

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Biodegradación de la Demanda Química de Oxígeno de Agua Residual del Rastro  
Tipo Inspección Federal No. 377 Ubicado en Saltillo, Coahuila

**GILBERTO GALLARDO CASTILLO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

Octubre 2014

Saltillo, Coahuila, México

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Biodegradación de la Demanda Química de Oxígeno de Agua Residual del Rastro  
Tipo Inspección Federal TIF No. 377 Ubicado en Saltillo, Coahuila

Por:

**GILBERTO GALLARDO CASTILLO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

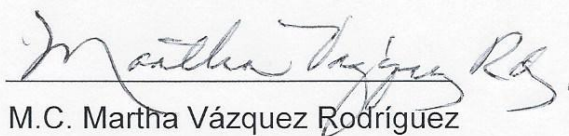
Aprobada



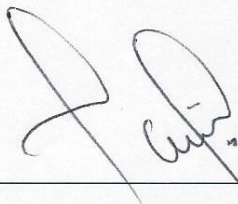
\_\_\_\_\_  
Dra. Silvia Yudith Martínez Amador  
Asesor Principal



\_\_\_\_\_  
Dr. José Antonio Rodríguez de la Garza  
Coasesor



\_\_\_\_\_  
M.C. Martha Vázquez Rodríguez  
Coasesor



*P.A.*  
\_\_\_\_\_  
Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía

Octubre 2014

Saltillo, Coahuila, México

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***A mis padres:***

***Gilberto Gallardo Gómez*** y Especialmente a ***mi Madre Genoveva del Carmen Castillo Silva*** gracias por darme la vida y la formación que me inculcaron, gracias por sus consejos, apoyo y todos los sacrificios que hicieron, que fue lo que me permitió seguir adelante y terminar mis estudios y disfrutar esta etapa de mi vida.

### ***A mi Madrina***

***María Isabel Guadalupe Hernández Sierra*** que es una segunda madre para mí y un ángel en la vida de toda nuestra familia, gracias por apoyarme, ayudarme y velar por mí siempre.

### ***A mis hermanas***

Gracias por todo su apoyo, comprensión y el ánimo que me han dado siempre.

***Dra. Silvia Yudith Martínez Amador***, gracias por permitirme ser parte de sus tesis, por apoyarme no solamente durante la tesis, sino durante toda la carrera, por tenerme paciencia y por incentivar me siempre a buscar algo más.

### ***A toda mi familia***

A mi abuelo, a todos mis tíos, primos y a los que se adelantaron, gracias por todo.

***Gracias a mis amigos y compañeros*** de mi generación y de todas las demás generaciones y carreras que me apoyaron durante estos cinco años, todos ustedes siempre fueron un gran apoyo y me enseñaron muchas cosas.

## **DEDICATORIA**

A las cuatro mujeres que amo con todo mi corazón

Mi madre **Genoveva del Carmen Castillo Silva**, mi **Madrina María Isabel Guadalupe Hernández Sierra** y mis hermanas **Elena y Daniela Alejandra Gallardo Castillo**. Por apoyarme incondicionalmente durante no solo estos cinco años de vida universitaria sino durante mis veinte cuatro años de vida, no habría podido lograrlo nada sin ustedes.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. HIPÓTESIS.....	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1. Aguas Residuales.....	4
4.2. Tipos Y Efectos Principales De Los Contaminantes Del Agua.....	4
4.3. Tipos De Aguas Residuales.....	5
4.4. Análisis De Aguas Residuales.....	6
4.5. Aguas Residuales De Rastros.....	8
4.5.1. Características De Los Residuos Y Cantidades Generadas.....	8
4.5.1.1. Tratamientos De Aguas Residuales.....	9
4.5.2. Fisicoquímico.....	9
4.5.3. Tratamiento Biológico.....	10
4.6. Tratamiento Anaerobio.....	12
4.6.1. Factores Medioambientales.....	12
4.7. Tratamiento Aeróbico.....	14
4.8. Biopelículas.....	14
4.9. Contexto Nacional.....	14
4.9.1. Normas Mexicanas Del Tratamiento De Agua Residual.....	15
4.9.2. Programas Nacionales Para El Tratamiento De Aguas Residuales...	16
4.9.3. Aguas Residuales De Rastro.....	17
4.9.4. Tipos Y Número De Rastros Existentes En México.....	17
5. METODOLOGÍA.....	20
5.1. Ubicación.....	20
5.2. Evaluación De Consorcios.....	20
5.2.1. Material A Evaluar.....	20
5.2.2. Procedimiento.....	20
5.2.3. Muestreo.....	21
5.2.4. Preparación De Soluciones Para El Análisis De DQO.....	21

5.2.5.	Análisis .....	22
5.2.6.	Materiales:.....	23
5.2.7.	Equipo: .....	23
5.2.8.	Reactivos:.....	23
5.2.9.	Métodos:.....	24
5.3.	Reactor De Flujo Continuo .....	27
5.3.1.	Material A Evaluar.....	27
5.3.2.	Materiales Y Métodos .....	27
5.3.3.	Muestreo .....	29
5.3.4.	Análisis .....	29
6.	RESULTADOS .....	30
7.	CONCLUSIONES.....	32
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	33
	ANEXOS.....	36

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 4.1. Concentraciones promedio de contaminantes en el agua residual de rastros. (Jarauta, 2005).....	9
Cuadro 4.2. Clasificación de procesos biológicos de cultivo en suspensión...11	
Cuadro 4.3. Tipo, Número Y Capacidad Instalada Mensual (Cabezas) De Rastros Nacionales .....	18
Cuadro 4.4. Tipo, Número Y Capacidad Instalada Mensual (%) De Rastros Nacionales .....	18
Cuadro 4.5. Tipo, Número Y Capacidad Instalada Mensual (Cabezas y %) De Rastros en Coahuila.....	19
Cuadro 5.1. Concentraciones de Biftalato de Potasio .....	25
Cuadro 5.2. Proporción de materiales utilizados para la evaluación de Lodos y Reactor de flujo Continuo.....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1. Diseño de Reactor de Flujo Estacionario. ....	28
Figura 5.2. A) Incorporación de la esponja de poliuretano B) Incorporación del agua residual y el soporte de esponja .....	28
Figura 6.1 Comportamiento de la DQO contenida en el agua residual del rastro en sistemas estacionarios .....	31
Figura 6.2 Comportamiento de la DQO contenida en el agua residual del rastro en el sistema de flujo continuo .....	31

## 1. INTRODUCCIÓN

En México existen alrededor de 1151 rastros en su mayoría municipales (SAGARPA, 2012) en donde las necesidades de agua promedio por animal sacrificado y faenado son de 1000 litros para animales mayores, 450 litros para porcinos, de aproximadamente 100 litros para ovinos y caprinos, así como 20 litros para aves (Signorini *et al* 2006). Las aguas residuales de los rastros se caracterizan por contener una alta concentración de proteínas grasas, aceites, sólidos suspendidos y otros productos. (Rodríguez *et al* 2002).

El agua residual del rastro es factible para ser tratada por un proceso anaerobio debido a la presencia de una alta concentración de materia orgánica biodegradable. La digestión anaerobia provee una alta remoción de materia orgánica mientras se produce energía recuperable en forma de metano. Esta tecnología genera una baja cantidad de lodo el cual no requiere de aireación. Las bacterias anaerobias pueden sobrevivir sin alimentación por largos periodos de tiempo lo cual es un factor importante para pequeños rastros que operan únicamente unos pocos días a la semana (Mc Arty, 1964; Mase *et al* 2000).

El tratamiento anaerobio ha sido ampliamente estudiado para el tratamiento de agua residual del rastro, han sido utilizados diversos tipos de reactores, últimamente se ha optado por trabajar con reactores empacados con soportes para la formación de biopelícula a fin de obtener una eficiencia de remoción más alta. Sindhu y Meera (2012) trabajaron con un reactor anaerobio empacado con tubos de cloruro de polivinilo de 1.9 cm de diámetro por 1.6 cm de longitud a un TRH de 24 horas para el tratamiento de agua residual del rastro, obteniendo una ERDQO de un 82-85%. Sunder y Satyanayaran (2013) realizaron un estudio del tratamiento de agua residual del rastro con un reactor anaerobio empacado con cilindros flotantes de acrílico con anillos internos de 1.87cm de diámetro x 0.51 cm de longitud, con el cual se logró una ERDQO de un 86 a 89%.



Rajakumar *et al.* (2011) establecieron un filtro anaerobio empacado con anillos de cloruro de polivinilo plisado, el cual fue seleccionado porque su plegamiento puede retener más biomasa sobre su superficie. Los anillos tenían las siguientes dimensiones, longitud 1.5 cm, diámetro interno 1.1 cm y diámetro externo 1.3 cm. En este trabajo la fase de arranque fue establecida por 14 días a un TRH de 36 horas. En la fase de trabajo establecieron un TRH de 12 horas en el cual se consiguió una ERDQO de un 70%.

En este trabajo se evaluó el desempeño de dos tipos de consorcios microbianos en reactores de flujo estacionario y de un filtro anaerobio empacado con espuma de poliuretano en el tratamiento de agua residual del rastro TIF 377, ubicado en Saltillo, Coahuila.

Palabras Clave: Biodegradación, DQO, Agua Residual, Rastro, DBO.

## 2. OBJETIVOS

- a. Evaluar el desempeño de dos consorcios microbianos en reactores de flujo estacionario con y sin soporte para la formación de biopeícula en el tratamiento de agua residual del rastro.
- b. Determinar el desempeño de un filtro anaerobio empacado con espuma de poliuretano en régimen de flujo continuo para el tratamiento de agua residual del rastro.

## 3. HIPÓTESIS

- a. El uso de al menos uno de los consorcios microbianos utilizados en el siguiente trabajo disminuirá significativamente la demanda química de oxígeno.
- b. El uso de soporte ayudara a la disminución de la demanda química de oxígeno.
- c. El uso de un reactor de flujo continuo disminuirá significativamente la demanda química de oxígeno.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Aguas Residuales

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado (Romero, 1999)

### 4.2. Tipos Y Efectos Principales De Los Contaminantes Del Agua

Miller (1994) menciona que existen numerosos agentes que generan contaminación en los diferentes depósitos de agua existentes, entre estos agentes se encuentran:

- Agentes patógenos: entre ellos podemos mencionar a las bacterias, virus, protozoarios y gusanos parásitos provenientes del drenaje doméstico o desechos de animales. En los países subdesarrollados son la mayor causa de enfermedades y defunción; causando la muerte prematura de unas 25 mil personas al día.
- Desechos que requieren oxígeno: los desechos orgánicos que pueden ser descompuestos por las bacterias aeróbicas, que a su vez usan oxígeno para biodegradar los desechos orgánicos. Poblaciones grandes pueden agotar el oxígeno disuelto en el agua.; la cantidad de desechos que requieren oxígeno en el agua puede ser determinada midiendo el contenido de oxígeno disuelto (DQO) o bien la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Sustancias químicas inorgánicas solubles en agua: ácidos, sales y compuestos de metales tóxicos como el mercurio y plomo.
- Nutrientes Vegetales inorgánicos: los nitratos y fosfatos solubles en agua que pueden ocasionar el crecimiento excesivo de algas y otras plantas acuáticas, que mueren y se descomponen, agotando el oxígeno disuelto.
- Sustancias químicas orgánicas: petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, solventes limpiadores, detergentes y otros productos químicos hidrosolubles y no hidrosolubles.

- Sedimento materia suspendida: partículas insolubles de suelo y otros materiales solidos inorgánicos y orgánicos que llegan a quedar en suspensión en el agua.
- Sustancias radioactivas: radioisótopos hidrosolubles o capaces de ser amplificados biológicamente a través de las cadenas tróficas. La radiación de dichos isotopos produce defectos congénitos, cáncer y daño genético.
- Calor: ingresos excesivos de agua caliente proveniente del enfriamiento de máquinas en plantas de energía eléctrica.

#### 4.3. Tipos De Aguas Residuales

El Departamento de Sanidad de New York, en su manual de tratamiento de agua residuales (2008) considera que el origen de los agentes contaminantes es muy diverso y pueden ser originados por:

- Desperdicios caseros.

Proceden de las manipulaciones domesticas de lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza y preparación de alimentos y lavado de la loza. Casi todos estos desechos contienen jabones, detergentes sintéticos generalmente tienen agentes espumantes y que son de uso común en las labores domésticas.

- De lavado de calles y corrientes pluviales.

Las lluvias depositan cantidades variables de agua en la tierra y gran parte de ella lava la superficie, al escurrir arrastrando polvo, arena, hojas y otras basuras. En algunas poblaciones se deja que estos escurrimientos pluviales vayan a los drenajes formando parte importante de las aguas negras. El volumen de estas corrientes pluviales varía según la intensidad de la precipitación de la zona y de la cubierta asfáltica.

- Infiltraciones de aguas subterráneas.

Debido a que las juntas entre las secciones de tubería no quedan perfectamente ajustadas, existe siempre la posibilidad de que se infiltre el agua subterránea.

Debido a que los drenajes no funcionan a presión sino son gravitatorios las infiltraciones son siempre considerables.

- Desechos industriales.

Los productos de desecho de los procesos fabriles son parte importante de las aguas negras. Estos desechos varían mucho por su tipo y volumen, pues dependen de la clase de establecimiento fabril ubicado en la localidad.

- Desechos humanos y animales.

Son las exoneraciones corporales que llegan a formar parte de las aguas residuales mediante sistemas hidráulicos de los retretes y en cierto grado de los procedentes de los animales, que van a las alcantarillas al ser lavadas en el suelo o en las calles. Estos desechos son los más importantes, por lo que se refiere a la salud pública porque pueden contener organismos perjudiciales para el hombre, por lo que su tratamiento seguro y eficaz constituye uno de los principales problemas para el acondicionamiento de las aguas residuales para su disposición.

Se consideran como aguas residuales domésticas (A.R.D.), los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales.

Se denominan aguas residuales municipales a los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratado en una planta de tratamiento municipal y se llaman aguas residuales industriales las aguas residuales provenientes de las descargas de industrias de manufactura (Romero, 1999).

#### 4.4. Análisis De Aguas Residuales

Existen diversos métodos para el análisis de aguas residuales. Los métodos de analíticos para contaminantes orgánicos se clasifican en dos grupos; métodos de evaluación para la demanda química de oxígeno y los métodos para la evaluación de parámetros de contenido de carbono (Ramalho, 1996)

Métodos de evaluación para la demanda química de oxígeno

- Demanda teórica de oxígeno (DTeO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda total de oxígeno (DTO)

Métodos para la evaluación de parámetros de contenido de carbono

- Carbono orgánico teórico (COTe)
- Carbono orgánico total (COT)

#### *DTEO*

La demanda teórica de oxígeno corresponde a la cantidad estequiométrica de oxígeno requerida para oxidar completamente un determinado compuesto. Normalmente se expresa en mg de oxígeno requerido por litro de solución.

#### *DQO*

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se define como la cantidad del oxidante específico que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas. La cantidad de oxidante consumido se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno. Debido a sus propiedades químicas únicas, el ion dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) es el oxidante específico en este método y se reduce a ion crómico ( $\text{Cr}^{+3}$ ) en estas pruebas. Ambos componentes orgánicos e inorgánicos se oxidan, aunque en la mayoría de los casos predominan los componentes orgánicos y son los de mayor interés.

La DQO es empleada como medida de contaminantes en agua residual y aguas naturales.

#### *DBO*

La demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia. La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de tres tipos de materiales: 1 materiales orgánicos carbónicos; 2 nitrógeno oxidable, derivado de

la presencia de nitritos, amoníaco, y en general compuestos orgánicos nitrogenados; 3 compuestos químicos reductores (ion ferroso, sulfitos. Sulfuros que se oxidan por el oxígeno disuelto)

#### *pH*

Es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en un medio. Esta concentración está directamente relacionada al carácter ácido, neutro o básico del medio. Un pH menor de 7.0 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un valor mayor de 7.0 muestra una tendencia hacia lo alcalino. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos (May, 2003)

#### 4.5. Aguas Residuales De Rastros

La industria cárnica es uno de los más grandes productores de residuos orgánicos del sector de procesado de alimentos. Un rastro o matadero genera residuos que comprenden partes del animal que no tienen valor para el operador del rastro o bien genera aguas residuales como resultado del lavado de los canales, procesado de los despojos y de la limpieza del equipo y de la estructura del mismo edificio. (Miller, 1994)

##### 4.5.1. Características De Los Residuos Y Cantidades Generadas

El material de venta no comercial representa un poco más del 50 % del peso vivo del animal, con aproximadamente 25 % que necesita extracción de grasa o eliminación especial. El otro 25 % tiene un valor negativo y no es idealmente adecuado para el proceso de extracción de grasa.

Cuadro 4.1. Concentraciones promedio de contaminantes en el agua residual de rastros. (Jarauta, 2005)

<b>Parámetro (Unidad) Concentración</b>
---

DBO5 (mg/L)	1200 – 7000
DQO (mg/L)	4000 – 12000
SST (mg/L)	300 – 2500
Nitrógeno total (mg/L)	200 – 750
Grasas y aceites (mg/L)	100 – 600
pH	6.8– 7.8

#### 4.5.1.1. Tratamientos De Aguas Residuales

Existen diversos métodos para el tratamiento de aguas residuales de rastros el fisicoquímico y el biológico.

#### 4.5.2. Fisicoquímico

Entre los procesos fisicoquímicos que se han empleado comúnmente están: Flotación por aire disuelto; para la remoción de sólidos suspendidos y grasas y, Coagulación (Morales *et al*, 2009)

Los procesos fisicoquímicos del tipo coagulación – floculación se utilizan para la remoción de partículas suspendidas y coloidales y uno sus parámetros operacionales más importante es la turbiedad o la absorbancia, que mide de manera indirecta la concentración de partículas. Entre los coagulantes y floculantes usados para el tratamiento de aguas residuales de rastro se encuentran: policloruro de aluminio, polímeros orgánicos, sulfato de aluminio, cloruro férrico y sulfato férrico, entre otros. (Lopez *et al*, 2008; Caldera *et al*, 2011)

#### 4.5.3. Tratamiento Biológico

Los tratamientos biológicos tuvieron en un principio como objetivo la eliminación de la materia orgánica de las aguas residuales. Posteriormente se les ha ido dando otros usos como son la nitrificación, desnitrificación o la eliminación de fosforo.



En todo tipo de procesos se utilizan reacciones asociadas a los organismos vivos los microorganismos crecen utilizando los contaminantes del agua como fuente de carbono y/o como fuente de energía, convirtiéndolos en nuevos organismos (biomasa), dióxido de carbono y otros compuestos inocuos. La fuente de carbono y/o energía se denomina sustrato, por lo que en estos tratamientos se conocen también como consumo de sustrato. El rendimiento de estos procesos es la cantidad de biomasa generada por unidad de sustrato eliminado.

Los tratamientos se presentan a diversas clasificaciones. Cabe distinguir dos claramente diferenciados.

- Procesos biológicos de cultivo en suspensión
- Procesos biológicos de soporte sólido

Los más importantes del primero son los lodos activados, las lagunas aireadas y el lagunaje. Del segundo los filtros percoladores, los biodiscos y los lechos de turba.

#### Procesos biológicos de cultivo en suspensión

En general todos estos procesos son parecidos y pueden considerarse como variantes del mismo proceso. Las variantes y opciones que se pueden considerar aparecen en la tabla 3 aunque en la práctica solo se utilizan algunas combinaciones de dichas variables.

Cuadro 4.2. Clasificación de procesos biológicos de cultivo en suspensión

Tipo de proceso	Aerobio  Anóxico  Anaerobio
Tipo de reactor	Flujo continuo:

	Flujo en pistón
	Mezcla completa
	Flujo disturbado
	Flujo discontinuo.

Se pueden distinguir cuatro grandes grupos dentro de los procesos de cultivo en suspensión.

Fangos activados. Son procesos aeróbicos. En ellos se consigue un tiempo de retención celular mediante una recirculación de los fangos. El aporte del oxígeno se efectúa por medios mecánicos.

Lagunas aireadas son predominantemente aerobias aunque pueden combinarse con procesos anaerobios. El tiempo de retención se consigue con grandes volúmenes del reactor.

Los métodos biológicos para el tratamiento de agua residual involucran microorganismos para la degradación de los diversos componentes en el agua (orgánicos e inorgánicos). Aerobio y anaerobio; que a su vez se ven complementados con el uso de reactores de flujo estacionario, reactores de flujo continuo, el uso de soportes y la formación de biopelículas.

#### 4.6. Tratamiento Anaerobio

La digestión anaeróbica es un método para tratar los desechos de la industria cárnica. Los procesos anaeróbicos operan en ausencia de oxígeno y los productos finales son mezclas de metano y dióxido de carbono y un fango estabilizador. La digestión anaeróbica de los materiales orgánicos a metano y dióxido de carbono es un proceso biológico y químico complicado que implica tres etapas: hidrólisis, acetogénesis y finalmente metanogénesis.

Los factores que influyen en el proceso de tratamiento anaeróbico de aguas residuales.

- La naturaleza de la materia orgánica (composición del agua residual).
- La biomasa anaerobia, concentración y capacidad de adaptación.
- La mezcla y tiempo de contacto de la materia orgánica y la biomasa.
- Los factores medioambientales(pH, temperatura, nutrientes, etc.) (Monge *et al*, 2010).

#### 4.6.1. Factores Medioambientales

La influencia de la temperatura sobre la cinética de la eliminación de la cantidad orgánica es muy difícil de determinar ya que depende de muchos factores.

Cuando aumenta la temperatura la actividad bacteriana mesofílica crece dentro de los límites de cuatro a treinta grados centígrados. En ocasiones el crecimiento de la actividad bacteriana puede tratarse a causa de la difusión del oxígeno dentro del floculo biológico. La actividad de la endogénesis crece y contribuye a disminuir la fracción activada de los fangos.

Las aguas residuales deben contener concentraciones de nitrógeno y fosforo en forma asimilable. Para producir un crecimiento equilibrado de los fangos activados, las aguas residuales también deben tener una serie de oligoelementos.

También existen compuestos orgánicos que actúan como inhibidores; dependiendo de la concentración de estos elementos pueden actuar o no como inhibidores. También existen elementos que pueden ser tóxicos para estos microorganismos en elevadas concentraciones; los metales pesados son un ejemplo claro de esto.

Para la eliminación orgánica el pH óptimo de los fangos activados se sitúa entre 6.5 y 8.5; es tan importante que se presentara una disminución en cualquier actividad microbiana fuera de ese rango.

El sistema de tratamiento de aguas residuales mediante fangos activados comenzó desde 1882 con los primeros ensayos de aeración de efluentes; pero fue hasta 1914 con la publicación de su definición por Adam y Lockett.

Los diseños utilizados para digestión anaerobia pueden clasificarse en función de su capacidad para mantener altas concentraciones de microorganismos en el reactor, siguiendo diferentes métodos. El reactor más simple es el de mezcla completa (RMC, CSTR en inglés), y es el más utilizado para residuos (Biomasa digestores)

**Reactor de mezcla completa sin recirculación:** consiste en un reactor en el que se mantiene una distribución uniforme de concentraciones, tanto de substrato como de microorganismos

**Reactor de mezcla completa con recirculación:** este sistema tiene el nombre de reactor anaerobio de contacto y sería equivalente al sistema de fangos activos aerobios para el tratamiento de aguas residuales

**Reactor con retención de biomasa, sin recirculación** Si se consigue retener bacterias en el interior del reactor, evitando la configuración de reactor de mezcla completa, es posible reducir el tiempo de retención por debajo del reactor

**Sistemas discontinuos** En un sistema discontinuo, la curva de evolución temporal de la producción de biogás sigue la misma tendencia que la curva típica del crecimiento de microorganismos (latencia, crecimiento exponencial, estacionalidad y decrecimiento).

**Otros sistemas** Los reactores anteriores pueden ser combinados para conseguir sistemas más eficientes, según el tipo de residuo a tratar

#### 4.7. Tratamiento Aeróbico

En este tipo de tratamiento se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos. Como el catabolismo oxidativo requiere la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no está presente en las aguas residuales, él requiere

ser introducido artificialmente. La forma más conveniente de introducir un oxidante es por la disolución del oxígeno de la atmósfera, utilizando la aireación mecánica, lo que implica altos costos operacionales del sistema de tratamiento. Adicionalmente la mayor parte de la DQO de la materia orgánica es convertida en lodo, que cuenta con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado.

#### 4.8. Biopelículas

Esta biocenosis o biomasa puede encontrarse en forma de cultivo en suspensión en el seno del agua o bien adherida a diferentes materiales o soportes. Los procesos de biomasa adherida se denominan de película fija, de película biológica o procesos de biopelícula. Existen varios criterios de clasificación de los reactores de biopelícula, por ejemplo, según el tipo de soporte (soporte fijo, giratorio o móvil) o su combinación con fangos activos (reactores híbridos) o no (reactores de biopelícula puros).

El concepto básico del biofiltro es utilizar soportes de pequeño tamaño con una alta superficie específica, de forma que se produce tanto biodegradación (en condiciones aerobias, anóxicas o anaerobias) como retención de sólidos.

#### 4.9. Contexto Nacional

Los recursos hídricos en México, al igual que en el resto del mundo, se encuentran bajo una creciente presión. El crecimiento demográfico, la urbanización y el aumento en el consumo de agua en los hogares, la agricultura y la industria, han aumentado significativamente el uso global del agua.

Es por ello que los gobiernos federales y estatales han creado diversos programas y normas para el manejo y tratamiento del agua residual generada por hogares e industrias.

#### 4.9.1. Normas Mexicanas Del Tratamiento De Agua Residual

En el artículo 31 de la ley general de equilibrio ecológico y la protección al ambiente se encuentran diversas normas referentes a la contaminación de las descargas residuales

Por el elevado número de normas existentes no se nombraran todas, pero se mencionaran algunas de las más importantes para el caso de tratamiento de aguas residuales de rastro que son:

*NOM-001-SEMARNAT-1996*, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

*NOM-003-SEMARNAT-1997*, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público.

*NOM-004-SEMARNAT-2002*, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

*NOM-052-SEMARNAT-1993*. Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

*NOM-053-SEMARNAT-1993*. Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

*NOM-054-SEMARNAT-1993*. Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993.

Es importante resaltar que no son las únicas normas a las que se encuentra sometido el tratamiento de este contaminante, pero es importante señalar a algunas de las más trascendentes como se mencionó anteriormente.

#### 4.9.2. Programas Nacionales Para El Tratamiento De Aguas Residuales

Durante el periodo 2001–2006, en relación con el tratamiento de aguas residuales, se planteó la necesidad de elevar el nivel de cobertura a fin de restaurar la calidad del agua en las corrientes y acuíferos del país. El Programa Nacional Hídrico (PNH) 2007–2012 manifiesta el valor esencial que tiene el agua como elemento estratégico para atender las necesidades básicas de la población e impulsar el desarrollo de las actividades económicas del país, en un marco que antepone, el cuidado y preservación del medio ambiente para las futuras generaciones.

El PNH 2007–2012 establece que el tratamiento de las aguas residuales es esencial para garantizar el ciclo del agua, por lo que se identificaron una serie de políticas prioritarias para alcanzar estas metas:

1. El suministro de los servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales debe ser una prioridad en las agendas municipal y estatal.
2. Los municipios e industrias deben cumplir con la normatividad establecida en México en lo que se refiere a las descargas que son vertidas a los cuerpos de agua nacionales.
3. Para cubrir los costos de operación, mantenimiento y renovación de las plantas de tratamiento, es fundamental que los responsables de prestar este servicio establezcan tarifas y sistemas de cobro adecuados.
4. Asegurar el reúso de las aguas producidas, lo que puede contribuir a cubrir parte de los costos operativos de los organismos operadores; por ejemplo, al vender el agua a la industria.
5. Consolidar el reúso del agua residual tratada, así como su intercambio por agua de primeruso en aquellas actividades en que esta opción es factible.
6. Reactivar las plantas que están fuera de operación o que funcionen con bajas eficiencias, con el fin de aprovechar la capacidad instalada.

#### 4.9.3. Aguas Residuales De Rastro

El consumo de agua diario de estos rastros es de 22734,560 litros de agua y, considerando el consumo de 163 litros (Fuente: Plan Maestro de Agua Potable del Distrito Federal 1997-2010) por día por persona, se requerirían 139,476 individuos al día para generar este consumo de agua, lo que hace imprescindible considerar alternativas de optimización de su uso en estos establecimientos.

Las aguas residuales que no reciben ningún tratamiento previo a su eliminación corresponde al 62.8% del total del agua vertida diariamente por los rastros y mataderos que constituyen este estudio. Los establecimientos que no realizan ningún tratamiento previo generan, anualmente, 5.8 miles de toneladas de DBO5, es decir el 6.8% de lo producido por toda la industria alimenticia en México. (Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales)

#### 4.9.4. Tipos Y Número De Rastros Existentes En México

Los tipos de rastros se refieren a aquellos que operan bajo autorización federal, estatal o municipal, son establecimientos diseñados para el sacrificio de especies pecuarias: bovino, porcino, ovino, caprino, equino y ave. La información se refiere a: nombre de la entidad federativa, número de rastros, especies que se sacrifican, capacidad instalada para sacrificio y capacidad promedio mensual utilizada, en términos porcentuales. Las secciones comprenden la capacidad instalada y utilizada promedio mensual para el sacrificio de especies pecuarias en:

- Establecimientos Tipo Inspección Federal (TIF).
- Establecimientos de sacrificio privados.
- Rastros municipales. (capacidad instalada para sacrificio de especies pecuarias)

Cuadro 4.3. Tipo, Número Y Capacidad Instalada Mensual (Cabezas) De Rastros Nacionales

		Capacidad Instalada Mensual (Cabezas)
--	--	---------------------------------------



Tipos de Rastro	No. De Centros	Bovino	Porcino	Caprina	Ovino	Aves	Equino
TIF	115	390,639	686,358	94,395	24,541	70,086,547	11,000
Privado	144	88,784	199,815	16,976	14,100	10,249,850	6,582
Municipal	884	402,934	673,350	33,179	37,606	242,750	10,500
<b>Total</b>	<b>1,143</b>	<b>882,357</b>	<b>1,559,523</b>	<b>144,550</b>	<b>76,247</b>	<b>80,579,147</b>	<b>28,082</b>

Cuadro 4.4. Tipo, Número Y Capacidad Instalada Mensual (%) De Rastros Nacionales

Tipos de Rastro	No. De Centros	Capacidad Utilizada Mensual (%)					
		Bovino	Porcino	Caprina	Ovino	Aves	Equino
TIF	115	59	80	67	31	91	75
Privado	144	43	69	95	55	71	56
Municipal	884	55	60	40	34	47	26
<b>Total</b>	<b>1,143</b>	<b>56</b>	<b>70</b>	<b>64</b>	<b>37</b>	<b>88</b>	<b>52</b>

Cuadro 4.5. Tipo, Número Y Capacidad Instalada Mensual (Cabezas y %) De Rastros en Coahuila

Entidad Federativa	No. De Establecimiento	Capacidad instalada mensual (cabezas)						Capacidad utilizada mensual (%)					
		Bovino	Porcino	Caprina	Ovino	Aves	Equino	Bovino	Porcino	Caprina	Ovino	Aves	Equino
Coahuila	6	23,540	5,700	21,600	864			57	27	2	5		

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Ubicación

El presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, durante los meses de junio y diciembre en el laboratorio de biología perteneciente al departamento de Botánica ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

El agua residual se obtuvo del rastro TIF 377 ubicado en la carretera a Zacatecas km 8, Saltillo, Coahuila.

El Agua contenía en promedio 8.6 g DQO/l y tenía un pH de 7.5. No se dio tratamiento previo alguno al agua antes de ser tratada por anaerobiosis

## 5.2. Evaluación De Consorcios.

La primera parte de este trabajo consistió en la evaluación de dos consorcios microbianos y su eficacia en la disminución de la DQO del agua residual de rastro.

### 5.2.1. Material A Evaluar

Los consorcios a evaluar fueron obtenidos, en primer lugar, de la planta de tratamiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila; el segundo consorcio se obtuvo de Planta Tratadora de una Industria Cervecera de Monterrey (PTICM). Los consorcios estaban en forma granulada

### 5.2.2. Procedimiento

Se tomó una muestra del rastro TIF 377 (10 L); se analizó para conocer su pH y DQO; y se refrigeró para evitar la degradación natural de los compuestos orgánicos.

Se dio tiempo para un período de inducción con el fin de optimizar el desempeño de los microorganismos a la presencia de los compuestos del agua residual del rastro. Para lo cual se colocaron dos litros de cada consorcio en envases de cuatro litros y se rellenó con la muestra obtenida del rastro. El tiempo de inducción fue de 10 días.

Como reactores fueron utilizados frascos de polietileno con 500 ml de capacidad. Cada tapa de los frascos tenía orificios donde se le colocaron tapas de goma para poder extraer muestras con jeringas.

Se pesaron 2 g de espuma de poliuretano para cada uno de los diez reactores que les correspondía soporte.

Después de la inducción, se les agregó 50 ml del consorcio UAAAN a 10 frascos y 50 ml del consorcio PTICM a 10 frascos y 200 ml de agua de rastro a cada uno. Estableciendo así los cuatro tratamientos a evaluar:

- Cinco frascos para el T1 (consorcio PTICM)

- Cinco frascos para el T2 (consorcio PTICM+EP)
- Cinco frascos para el T3 (consorcio UAAAN+EP)
- Cinco frascos para el T4 (consorcio UAAAN)

### 5.2.3. Muestreo

Se le realizaron once muestreos, a cada uno de los frascos de los diferentes tratamientos, durante las 480 horas que duró el tratamiento de los lodos; la primera después de agregar las aguas residuales a todos los frascos y la última al concluir las 480 hrs. Estas muestras fueron etiquetadas y guardadas en un refrigerador a una temperatura de 5 °C para su posterior análisis (225 muestras totales).

### 5.2.4. Preparación De Soluciones Para El Análisis De DQO

Solución de Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ):

- Secar en la estufa y pesar 10.216g de Dicromato de Potasio.
- Pesar 33.3 g. de  $HgSO_4$  (sulfato mercúrico).
- En un matraz de aforación de 1 litro, agregar el Dicromato de potasio y el sulfato mercúrico. Añadir 500 ml de agua destilada.
- Añadir 167 ml de ácido sulfúrico muy lentamente, aforar a 1 litro con agua destilada.

Solución de Ácido sulfurico-Plata:

Pesar 15 g de sulfato de plata, agregar en un matraz de aforación de 1 l. y aforar con ácido sulfúrico, reposar en dilución por 2 días.

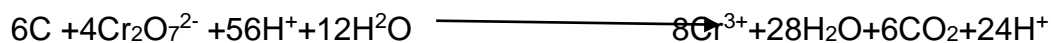
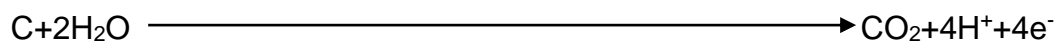
### 5.2.5. Análisis

Se realizó una curva de calibración para la Demanda Química De Oxígeno (DQO) con una solución de biftalato de potasio en un “Espectrofotómetro Hach DR 5000”.

Posteriormente para el análisis cada muestra fue previamente centrifugada durante 5 minutos a 1200 rpm para evitar que existieran partículas suspendidas que alteraran el resultado.

Se les realizo análisis de DQO tomando en cuenta que la materia orgánica es oxidada por el dicromato de potasio en un medio fuertemente ácido en presencia del catalizador (Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). La coloración pasa de un color Amarillo a Verde-Azul y se lee a una absorbancia de 600 nm en donde se realiza la siguiente reacción:

#### Reacción:



Amarillo

Verde-Azul

### 5.2.6. Materiales:

- 2 Dispensores de 1-5 ml.
- Tubos de HACH con tapón rosca.
- Frascos ámbar de 1.0 ó 2.0 litros.
- Matraces de aforación de 1.0 litro.

- Baño de Hielo
- Matrices de aforación de 100 ml (para la curva estándar).

5.2.7. Equipo:

- Espectrofotómetro HACH DR 2010
- Termoreactor TR-3000 MERK

5.2.8. Reactivos:

- Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ )
- Sulfato mercúrico ( $HgSO_4$ )
- Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ )
- Sulfato de Plata ( $Ag_2SO_4$ )
- Biftalato de Potasio ( $HOOC-C_6H_4-COOK$ )

**IMPORTANTE: USAR BATA Y GUANTES AL PREPARAR LAS SOLUCIONES Y AL HACER LAS PRUEBAS.**

5.2.9. Métodos:

*Solución Digestora:*

1. Secar durante 2 Horas a  $103^\circ C$ , 12 g. de  $K_2Cr_2O_7$  (Dicromato de Potasio).
2. Enfriar en un desecador y pesar 10.216 g. de este reactivo.
3. Pesar 33.3 g de  $HgSO_4$  (sulfato mercúrico). NOTA: Pesar los reactivos en material de vidrio o plástico.

4. En un matraz de aforación de 1 litro, agregar el dicromato de potasio y el sulfato mercúrico con mucho cuidado.
5. Añadirles 500 ml de agua destilada.
6. Pasar el matraz a un baño de hielo.
7. Medir un volumen de 167 ml de ácido sulfúrico concentrado y vaciarlo muy lentamente al matraz de aforación que contiene los reactivos mencionados. NOTA: hacerlo muy lentamente, pues la reacción es exotérmica y el dicromato puede quemarse con el ácido si éste se agrega muy rápido.
8. Cuando ya se haya agregado el ácido, se espera a que se enfríe el contenido del matraz a temperatura ambiente y aforar a 1 litro con agua destilada.
9. Se deja todo un día en agitación para que se homogenice bien la solución, cubriendo muy bien el matraz con una franela que evite el paso de la luz.
10. Cuando haya transcurrido este tiempo, se procede a vaciar la solución en un frasco ámbar de 1 o 2 litros con mucho cuidado.

*Solución De Ácido Sulfúrico Puro Con Sulfato De Plata:*

1. Pesar 15 g de sulfato de plata (para una porción 5.5 g.  $\text{Ag}_2\text{SO}_4/\text{Kg}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Para calcular la cantidad exacta considere el peso específico y la pureza del ácido sulfúrico que utilice).
2. Agregar el sulfato de plata en un matraz de aforación de 1.0 litro.
3. Aforar a 1 litro con ácido sulfúrico concentrado.
4. El sulfato de plata requiere un tiempo aproximado de 2 días para su completa disolución, por esto, se deja en agitación para que se homogenice la solución, cubriendo muy bien el matraz con una franela que evite el paso de la luz, esto para evitar su descomposición.
5. Ya transcurrido este tiempo, vaciar el reactivo en un frasco ámbar de 1 o 2 litros.

*Disolución Patrón De Biftalato De Potasio: (Curva De Calibración)*

1. Está estandarizado que una solución que contiene 0.425 de biftalato aforado a un litro con agua destilada, tiene una DQO teórica de 0.500 mg O<sub>2</sub>/ml. De acuerdo a esto, se realizan los cálculos para hacer las diferentes soluciones de biftalato para la curva de calibración.
2. Se pesan de 5 gramos de biftalato de potasio y se dejan secar a 120°C por 2 horas. Se procede a pesar lo correspondiente al cuadro siguiente:

Cuadro 5.1. Concentraciones de Biftalato de Potasio

<b>Concentración mg O<sub>2</sub>/l</b>	<b>Gramos de biftalato de potasio para 100 ml (en agua destilada)</b>
20	0.0017
40	0.0034
60	0.0051
100	0.0085
200	0.017
300	0.0255
400	0.034
500	0.0425
600	0.051
700	0.0595
800	0.068
900	0.0765
1,000	0.085
1,500	0.1275
2,000	0.17



<b>Concentración mg O<sub>2</sub>/l</b>	<b>Gramos de biftalato de potasio para 100 ml (en agua destilada)</b>
3,000	0.255
4,000	0.34
5,000	0.425
7,500	0.6375
10,000	0.85

*Procedimiento Para La Curva De Calibración:*

Encender el termoreactor y dejar calentar por 30 minutos, para alcanzar la temperatura adecuada (150°C).

Se procede a preparar los tubos HACH que se emplearán para la curva:

1. En un tubo HACH con tapón de rosca añadir 3.5 ml de la solución de ác. Sulfúrico-Plata.
2. Adicionar en el tubo de HACH 1.5 ml. de la solución de Dicromato de Potasio.
3. Agregar 2.5 ml de la solución de biftalato a evaluar, y cerrar muy bien el tubo con el tapón rosca. El blanco de referencia se hace con 2.5 ml de agua destilada.
4. Agitar por inversión lentamente.
5. Colocar los tubos en el termoreactor por un tiempo de 2 horas.
6. Sacar los tubos y dejar enfriar a temperatura ambiente.

5.3. Reactor De Flujo Continuo

El segundo estudio consistió en monitorear la fase de arranque de un reactor anaerobio de flujo continuo a un TRH de 1 día. El reactor se mantuvo en un régimen

de recirculación por un lapso de 12 días. El interior del reactor estaba empacado con espuma de poliuretano en forma de cubo de aproximadamente 1 cm. Todos los experimentos fueron realizados a temperatura ambiente que oscilo entre 16 a 20 °C.

### 5.3.1. Material A Evaluar

Se decidió utilizar el lodo más eficiente con espuma de poliuretano en forma de cubo, de aproximadamente un cm, para la generación de biopelícula.

### 5.3.2. Materiales Y Métodos

Se utilizó un recipiente de 20 litros de capacidad para la construcción del reactor de flujo. El cual fue perforado para la incorporación de tubería para la entrada y salida del agua, además agregar una llave de paso para la incorporación de agua residual como se puede apreciar en la figura 5.1

Figura 5.1. Diseño de Reactor de Flujo Estacionario.



Posteriormente se le incorporo un litro de lodos activados, 40 g de la esponja de poliuretano en cubos y 4 L del agua residual del rastro para la inducción o aclimatación de los lodos figura 5.2.

Figura 5.2. A) Incorporación de la esponja de poliuretano  
B) Incorporación del agua residual y el soporte de esponja



Las medidas para la incorporación de los diferentes componentes del reactor, fueron tomadas en base a los reactores anaeróbicos de la evaluación de lodos de la primera parte de este trabajo en escala de 20:1 como se puede apreciar en la comparación en el siguiente cuadro.

Cuadro 5.2. Proporción de materiales utilizados para la evaluación de Lodos y Reactor de flujo Continuo

<b>Componente</b>	<b>Evaluación de Lodos</b>	<b>Reactor de flujo continuo</b>
<b>Agua Residual</b>	200 ml	4000 ml
<b>Lodo</b>	50 ml	1000 ml

<b>Soporte de Esponja de Poliuretano</b>	2 gr	40 gr
--	------	-------

La entrada del influente (agua residual del rastro) al reactor fue realizada mediante una bomba peristáltica velocidad de xxx residual. Se utilizó un depósito para la captura de del agua ya tratada.

### 5.3.3. Muestreo

Se le realizaron diez muestreos al agua ya tratada durante los siete días de tratamiento. Estas muestras fueron etiquetadas y guardadas en un refrigerador a una temperatura de 5 °C para su posterior análisis (225 muestras totales).

### 5.3.4. Análisis

Se realizó un análisis siguiendo la metodología mencionada anteriormente en los consorcios microbianos.

## 6. RESULTADOS

Los resultados de ambos sistemas UAAAN+EP y UAAAN mostraron una alta remoción de la DQO (88 y 84.5% respectivamente) permaneciendo estos sistemas a un pH constante debido a la alcalinidad que amortiguaba la acidificación producto del metabolismo anaerobio de las grasas (ácidos grasos volátiles). En la figura 6.1 se aprecia que la DQO fue disminuyendo constantemente en los sistemas estacionarios catalizados por el consorcio de la UAAAN, ya que este comportamiento se detectó en los sistemas con soporte y sin soporte. Es importante mencionar que tanto en los sistemas batch como en flujo continuo empacado con espuma de poliuretano no se formó la biopelícula previamente. En el caso de los sistemas PTICM se observó que fueron más lentos y esto en parte se debió a la

disminución del pH (6.3) mientras que en los sistemas UAAAN el pH permaneció cercano al neutro (7.5). Debido al buen comportamiento de los sistemas UAAAN se optó por utilizar éste consorcio para trabajar en la fase del arranque del reactor de flujo continuo. En la figura 2 se muestra la disminución de la DQO a lo largo de 12 días en un reactor de flujo continuo con recirculación. Los resultados con consorcio UAAAN mostraron una gran estabilidad en el pH que es uno de los parámetros limitantes en el tratamiento de aguas residuales ricas en grasas. Es importante mencionar que en muchos trabajos se mantiene constante la temperatura en un rango de 25 a 35°C para obtener mejores resultados, pero esta investigación se realizó a temperatura ambiente y se obtuvieron buenos resultados. Nacheva y col. (2011), trabajaron con un reactor RAFALL para el tratamiento de agua residual de un rastro a temperatura ambiente 20.9-25.2°C, el tratamiento se realizó previa separación de sólidos del agua residual y consiguieron una remoción del 90% de la DQO. La remoción de los STS fue del 70% en régimen batch UAAAN y 55% en los reactores con PTICM, el reactor de flujo continuo logró remover un 62% en los 12 días de recirculación.

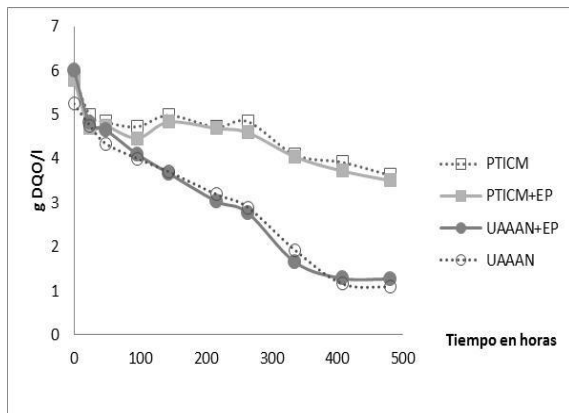


Figura 6.1. Comportamiento de la DQO contenida en el agua residual del rastro en sistemas estacionarios.

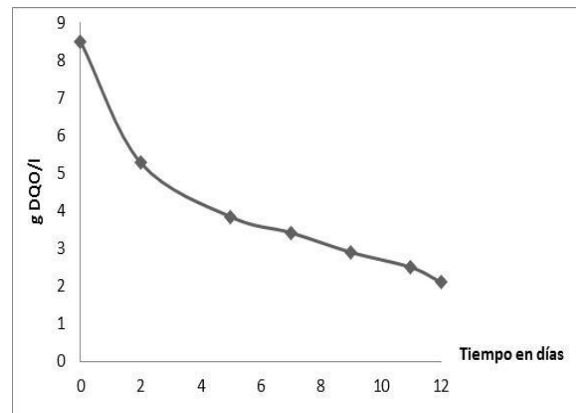


Figura 6.2 Comportamiento de la DQO contenida en el agua residual del rastro en el sistema de flujo continuo.

## 7. CONCLUSIONES

La digestión anaerobia es sin duda una de los mejores métodos para tratar el agua residual generada en los rastros, la cual es de naturaleza muy compleja. Mediante la digestión anaerobia se consigue una alta eliminación de sólidos y materia orgánica.

Se pueden obtener buenos resultados a temperaturas menores a los 20°C, lo cual hace que la digestión anaerobia sea una excelente opción respecto al ahorro de energía.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

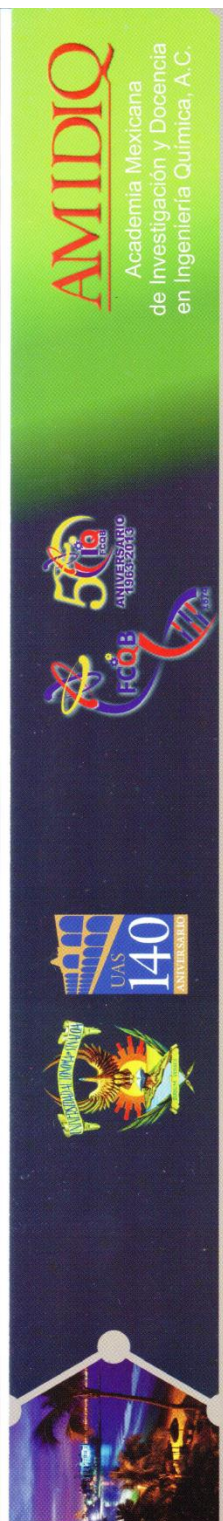
1. McArty, P.L. 1964. Anaerobic waste treatment fundamentals, Part four. Process design, Public Works, 95-99.
2. Caldera, Y., Oñate, H., Rodríguez, Y., Gutiérrez, E. 2011. Eficiencia del sulfato de aluminio durante el tratamiento de aguas residuales de una industria avícola. Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Núcleo LUZ-COL., Facultad de Ingeniería y Tecnología, Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Colombia, Centro de Investigación del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela Revista arbitrada venezolana del Núcleo LUZ-Costa Oriental del Lago Vol. 6 N° 2, , pp. 244 – 256
3. Jarauta L., 2005. Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos: estudio de las necesidades para la implantación en Perú. Proyecto de fin de carrera, ETSEIB-UPC

4. Lawrence k. Wang yung-tse hung, Howard H. Lo, Constantine Yapijakis . 2006. Tratamiento de los residuos de la industria del procesado de alimentos. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza España pag 85-126
5. López-López, A. De la Barrera, J., Vallejo-Rodríguez R., Barahona-Argueta, C. 2008. Estudio comparativo entre un proceso fisicoquímico y uno biológico para tratar agua residual de rastro. Interciencia. VOL. 33 N° 7
6. Manual de tratamiento de aguas negras, departamento de sanidad del estado de nueva york, editorial limosa S.A. de C.V. Mexico 2011
7. Masse, D.I & Masse, L. 2000. Treatment of slaughterhouse wastewater in anaerobic sequencing batch reactors. Canadian Agricultural Engineering, 42(3), 131-137.
8. May Esquivel, F. 2003. TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN UN SISTEMA DE HUMEDAL ARTIFICIAL. Tesis de Licenciatura para obtener el Título de ingeniero en Agrobiología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
9. Miller, Tyller. 1994. Ecología y medio ambiente, grupo editorial Iberoamérica, pag, 666-668
10. Monge, S., Carlos-Rodrigo, J. Sanz, J. 2010. Tratamientos anaerobios Biothane para aguas residuales Industriales. Veolia Water Solutions & Technologies Ibérica (VWSI)
11. Morales Avelino F.D., R. Méndez Novelo and M. Tamayo Dávila. 2009. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE RASTRO MEDIANTE SEMILLAS DE *Moringa oleifera* LAM COMO COAGULANTE, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, México. Carretera Mérida-Xmatkuil Km. 15.5 CP. 97100 Mérida, Yucatán, México, , Tropical and Subtropical Agroecosystem 10 (2009): 523 – 529
12. Nacheva, P.M, Pantoja, M.R, Serrano, EA. 2011. Treatment of slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic sludge blanket reactor. Water Sci. Technol. 63 (5):877-84.
13. Rajakumar, R., Meenambal, T., Rajesh Banu J., Yeom, I. T. 2011. Treatment of poultry slaughterhouse wastewater in upflow anaerobic filter under low upflow velocity. Int. J. Environ. Sci. Technol., 8 (1), 149-158, ISSN: 1735-1472.



14. Ramalho Tratamiento de aguas residuales edicon revisada editorial reverté, sa 1996 r. s.
15. Rodríguez, J., Sosa, G. J., Garza, Y. 2002. Sociedad Química de México, 49 (2): 185-188.
16. Romero-Rojas, J.A. 1999 . Tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización. Escuela colombiana de ingeniería, editorial alfaomega grupo editor S.A. de C.V.
17. SAGARPA, Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera: [http://www.campomexicano.gob.mx/portal\\_siap/Integracion/EstadisticaBasica/Pecuario/Rastros/resras.pdf](http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaBasica/Pecuario/Rastros/resras.pdf)
18. Seco-Torrecillas, A. 2008. Tratamiento biológico de aguas residuales, jose Ferrer Polo. Editorial Alfaomega grupo editor, Mexico
19. Signorini, M., Civit, S., Bonilla, M., Cervantes, M. E., Calderón, M., Pérez, A., Espejel, M. P., Almanza, C. 2006. Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales. Cofepris. México, D.F.
20. Sindhu, R. and Meera, V. 2012. Treatment of slaughterhouse effluent using upflow anaerobic packed bed reactor. International Congress on Informatics, Environment, Energy and Applications-IEEA 2012. IPCSIT vol.38, IACSIT Press, Singapore.
21. Sunder G.C. and Satyanarayan S. 2013. Efficient treatment of slaughter house wastewater by anaerobic hybrid reactor packed with special floating media. International Journal of Chemical and Physical Sciences IJCPS Vol. 2, Special Issue - March 2013 ISSN: 2319-6602.





La Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química, A.C.

*“La Ingeniería Química en la Biotecnología y la Energía”*

Otorga el presente

## RECONOCIMIENTO

a:

GILBERTO GALLARDO CASTILLO, JOSE ANTONIO RODRIGUEZ DE LA GARZA,  
IVETH DALILA ANTONIO CARMONA, SILVIA YUDITH MARTINEZ AMADOR

Por la presentación del trabajo:

**“EVALUACIÓN DE SISTEMAS ESTACIONARIOS Y DE FLUJO CONTINUO PARA  
EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UN RASTRO”**

ID: 787

**XXXIV Encuentro Nacional y III Congreso Internacional de la AMIDIQ**  
llevado a cabo del 7 al 10 de mayo de 2013 en el Puerto de Mazatlán, Sinaloa, México.

  
Dr. Rubén González Nuñez  
PRESIDENTE DE AMIDIQ

  
Dr. Jesús Alberto Ochoa Tapia  
PRESIDENTE DEL COMITÉ TÉCNICO

  
Dr. Jorge Milán Carrillo  
PRESIDENTE DEL COMITÉ ORGANIZADOR



