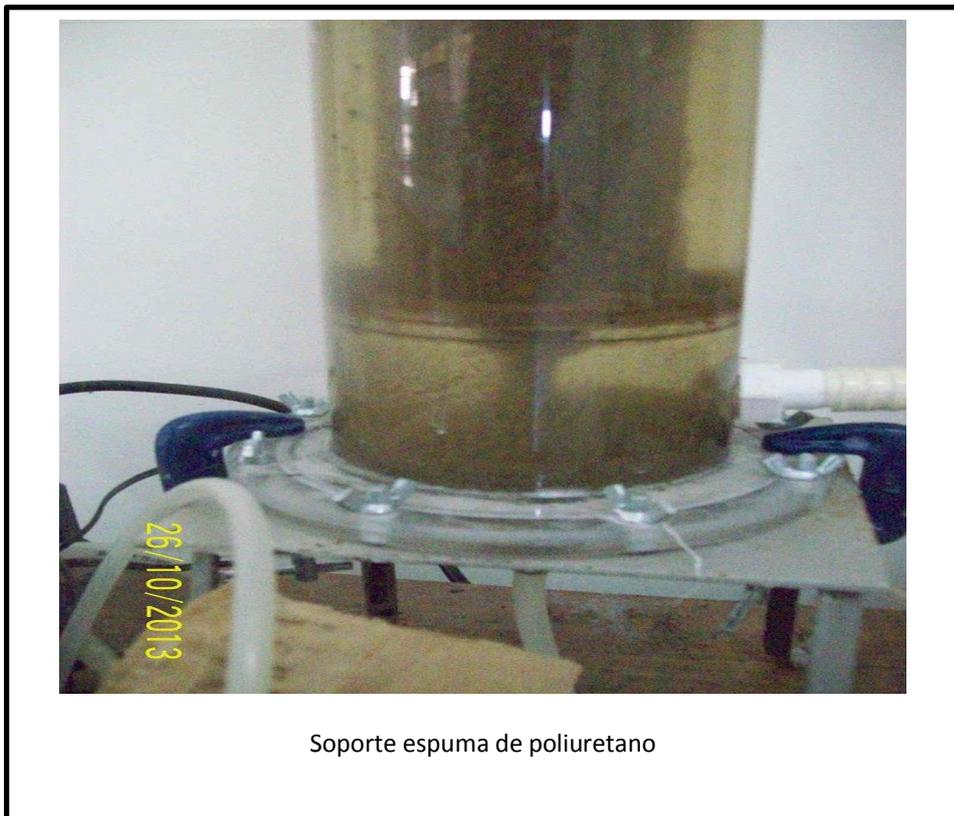
Reactores antes del lavado



Reactores después del lavado



Reactores inoculados



Soporte espuma de poliuretano



Secuencia de la eficiencia del tratamiento secuencial



Resultado final: Comparación agua cruda (izquierda), muestra final tratada (derecha).