

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



“Tratamiento de agua residual de rastro en un sistema de biopelícula anaerobia utilizando soportes de poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono”

Por:

ALISON JANET ANDRADE BRAVO

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

“Tratamiento de agua residual de rastro en un sistema de biopelícula anaerobia
utilizando soportes de poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono”

Por:

ALISON JANET ANDRADE BRAVO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría



Dra. Silvia Yudith Martínez Amador
Asesor principal interno



Dr. Carlos Andrés Covarrubias Gordillo
Asesor principal externo



M.C. Alejandra Rosario Escobar Sánchez
Coasesor



M.C. Laura María González Méndez
Coasesor

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

"Tratamiento de agua residual de rastro en un sistema de biopelícula anaerobia
utilizando soportes de poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono"

Por:

ALISON JANET ANDRADE BRAVO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobado por el Jurado Examinador.



M.C. Alejandra Rosario Escobar Sánchez

Presidente



Dra. Silvia Yudith Martínez Amador

Vocal



Dr. Carlos Andrés Covarrubias Gordillo

Vocal



M.C. Laura María González Méndez

Vocal Suplente



M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre 2021

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de disfrutar tanto esta vida que me ha llenado de bendiciones y permitirme a ver concluido una de mis metas dándome la capacidad y habilidad de adquirir los conocimientos necesarios para llegar a esta.

A mi Alma Terra Mater, gracias por abrirme sus puertas y permitirme ser parte de esta maravillosa institución, por brindar todas las atenciones y servicios durante mi estancia.

A mis profesores, por su aportación, apoyo y el deseo de transmitir sus conocimientos a mí. También agradezco principalmente a aquellos profesores que me escucharon y ayudaron tanto en los momentos difíciles de mi vida, mil gracias.

A la Dra. Silvia Yudith Martínez Amador, por el apoyo, orientación y darme la oportunidad de adquirir más conocimientos durante mi tesis.

Al Dr. Pedro Pérez Rodríguez, por su gran comprensión, por ser un excelente guía, por compartirme su sabiduría y sobre todo su tiempo y paciencia durante todo el proyecto. Al igual por su apoyo desinteresado.

Al Dr. Carlos Andrés Covarrubias Gordillo por la confianza que puso en mí para el desarrollo de este experimento.

A Miguel Ángel Mendoza Lugo, por permitirme aprender más de la vida a su lado y siempre brindarme tanto afecto y cariño. Tú y Louane se volvieron una parte importante en mi vida. Te agradezco tanto por tu apoyo incondicional siempre, Los quiero mucho.

A Erika Lerma Subias, te agradezco por brindarme tu gran amistad, tú me ayudaste a encontrar el lado dulce de la vida y a su vez gracias por acompañarme en momentos tan felices y difíciles, he aprendido contigo que siempre hay que sonreír a pesar de todo lo malo que tiene la vida. Te amo amiga.

A Cirley Dolores Gómez Aragón te quiero amiga gracias por brindarme tu amistad incondicional y darme un lugar en tu familia las veces que más necesitaba una, siempre tendrás un espacio en mi corazón.

DEDICATORIA

A mis padres, les dedico esto con todo mi amor y cariño a mi madre Sra. Enriqueta Andrade Bravo y a mi padre Sr. Rutilo Velázquez Bustos por su amor y sacrificios que hicieron, por dármele una carrera para poder formar mi futuro, creer en mi capacidad, y la motivación que me dieron cada día, agradezco tanto sus palabras llenas de aliento en las veces que sentía que ya no podía con esto, sin ustedes nunca lo hubiera logrado. Gracias mamita por llevarme siempre en tus oraciones. Los amo mamá y papá.

A mis abuelos, la Sra. María Bravo Mozontitla y Sr. Bonfilio Andrade Salazar esto también se lo dedico a ustedes abuelos, gracias por formarme y enseñarme el camino de la vida. Por sus grandes consejos llenos de sabiduría, por el amor que me han dado y por su apoyo incondicional. Los amo mucho mis viejos.

A mis hermanos, les dedico esto hermanos de mi corazón Jessica R. Andrade Bravo, Brayan R. Velázquez Andrade, Erika Velázquez Andrade, Alexis A. Velázquez Andrade por ser lo mejor que me puede pasar en la vida. Gracias por tanto apoyo y orientación en este camino, en especial a mi hermanita pequeña porque ha sido hermana y amiga a la vez y que gracias a sus esfuerzos también, pude terminar una meta más. Los amo hermanitos y aunque la distancia nos separe nosotros siempre veremos la forma de ayudarnos incondicionalmente.

A mis tías, Teresa Andrade Bravo, Azminda Velázquez Bustos, gracias por la confianza puesta en mi persona y por su gran apoyo desde que tengo memoria, este nuevo logro es en gran parte por ustedes. En especial a mi Mariana Andrade Bravo que fue siempre una amiga más a quien recurrir.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	v
RESUMEN.....	x
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO.....	3
HIPÓTESIS.....	4
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. ¿Qué es el agua?.....	5
1.2. El agua en residual en México.....	5
1.3. Contaminación de agua	6
1.4. Tipos de aguas residuales.....	7
1.4.1. Industria.....	8
1.4.2. Agua residual de rastro.....	8
1.5. Tratamiento de aguas residuales.....	9
1.5.1. Tratamiento físico.....	10
1.5.2. Tratamiento químico.....	12
1.5.3 Tratamiento biológico.....	12
1.6. Biopelícula.....	16
1.6.1. Etapas de la formación de las biopelículas	17
1.6.2. Ventajas y Desventajas	20
1.7. Soportes	21
1.7.1. Naturales.....	22
1.7.2. Sintéticos.....	22

CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1. Localización geográfica del sitio.....	25
2.2. Materiales, Reactivos y Equipo.....	25
2.3. Metodología.....	26
2.3.1. Inmovilización de microorganismos en soportes.....	26
2.3.2. Caracterización	27
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	29
CONCLUSIÓN	35
BIBLIOGRAFÍA	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Contaminantes removidos del agua residual de rastro	12
Tabla 2.1 Tratamientos utilizados en el experimento	28
Tabla 3.1 Eficacia de remoción de la demanda química de oxígeno.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema funcionamiento proceso aerobio.	13
Figura 1.2 Reactores biológicos anóxico-anaerobio y aerobio para la eliminación de nutrientes de aguas residuales	14
Figura 1.3 Etapas del proceso de digestión anaerobia.....	16
Figura 1.4 Proceso de la biosíntesis de biopelícula microbiana.....	19
Figura 1.5 Conchas marinas (<i>Arca zebra</i>) en el FB con película microbiana adherida.....	22
Figura 3.1 Comportamiento de la materia orgánica (DQO) en reactores batch empacados con diferentes tratamientos de soportes de poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono.	29
Figura 3.2 Microscopía electrónica de barrido de asiento blanco N/A y figura blanco N/A.....	30
Figura 3.3 Microscopía electrónica de barrido de asiento CNF 0.5% y figura CNF 0.5%.	31
Figura 3.4 Microscopía electrónica de barrido de asiento CNF 1% y figura CNF 1%.	31
Figura 3.5 Microscopía electrónica de barrido de asiento grafito 0.5 % y figura grafito 0.5%.	32
Figura 3.6 Microscopía electrónica de barrido de asiento grafito 1% y figura grafito 1%.	33
Figura 3.7 Agua residual sin tratamiento y agua residual tratada con soporte figura grafito 0.5%.	33

RESUMEN

Dela presente investigación realizada en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Se tiene conocimiento que los sistemas de biopelícula son eficientes en la remoción de una gran variedad de contaminantes presentes en las aguas residuales. Una de las características más importantes de estos sistemas son los soportes a los cuales los microorganismos se adhieren. Existe una gran diversidad de soportes tanto naturales como sintéticos, en el caso de sintéticos la espuma de poliuretano es una buena alternativa por su porosidad, rugosidad y bajo costo. Actualmente, en la búsqueda de nuevas opciones como soportes, la espuma de poliuretano ha sido combinada con otras partículas. En esta investigación, se evaluó la eficiencia de soportes de poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono sintéticos, con el objetivo de inmovilizar microorganismos y formar biopelícula microbianas en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales de rastro. Este experimento se llevó a cabo en reactores batch a temperatura ambiente. De los soportes que se evaluaron se ha logrado observar resultados favorables donde el tratamiento CNF 1% (T6) obtuvo un 43.74% de remoción de materia orgánica. Esto puede ser una base para el mejoramiento de los sistemas de depuración de agua, ya que en el mundo, este recurso hídrico, es de los que cuentan con mayor sobreexplotación y contaminación, por lo que un sistema de tratamiento de aguas residual, es muy beneficioso y ayudara a reducir las problemáticas en esta.

Palabras clave: biopelícula, poliuretano, nanofibras de carbono, grafito, tratamiento de aguas residuales.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la preocupación de la humanidad es de como poder solucionar las grandes problemáticas sobre los diferentes tipos de contaminación que hay, entre ellas y con alto orden es el problema de escasez de agua que se está presentando cada vez más frecuentemente, siendo que todo señala a que en un futuro no muy lejano se acabará este recurso. Lo anterior ha llevado a la comunidad científica y tecnológica a buscar distintas soluciones y alternativas para extender el plazo, realizando grandes investigaciones sobre este tema de como depurar el agua (Rodríguez-Hernández, 2021).

Existen diferentes tratamientos para las aguas residuales, dentro de los cuales están los físico-químicos (como la oxidación, precipitación, intercambio iónico, cloración, etc.), y los biológicos, que se dividen en dos grandes grupos, los de tipo aerobio y los de tipo anaerobio. En el tratamiento biológico (aerobio o anaerobio) hay dos tipos dependiendo de si la biomasa está libre o está adherida o fija. Los sistemas de biomasa fija tienen diferentes ventajas entre las cuales esta una mayor remoción de contaminantes, una menor producción de biomasa (lodo), una mayor tolerancia a los cambios de temperatura o pH o bien a condiciones adversas de temperatura y/o pH. La biomasa se puede fijar a un soporte (medio físico) formando una biopelícula microbiana (CONAGUA, 2018; Couoh, 1996).

Los soportes para la formación de biopelícula se clasifican en naturales y sintéticos. Dentro de los sintéticos están los hechos con polietileno, porcelana, poliuretano, entre otros y mezclas de polímeros. La espuma de poliuretano ha sido ampliamente utilizada como soporte en el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales municipales, industriales y del rastro. Se ha demostrado que mediante un buen control o disposición de la actividad de la biomasa y un funcionamiento adecuado, se puede lograr un proceso eficaz en el tratamiento de aguas residuales. (Lazarova et al., 1994; Mijaylova et al, 2010).

Los rastros o mataderos son una fuente sustancial de agua residual de acuerdo con la CONAGUA (2018) se generan 22,734, 560 litros de este tipo de agua por día. El agua residual del rastro está compuesta principalmente por heces, orina, sangre, pelusa, residuos de carne, grasas, contenido ruminal, intestinos y desechos. En general su alto contenido de materia orgánica expresada como DQO (demanda química de oxígeno),

sólidos suspendidos, grasas, nitrógeno y fósforo, su color va de rojo oscuro a café, además de presentar una alta concentración de microorganismos patógenos. Por lo anterior las biopelículas microbianas son una buena opción para el tratamiento de esta agua residual del rastro (López-López, 2007, 2010; Manjunath 2000; Veall, 1997).

Bajo este contexto la presente investigación tuvo como propósito evaluar la remoción de la materia orgánica del agua residual de un rastro mediante un sistema de biopelícula anaerobia utilizando soportes de poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono.

OBJETIVO

Evaluar el tratamiento de agua residual de rastro en un sistema de biopelícula anaerobia utilizando soportes de poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.-Inmovilizar microorganismos en los soportes de poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono para la formación de biopelícula bacterianas en sistema anaerobio
- 2.-Evaluar los soportes de poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono en el tratamiento de aguas residuales de rastro para la remoción de materia orgánica en un sistema anaerobio.

HIPÓTESIS

El uso de los compuestos poliméricos poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono como soportes para la formación de biopelículas en reactores batch, promoverá la remoción de material orgánica en agua residual del rastro, debido a las propiedades fisicoquímicas del material, entre ellas, el tamaño y el estilo de porosidad, las cuales contribuyen directamente a la adhesión de microorganismos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ¿Qué es el agua?

En la actualidad el agua potable es una preocupación a nivel mundial, siendo que más de 800 millones de personas en el mundo no tienen acceso al agua potable más de 2500 millones no tiene un saneamiento decente (ONU, 2018). Lo anterior, se debe en gran medida por el incremento de la población, la contaminación y el consumo de esta (siendo cada día mayor). Además, es de suma importancia para la supervivencia de las plantas, al igual que para los animales.

La tierra aunque cuenta en su mayoría con una superficie de agua, se debe saber que el 97.2 de esta son de océano y mares de agua salada, y el 2.5% es agua dulce y solo el 1 % de este está disponible para el consumo de humanidad. (Gómez-Duarte, 2018). Este bajo porcentaje ha generado preocupaciones para el futuro de la humanidad, y aunado a esto, las más actualizadas investigaciones de organizaciones y especialistas han revelado que el mundo tendrá una crisis de escases de agua en varios países, esto puede ocurrir antes del 2030. No obstante, los mismos estudios demuestran que puede aplazarse si el mundo da un enfoque y se propone restituir el agua que se ha perdido debido a las contaminaciones. (OMS y UNICEF, 2021).

El agua es y será un fundamento esencial para tener una vida digna, esta es de suma importancia para el desarrollo de muchas actividades, pero se ha abusado de sus bondades y muchas veces es explotada y contaminada con varios tipos de elementos. A esta última la conocemos como agua residual.

1.2. El agua en residual en México

El mal tratamiento de las aguas residuales en México genera una grave contaminación del agua, degradación de los ecosistemas y problemas de salud pública, además de limitar el pleno disfrute de los derechos humanos al agua en algunas zonas de comunidades de todo el país (Núñez, 2017).

En cuanto al desarrollo de la infraestructura de tratamiento en México, el número de plantas de tratamiento de aguas residuales industriales entre 2010-2015 muestra un aumento en general (CONAGUA, 2018).

Para el año 2017, las 2526 plantas en operación a lo largo del país trataron 135.6 m³/s, es decir el 63% de los 215.2 m³/s recolectados a través de los sistemas de alcantarillado. Entre los principales procesos de tratamiento de aguas residuales en primer lugar son lodos activos con un 52.9%, dual 17.19%, primario avanzado 3.31%, filtros biológicos con 3.88%, lagunas aireadas 5.22%, lagunas de estabilización 10.40%, entre (otros) (CONAGUA, 2018).

En México, las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales (abastecimiento público urbano y rural) y no municipales (otros usos como industria autoabastecida). Según cifras oficiales, se trata el 52.7% de las aguas municipales que se generan, y el 32% de las aguas no municipales (AGUA, 2018).

1.3. Contaminación de agua

El agua es el recurso básico para la vida de todo ser vivo en el planeta. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que el agua está contaminada cuando su composición o estado natural ha sido alterado de tal manera que no es apta para el uso previsto. El agua contaminada tiene un aspecto físico (temperatura, color, densidad, suspensión, radiactividad, etc.), químico (sustancias disueltas, composición, etc.), y biológico (hongos, bacterias y virus) que pueden provocar algas, la proliferación de otras plantas acuáticas y enfermedades.

La contaminación del agua puede ser de origen natural pero el principal causante de esta es el ser humano ya que el desarrollo y la industrialización aumentan la demanda de agua y genera grandes cantidades de desechos, la mayoría de los cuales terminan en los canales de agua (Rodríguez, 2010).

Entre los contaminantes más frecuentes en el agua se encuentran los nutrientes, microorganismos, los metales pesados, los productos químicos y orgánicos, el aceite y los

sedimentos, el color, etc. Aunque las fuentes naturales de contaminación son comunes y no producen altas concentraciones de contaminante (UNESCO, 2009).

Algunas de las consecuencias que el agua contaminada provoca son:

- La contaminación de la cadena alimentaria: La pesca en aguas contaminadas, así como el uso de aguas residuales para la ganadería y la agricultura, pueden transferir toxinas a nuestros alimentos que son dañinas para nuestra salud.
- La destrucción de la biodiversidad: La contaminación del agua empobrece los ecosistemas acuáticos. También permite sin control la eutrofización (Iberdrola, 2021).

Se puede decir que la contaminación por aguas residuales de un rastro municipal es altamente contaminante debido a su elevada carga orgánica, con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 5000-10000mg/l, por lo que provocan un alto impacto ambiental en cuerpos receptores de agua y en suelo (Massé y Masse, 2000).

1.4. Tipos de aguas residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden tratar todo tipo de agua contaminada. Sin embargo, para hacer todo el proceso, se debe conocer con anterioridad cuáles son los principales agentes contaminantes que contiene el agua para analizar y entender el origen de las aguas residuales. Primero daremos una definición de estas, y que actualmente existen diferentes tipos y, aunque la mayoría son de procedencia humana, los contaminantes son los que determinan el proceso que se les debe dar. Para esto son clasificadas en dos tipos, como se menciona a continuación.

1.4.1. Industria

Dentro de este tipo de aguas residuales se encuentran todas aquellas que han sido vertidas desde un lugar con finalidad comercial o industrial. Hace referencia a aquellas aguas que acumulan vertidos y líquidos procedentes de las fábricas y centros de producción. También las aguas industriales las componen las aguas residuales que tienen su origen en la agricultura y la ganadería. Estas incluyen contaminantes de origen orgánico y microorganismos (HIDROTEC, 2021).

1.4.2. Agua residual de rastro

En México existen oficialmente 864 rastros registrados, se debe tener en cuenta que estos consumen una gran cantidad de agua, solo en el país el 37 % de las aguas residuales de rastros pasan previamente por algún tipo de tratamiento antes de ser vertida nuevamente a algún canal, río, etc., el resto son vertidas directamente a estos. Las principales razones para no realizar el tratamiento del agua son los altos costos de construcción, operación y mantenimiento, y otros factores (Balladares, 1998; Gutiérrez et al., 2004; SENASICA, 2020).

Las aguas residuales de rastro generalmente contienen una gran cantidad de sangre, grasa, y excremento, pero también partes de contenido ruminal o estomacal, huesos y restos de piel. Un sistema anaerobio es una solución eficaz para tratar las aguas residuales procedentes de un rastro, ya que estas aguas contienen una gran cantidad de materia orgánica, lo cual es beneficioso para el crecimiento de microorganismos (Signorini *et al.* 2006).

Hay que tener en cuenta que el consumo diario de agua pura en los rastros es de 22, 734, 560 litros / día, y algunos estudios indican que del 85% al 95% del agua utilizada en los rastros es desechada, debido a la alta demanda del uso de esta (CONAGUA, 2018; Borges et al, 2012).

Una de las principales características de estas aguas, son sus altas concentraciones de materia orgánica, proteínas, aceite, pH alcalino, sólidos en suspensión, y otros productos.

Pero se debe saber que la carga de materia orgánica es mayor en mataderos de vacas que de cerdos, aunque generalmente, en los rastros municipales se sacrifican ambos tipos de animales (Tritt y Schuchardt, 1992).

1.5. Tratamiento de aguas residuales

Durante siglos los humanos han sido precavidos en cuestiones del agua en su distribución y almacenamiento. Esto, porque el agua es un recurso esencial y se han visto en la necesidad de recurrir a alternativas para el aprovechamiento de esta.

Los nómadas empezaron a realizar un estilo de vida sedentaria en sitios que no había acceso fácil a algún cuerpo de agua, por este motivo ellos comenzaron a construir pozos para extraer el agua del subsuelo, al paso del tiempo, no fue suficiente y se dieron a la necesidad de realizar otras alternativas.

Hace unos 7000 años en Jericó (Israel), se almacenaba agua en él los pozos y se utilizan como recurso hídrico, además, se comenzaron a desarrollar sistemas de transmisión y distribución a través de vías. Este medio de transporte era realizado mediante simples canales, en arena o rocas y luego se utilizarán tubos huecos (BV *et al*, 2016).

Para el año 1806 en París comenzó a operar la planta de tratamiento de agua más grande del mundo. El agua se asienta durante 12 horas antes de filtrar. El filtro constaba de arena y carbón, un principio básico que todavía forma parte de la mayoría de los procesos de filtración más modernos.

Por otra parte, Wolfe (1999) menciona que en la antigüedad los griegos (300 A.C. a 500 D.C.) utilizaban letrinas públicas para drenar el agua y almacenar en colectores para después ser utilizada en el riego y fertilización de cultivos agrícolas, más adelante este tipo de sistema fue utilizado por los romanos. Estos mismos, construyeron la cloaca máxima a finales del VI A.C. la cual ayudaba a eliminar los desechos y mantenía los desagües sin obstrucciones. La mejor agua se destina al consumo y la segunda calidad se utiliza en los baños, el sistema fue muy eficaz y estuvo vigente hasta la caída del Imperio Romano.

En el año de 1900 el ingeniero Liernur realizó un sistema de vacío para la recolección y separación para las aguas residuales de aseo (Bemmelen, 1886).

Para tener un tratamiento se debe saber que las aguas residuales son aquellas aguas con impurezas procedentes de vertidos de diferentes orígenes: domésticos e industriales, principalmente. De esta forma, tenemos que las aguas residuales pueden contener elementos contaminantes originados en desechos urbanos o industriales.

Las aguas residuales, cuando se descargan sin tratamiento previo, degradarán los órganos receptores y pueden afectar la salud pública. Para evitar la contaminación del agua, existe una serie de procesos que pueden reducir el impacto de las aguas residuales en el medio ambiente.

Los tratamientos primarios son para eliminar sólidos en suspensión de las aguas residuales, los secundarios como filtros verdes, lechos bacterianos, lodos activos entre otros más avanzados y los tratamientos terciarios tales como osmosis inversa, destilación, adsorción, etc. Algunos de estos tipos de tratamientos tienen alto costo porque las operaciones son muy exigentes en consumos de energía (Buitrago *et al.* 2018)

Los tratamientos de las aguas residuales se clasifican en físicos, químicos y biológicos.

1.5.1. Tratamiento físico

En esta etapa de tratamiento, las sustancias en suspensión se retiran del agua para ser tratadas mediante diversos procesos físico-químicos, y estas sustancias pueden ser: sedimentables, flotantes o coloidales. El objetivo de este proceso es eliminar la turbidez, las partículas sólidas y los sobrenadantes. Estos contaminantes primero deben eliminarse para que no haya interferencia con el tratamiento posterior.

Sedimentación: proceso de separación por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Está en función de la densidad del líquido, así como del tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas. A esta operación de sedimentación se le

suele denominar también decantación. La decantación primaria permite eliminar los sólidos en suspensión (60%, aproximadamente) y la materia orgánica (30%, aproximadamente) y protege los procesos de oxidación biológica posteriores de la entrada de lodos inertes de alta densidad. Se pueden utilizar tanques de sedimentación rectangulares, circulares y lamelares (Envitech, 2021).

Flotación: proceso físico que depende de las diferencias de densidad. La flotación permite la separación de una sustancia sólida o líquida con una densidad menor a la densidad del fluido, elevándola a la superficie del líquido, ya que, en este caso, las fuerzas que tiran hacia arriba (rozamiento y empuje del líquido) excede la fuerza de la gravedad. Las diminutas burbujas de aire generadas se unirán a las partículas del agua y subirán a la superficie, donde serán capturadas y eliminadas del sistema (ACUATECNICA, 2018).

Coagulación – Floculación: en presencia de partículas muy pequeñas, se forma una suspensión coloidal que, debido a las interacciones eléctricas entre ellas, tiene una gran estabilidad, con una velocidad de sedimentación lenta. Por ello, para mejorar su remoción, se agregaron reactivos químicos para desestabilizar las suspensiones coloidales (coagulantes) y promover su floculación para obtener partículas fácilmente estables. Los factores de coagulación son generalmente sustancias químicas en solución que proporcionan una carga opuesta a un coloide (Envitech, 2021).

Hutchison y Healy, (1990) describen que la coagulación es el proceso por el cual los componentes en una suspensión estable o la solución se desestabiliza al vencer las fuerzas que mantienen su estabilidad. Mientras que la floculación es el proceso mediante el cual las partículas desestabilizadas se unen para formar partículas o aglomerados grandes y estables.

La filtración: es un proceso en el que se hace pasar agua a través de un medio poroso, con el fin de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable (Envitech, 2021).

1.5.2. Tratamiento químico

Tiene como objetivo complementar los procesos físicos y biológicos para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga de acuíferos, recreación, agua industrial, etc. (Rojas, 2002).

Tabla 1.1 Contaminantes removidos del agua residual de rastro

Sustancias o compuestos comúnmente removidos
Microorganismos patógenos
Huevos parásitos
Quistes de amibas
Bacterias y virus (desinfección)
Sustancias tensoactivas
Sólidos totales y disueltos
Temperatura

1.5.3 Tratamiento biológico

Los procesos en aguas residuales en tratamiento biológicos son los microorganismos activos que deben de concentrarse dentro del sistema y a su vez deben de ser eliminados del efluente tratado antes de que el agua sea retirada del sistema (Morgenroth, 2008).

En los últimos años, la tecnología de tratamiento biológico de aguas residuales ha atraído mucha atención. Este está basado en la actividad de los microorganismos como degradadores de la materia orgánica, son preferibles siempre que sea posible, el tratamiento tiene diversas formas de aplicación, entre las que aparecen: lagunas de estabilización, lagunas aireadas, procesos de lodos activados, biopelícula, pasando por procesos aerobios y anaerobios. Es también factible realizar ciertos tratamientos mediante aplicación de las aguas residuales al suelo, que actúa como un reactor biológico, mediante variadas tecnologías.

Además, proporcionan bajos costos de operación, son fáciles de manejar y tienen relativamente pocos efectos dañinos en el entorno correspondiente. Según la configuración estructural de la biomasa, el proceso de tratamiento biológico de aguas residuales se puede dividir en dos configuraciones básicas: sistema de crecimiento disperso y sistema de crecimiento adjunto.

1.5.3.1. Sistema aeróbico

Un sistema aeróbico es donde el oxígeno es el aceptor de electrones terminales preferido de cualquier célula. Si el oxígeno está presente en el medio, será el aceptor de electrones final, lo que conduce a un alto rendimiento y producción de una gran cantidad de lodos, debido al fuerte crecimiento de bacterias en condiciones aeróbicas.

Lodos activados: durante este proceso, los microorganismos se encuentran en suspensión. La aireación del agua residual en el tanque de aireación suministra oxígeno a los microorganismos aerobios. Debido al proceso de metabolismo se agrupan en flóculos, que constituyen el llamado lodo activado. Luego se separa por sedimentación de aguas residuales tratadas (decantación secundaria). Con la corriente de agua residual salen del tanque de aireación más lodos activados de los que se pueden formar de nuevo en el mismo periodo de tiempo. Para compensar esta pérdida de biomasa, una parte del lodo activado se devuelve al tanque de aireación (lodo de retorno). La parte no recirculada (lodo en exceso) es un residuo del proceso.

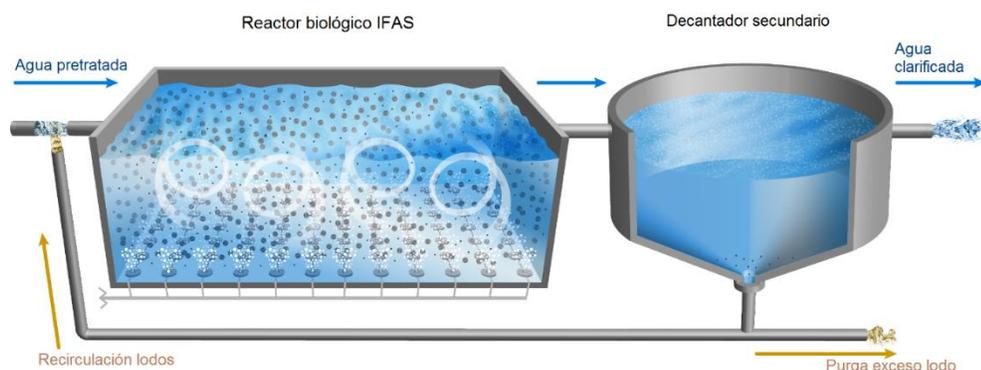


Figura 1.1 Esquema funcionamiento proceso aerobio (GADER, 2019).

1.5.3.2. Sistemas anóxicos

Los sistemas anóxicos, son los sistemas en los que el aceptor final de electrones no es oxígeno ni materia orgánica. En condiciones anóxicas el aceptor de electrones final suele ser nitrato, sulfato, hidrógeno, etc. Cuando el aceptor de electrones final es el nitrato, como resultado del proceso de metabolismo, el nitrógeno en la molécula de nitrato se convierte en nitrógeno gaseoso. Por tanto, esta conversión permite la eliminación del nitrógeno biológico de las aguas residuales (desnitrificación).

La desnitrificación ocurre cuando el nitrato se convierte en un producto gaseoso que se elimina, lo que ocurre en condiciones anóxicas, donde el nitrato se reduce previamente a nitrito y luego a nitrógeno gaseoso, por la acción de bacterias heterótrofas facultativa. Estas bacterias utilizan el carbono de la materia orgánica para la síntesis celular y como fuente de energía, y en ausencia de oxígeno utilizan el nitrato como aceptor de electrones.

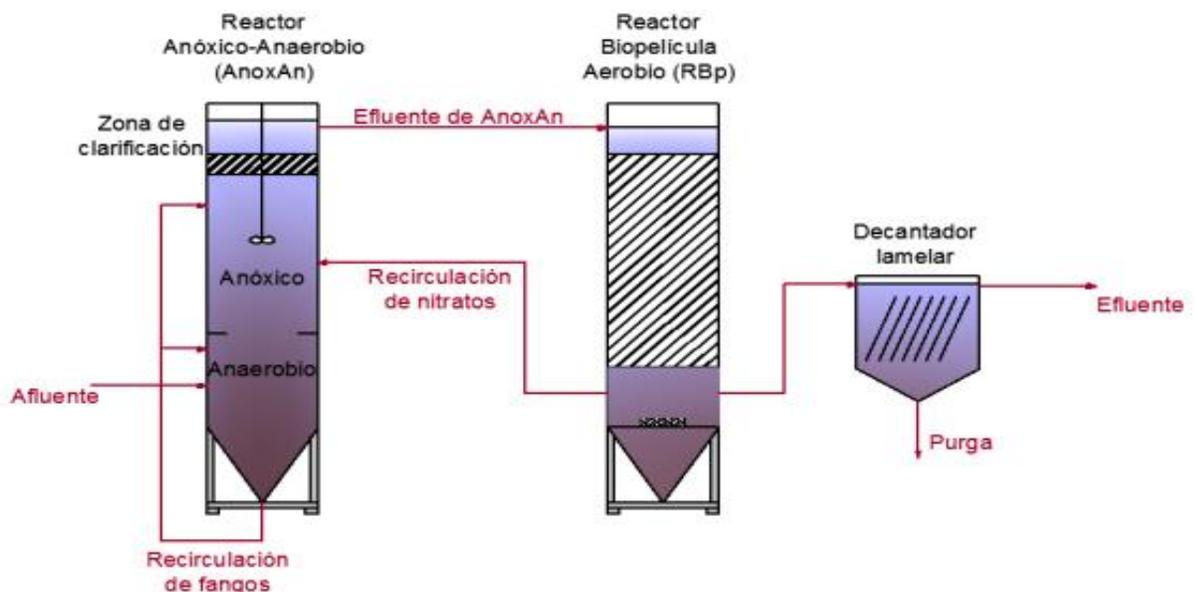


Figura 1.2 Reactores biológicos anóxico-anaerobio y aerobio para la eliminación de nutrientes de aguas residuales (Ruiz, 2013).

1.5.3.3. Sistema anaeróbico

La digestión anaeróbica es un proceso que ocurre en el entorno natural como pantanos, en humedales de cultivo de arroz, en sedimentos lacustres y en el mar, en áreas de tierra que carecen de aire, en aguas termales de azufre y en el sistema digestivo de los rumiantes (Díaz y Baez, 2002).

El sistema anaerobio descarga menos lodo, simultáneamente con el biogás generado, que se puede mejorar. La mayoría de las veces se utiliza para producir energía eléctrica, que se consume por sí sola durante la propia instalación (Díaz y Baez, 2002).

Un reactor anaeróbico es un dispositivo diseñado para procesos microbianos que tienen lugar sin el uso de oxígeno, con algunas ventajas sobre los tanques aeróbicos: menor producción de biomasa, menores requerimientos de nutrientes, produce metano y no requiere oxígeno (Arango y Garcés, 2007).

El proceso anaerobio es realizado por grupos de bacterias que, en ausencia de oxígeno, la materia orgánica se convierte en una mezcla de gases, especialmente el metano y el dióxido de carbono, se denominan biogás. La materia orgánica puede incluir desechos orgánicos sólidos o aguas residuales de industrias con alto contenido de materia orgánica.

El proceso del sistema anaerobio cuenta con cuatro etapas:

- Hidrólisis: es la transformación enzimática de moléculas en compuestos más simples aptos para estar disponibles como fuente de energía y carbono.
- Acidificación: en esta los microorganismos formadores de ácido transforman sustancias hidrolizadas en ácidos orgánicos de cadena corta (por ejemplo, ácido butírico, ácido propiónico y ácido acético). También se forman pequeñas cantidades de hidrógeno y dióxido de carbono.
- Formación de ácido acético: las bacterias metanogénicas pueden producir metano (CH_4) a partir de ácido acético o de hidrógeno y dióxido de carbono. Para ello los ácidos y alcoholes anteriormente formados, previamente se han de transformar en ácido acético.

- Formación de metano: En esta etapa metabólica el CH_4 es producido a partir del ácido acético o de mezclas de H_2 y CO_2 , pudiendo formarse también a partir de otros sustratos tales como ácido fórmico y metanol. El rol de las bacterias metanogénicas se define por el tipo de sustrato disponible (Acosta y Abreu, 2005).

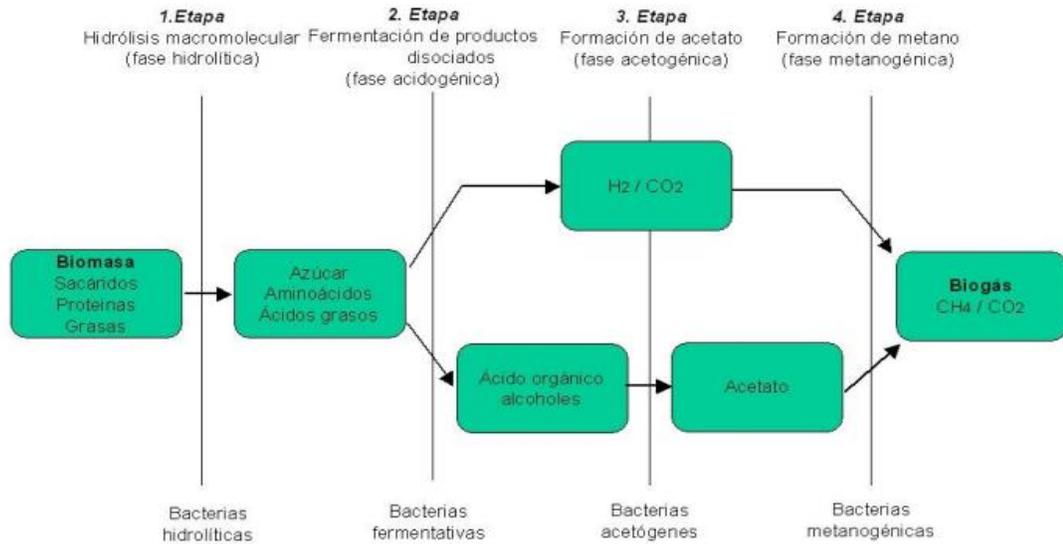


Figura 1.3 Etapas del proceso de digestión anaerobia (Chamy *et al*, 2018).

1.6. Biopelícula

Las biopelículas son comunidades complejas de microorganismos y polímeros extracelulares, adheridos a una superficie, que pueden contener una sola especie o una combinación de diferentes especies (Costerton, 1995; Davey y O’Toole, 2000).

La biopelícula, es donde los microorganismos se encuentran inmovilizados formando una capa densa, la cual crece adherida a una superficie sólida. El exopolímero está compuesto de glicocálix (75%) este es producido por los mismos microorganismos, este forma una matriz adherente que medida va atrapado los microorganismos y estos comienzan a organizarse en colonias con diferentes necesidades metabólicas (Betancourth *et al*, 2004).

Una matriz de biopelícula es un entorno dinámico en el que las células microbianas que lo constituyen parecen lograr el equilibrio y la regulación óptima para utilizar todos los nutrientes disponibles (Sutherland, 2001).

Una de las características de las biopelículas es la heterogeneidad, lo que las hace cuenta con organizaciones únicas que pueden estar conformadas de bacterias, hongos y protozoos. Los principales componentes de la matriz son las células microbianas, los polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos de cadena libre y el agua, junto con los productos celulares excretados. Aunque los exopolisacáridos proporcionan el marco de la matriz, se puede encontrar una amplia gama de actividades enzimáticas dentro de la biopelícula, entre ellas los diferentes microambientes de pH, tensión de oxígeno, concentración iones, carbono y nitrógeno, etc. algunas de las cuales afectarán en gran medida la integridad y estabilidad estructural (Sutherland, 2001).

Cabe mencionar que se han realizado algunos modelos para describir las biopelículas uno de ellos fue el modelo continuo, el cual describía las biopelículas como suaves, planas y homogéneas. Este modelo se utilizó en ingeniería del agua para predecir la tasa de biopelícula y la actividad química basada en la difusión, los efectos físicos del flujo, la presión, y la tasa de desprendimiento de células (Bishop, 1997).

1.6.1. Etapas de la formación de las biopelículas

1.6.1.1. Adhesión bacteriana

Consiste en un encuentro entre una superficie y bacterias planctónicas. Basado en una serie de variables físicoquímicas que conducen e informan las interacciones entre la pared bacteriana y la superficie. Las bacterias deben llegar a la superficie o directamente por acondicionamiento químico, corriente de flujo o el movimiento de las propias bacterias (Costerton *et al.* 1999).

1.6.1.2. Fijación y formación del limo

La adhesión anterior se combina con la producción de bacterias de exopolisacáridos, que seacoplan con los materiales en la superficie por enlaces específicos de receptores que se

encuentran en pilis, fimbrias y flagelos bacterias durante la adhesión. En este caso, la adhesión es inmutable y el microorganismo queda firmemente unido a la superficie inerte. Durante esta fase, las bacterias planctónicas se pueden unir unas a otras (co-agregación) y a diferentes especies que estén ya unidas al material (co-adhesión), formando las micro colonias de sustrato (Lindhe *et al*, 2000).

1.6.1.3. Maduración

Si las condiciones son adecuadas para un crecimiento y aglomeración suficientes, la biopelícula en su naturaleza puede desarrollar una estructura organizada. Este proceso se llama maduración. La biopelícula madura puede constar de una capa única de células en polímero extracelular poroso o microcolonias multicapa empaquetadas sueltas unidas con sustancias poliméricas extracelulares (EPS) e intercaladas con canales de agua.

La composición del exopolímero es poco conocida, pero consta de polisacáridos o glicoproteínas de diversos azúcares, como glucosa, fructosa, manosa, N-acetilglucosamina y otros. Además esta contiene proteínas libres, fosfolípidos y ácidos nucleicos o teicoicos. Para que las bacterias puedan retener nutrientes y protegerse de los diferentes biocidas (Chmielewski y Frank, 2003).

El glicocálix, es el compuesto polimérico que se excreta desde la pared celular bacteriana en una formación radicular. Este está estructurado a partir de grupos polisacáridos neutros o portadores de cargas eléctricas, lo que le ayuda a tener su pegajosidad la capacidad de actuar como un sistema de intercambio iónico para retener y concentrar los nutrientes que encuentra disponibles. Cuando los nutrientes son concentrados, las células primitivas se reproducen con menos limitaciones las células hijas producirán su propio glicocálix y aumentará exponencialmente la superficie de intercambio iónico y el volumen de una próspera colonia bacteriana (Geesey, 1994).

En una biopelícula madura, su volumen está ocupado por la matriz laxamente estructurada (75-95%) cerca de unas escasas bacterias (5-25%), que otorga una cubierta gelatinosa y

deslizante a el área colonizada, con un considerable volumen de agua disponible (Geesey, 1994).

1.6.1.4. Desprendimiento

Finalmente, algunos microorganismos de la matriz de la biopelícula se liberan de la misma para poder colonizar nuevas superficies, cerrando así el proceso de formación de la biopelícula. Este proceso de separación parece ser un proceso continuo durante todo el desarrollo de la biopelícula. Es probable que la separación localizada de organismos comience después de la adhesión inicial y se incremente con el tiempo, lo que está relacionado con el número de microorganismos presentes en la biopelícula. La dispersión de células puede ocurrir por diferentes razones: liberación de células hijas debido a un crecimiento celular activo, separación como resultado de los niveles de nutrientes, liberación por señales del quórum sensing (QS) o por desprendimiento de agregados de la biopelícula por los efectos del flujo del medio ambiente en el que se desarrolla la biopelícula (Goncalves, 2007).

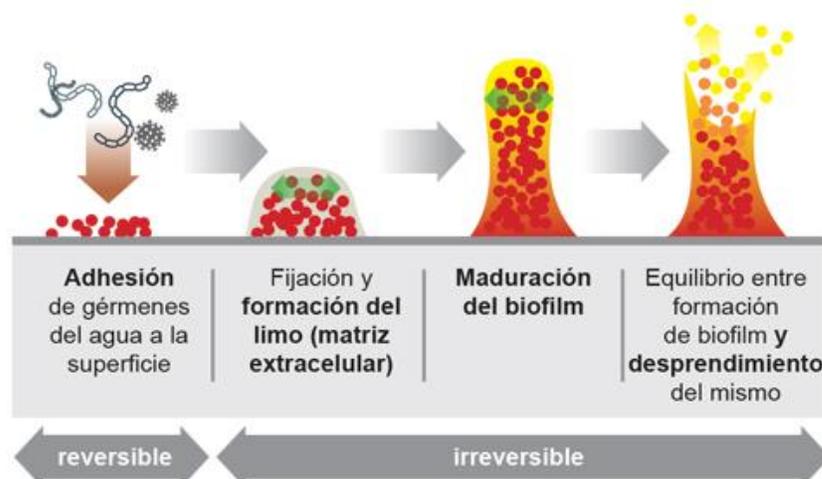


Figura 1.4 Proceso de la biosíntesis de biopelícula microbiana.

Desde el año 2000, los adelantos en proteómica y en genómica permitieron continuar en el análisis de sistemas complicados como las biopelículas. Al 2002, fue posible detectar

800 proteínas que cambian de concentración durante las cinco etapas de desarrollo (Singh, 2002; Whiteley, 2001).

1.6.2. Ventajas y Desventajas

El crecimiento de esta biopelícula puede ser beneficioso o perjudicial según el entorno en el que se formó y sus usos. En biodegradable, barrera biológica protectora, tratamiento biológico, cuanta con ventajas como:

- Eliminación de patógenos y reducción de materia orgánica en aguas de sistemas sépticos asociados a hogares privados.
- Eliminación de contaminantes en plantas de tratamiento de aguas residuales
- Pueden ser adaptados a plantas ya construidas con limitaciones de área
- No hay pérdidas en el material de soporte
- Con un diseño correcto se pueden remover nutrientes de las aguas residuales
- Aumentan la variedad de microorganismos dentro del reactor

Estas estructuras promueven el crecimiento, la reproducción y la estabilidad estructural, difusión de materia y energía almacenadas (Bowen y Coe, 2011).

En cuanto a los efectos negativos, cabe señalar que los microorganismos forman biopelícula que muestran resistencias agentes antimicrobianos como antibióticos, desinfectantes, germicidas o incluso respuesta inmune del huésped, también tienen la capacidad de ayudar otras bacterias para resistir el ataque de inhibidores de la producción de antibióticos como estado de Beta-lactamasas. De esta manera puede causar problemas ambientales y de salud pública (Hall-Stoodley *et al.*2004).

1.6.2.1 Riesgo sanitario

Las bacterias tienen la capacidad de adaptarse y crecer. Ejemplo: la biopelícula de la red de distribución de agua potable proporciona todos los micronutrientes y medios electroquímicos necesarios para su crecimiento y protección de los desinfectantes. Es por eso que las biopelículas pueden convertirse en un problema de salud (Nieto, 2009).

1.6.2.2 Deterioro estético del agua

La formación de biopelículas, algunas veces es la razón de la mala estética por los subproductos metabólicos de los organismos ya que tiene la posibilidad de cambiar el sabor y olor del agua tratada, que perjudica de manera directa al consumidor final (Ramos-Martínez, 2012).

1.7. Soportes

Cada día se dificulta más el identificar los diferentes grupos bacterianos presentes en un sistema biológico de tratamiento de aguas residuales, por eso durante las últimas dos décadas, se ha proporcionado estudios que ayudan a una mejor comprensión de procesos relacionados con el tratamiento de aguas residuales, se ha implementado la utilización de diferentes tipos de medios de soportes para ayudar a los microorganismos en su función y encontrar el adecuado en la eliminación de contaminantes en el agua.

El medio de soporte (MS) que se deposita en los filtros biológicos (FB) está conformado por sólidos que presentan alta porosidad y diversidad en su geometría (pueden ser circulares, cuadrados o rectangulares). Las dimensiones del MS dependen de la naturaleza del AR a tratar, para garantizar el máximo contacto entre la biopelícula y el contenido de materia orgánica del afluente (Galindo *et al*, 2016).

Muchos de los criterios de selección de soportes se tiene que basar en el cumplimiento de varios criterios, entre ellos tener una gran superficie para la adhesión celular, facilidad de uso y regeneración, porosidad (para permitir el intercambio continuo de material), estabilidad química y biológica y resistencia a enzimas, solventes y cambios de presión, entre otros (Botello-Suárez *et al*, 2016).

Algunos criterios para seleccionar un soporte se basan en la realización de varios parámetros, incluida una amplia superficie para la adhesión celular, facilidad de manipulación y regeneración, porosidad, rugosidad, estabilidad química y biología y resistencia a enzimas, solventes, y resistencia a los cambios de presión, etc (Botello-Suárez

et al, 2016). Por esto los soportes pueden clasificarse dependiendo del origen ya sea sintético o natural.

1.7.1. Naturales

Los soportes de origen natural ayudan a la remoción de materia orgánica de las aguas residuales, estos son posible cuando los microorganismos se adhieren a el soporte y formando así una biopelícula, son considerados de bajo costo y buena disponibilidad como el bambú, carbón vegetal, arcilla, piedra pómez, conchas marinas, zeolita, arena, roca volcánica, antracita, tezontle, coyonoxtle, entre otros que han sido usados en diversas investigaciones con la finalidad de inmovilizar microorganismos (Ocaña, 2014).



Figura 1.5 Conchas marinas (*Arca zebra*) en el FB con película microbiana adherida (Galindo *et al*, 2016).

1.7.2. Sintéticos

En la mayoría de los casos, opta por los soportes de origen sintético ya que son de material más resistente, y cumplen con las especificaciones descritas con anterioridad. Los soportes de origen sintético, comúnmente son fabricados con materiales como poliuretano, polietileno, poliéster, vidrio, cloruro de polivinilo, poliestireno, alúmina, etc.

1.7.2.1. Espuma de poliuretano/grafito

El poliuretano espumado se fabrica a partir de la reacción química de isocianatos y alcoholes polihídricos. Dichas espumas, debido a sus excepcionales propiedades mecánicas, de aislamiento, etc., son ampliamente utilizadas en diversos sectores de la industria. La densidad de estos materiales poliméricos es una característica clave, que afecta en gran medida sus propiedades. Se ha demostrado que la resistencia, el módulo y la absorción de energía de un material aumentan linealmente con la densidad de la espuma. En contraste, la deformación a alta temperatura y el comportamiento de absorción de aceite por la espuma disminuyen rápidamente con el aumento de la densidad de la espuma. En consecuencia, la densidad de los materiales, en gran medida, determina sus aplicaciones, por lo que se puede dar una clasificación de sus aplicaciones de la siguiente manera:

- Espumas flexibles: colchones y muebles, así como asientos en la industria automotriz.
- Espumas semirrígidas: paneles, defensas, piezas interiores en la industria automotriz. Industria del calzado.
- Espumas rígidas: aislamiento térmico en refrigeradores y congeladores y en la industria de la construcción como material aislante (temperatura, sonido, etc.) y en la construcción de paneles divisorios.

Aunado al sin fin de aplicaciones con las que cuentan, recientemente, se han añadido a las espumas de poliuretano partículas inorgánicas con el fin de modificar su morfología, por consiguiente, su densidad y finalmente, permitiendo obtener nuevas propiedades y ser utilizadas en aplicaciones donde no se encontraban consideradas. Entre las partículas que han sido añadidas y estudiadas en las últimas décadas, se encuentra el grafito. El grafito es un alótropo del carbono compuesto de miles de láminas paralelas de átomos de carbono en un sistema hexagonal. Cada átomo de carbono esta unido a tres átomos de carbono continuos dispuestos en ángulos de 120° . Dicha estructura, lo hace un candidato idóneo para la modificación de la densidad de las espumas de poliuretano y por consiguiente sus propiedades y aplicaciones (Billmeyer, 2020; Covarrubias *et al*, 2017).

1.7.2.2. Espuma de poliuretano/nanofibras de carbono

Por su parte, la tecnología de nanofibras de carbono (CNF) combina una amplia gama de propiedades, derivadas de su estructura y composición, que rara vez se encuentran en otros materiales, lo que la convierte en un material prometedor para su explotación en varios campos. Cabe destacar su porosidad, en rango de los macro y mesoporos, así como su estructura cristalina, que le confiere una alta conductividad eléctrica y térmica, así como una alta resistencia química (Rodríguez, 1993).

Su principal valor de las CNF reside en tener un conjunto único de propiedades que le otorgan una ventaja sobre cualquier otro material porque es muy fuerte y a la vez muy flexible, puede expandirse sin romperse, tiene la capacidad de tener una alta resistencia al calor, tiene propiedades eléctricas especiales, y además tiene una alta porosidad que le permite el almacenamiento en este caso microorganismos (Covarrubias *et al*, 2017; Trejo, 2006).

Las propiedades de estos materiales son muy superiores a la mayoría de los materiales conocidos, por ejemplo, se ha reportado que el módulo de tensión de nanotubos y nanofibras de carbono oscila entre 600 GPa y 1 TPa (Rhodes *et al*, 2007).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización geográfica del sitio

La presente investigación se llevó a cabo en departamento de Botánica en el laboratorio de botánica y biología general de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México a los 25°21'13'' latitud norte, 101°02'01'' longitud oeste y a una altura de 1758 metros sobre el nivel del mar.

2.2. Materiales, Reactivos y Equipo

- Ácido sulfúrico
- 30 reactores batch con taparosca frascos de laboratorio GL 45 de 500 ml (x30)
- Agua destilada
- Agua residual de rastro sin tratamiento cruda
- Batidora de inmersión
- Dicromato de potasio
- Espectrofotómetro uv-vis (HACH DR 5000)
- Guantes de látex
- Lodos anaerobio
- Mechero de bunsen
- Micropipeta manual de volumen variable
- Probetas 200 ml
- Soportes de poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono
- Sulfato de plata
- Termoreactor HACH DRB 200
- Tubo de microcentrifuga
- Tubos hach con rosca de 10 ml
- Vasos de precipitación 2l

2.3. Metodología

2.3.1. Inmovilización de microorganismos en soportes

Los soportes se cortaron con ayuda de un cúter que se calentó previamente en el mechero se recortó cada uno de los soportes en segmentos de 1 cm³.

Se tomó en un vaso de precipitación 2l lodo anaerobio el cual se procedió a licuar (batidora de inmersión) hasta tener una mejor consistencia. Se agregó 20 ml a cada reactor.

Los reactores batch fueron empacados con los soportes anteriormente mencionados y se inocularon con agua residual de rastro cruda, se agitaron ligeramente cada tercer día por veinticinco días para permitir el desarrollo de microorganismos y la posterior formación de la biopelícula.

Este proceso se llevó a cabo a temperatura ambiente. La cantidad que se le puso a cada reactor fue:

1. Cantidad de soporte por reactor: 2 g de cada soporte
2. Cantidad de lodo anaerobio por reactor: 20 ml a cada reactor.
3. Cantidad de agua residual por reactor: 200 ml de agua residual cruda

2.3.1.2. *Cinética de remoción de materia orgánica en reactores batch*

1. Se removió el medio presente en los reactores batch y se enjuago ligeramente los soportes con agua destilada para remover remanentes de agua residual sin tratar.
2. Se agregó agua residual de rastro cruda, el cual se tomó una alícuota de la misma para determinar la demanda química de oxígeno inicial en los tratamientos.
3. Se cerró cada uno de los reactores y se determinó la remoción de la materia orgánica cada dos días.
4. Se repitió el procedimiento por lo menos dos veces para demostrar la repetitividad de los resultados.

2.3.2. Caracterización

2.3.2.1. *Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)*

El principio químico de la demanda química de oxígeno consiste en que la materia orgánica es oxidada por el dicromato de potasio en un medio fuertemente ácido en presencia de un catalizador (Ag_2SO_4 y H_2SO_4), lo que se traduce a la cantidad de oxígeno en mg/L consumido en la oxidación de las sustancias reductoras que están en un agua.

1. Se tomó 1 ml de muestra (con una jeringa de 5 ml) esto se realizó con cada reactor batch, por repetición.
2. Con una micropipeta manual de volumen variable se tomó con exactitud 0.25 ml de la muestra de agua residual, procedió a colocarse en un tubo hach de 10 ml y se agregó 2.25 ml de agua destilada, Así también se procedió agregar 1.5 ml de solución de dicromato de potasio y 3.5 ml de solución de sulfato de plata – ácido sulfúrico.
3. Se cerraron perfectamente y se procedió agitar los tubos hach por inversión hasta homogeniza la mezcla (3 inversiones).
4. Se colocó las muestras en un termoreactor a 150°C durante 2 horas. Para esto puso a calentar previamente el termoreactor HACH DRB 200.
5. Después de las 2 horas se retiraron del termoreactor y se dejó enfriar los tubos en un lugar oscuro y seco hasta alcanzar temperatura ambiente.
6. Se leyeron cada uno de los tubos en espectrofotómetro uv-vis (HACH DR 5000) a una longitud de onda de 600 nm y se anotó la absorbancia de cada una.
7. Siempre se preparó un blanco sin muestra para calibrar el espectrofotómetro.
8. Este proceso se repitió las veces necesarias hasta que la absorbancia (concentración llegará a una meseta) ya no variara.

2.4. Diseño de Experimento

En la siguiente tabla 2.1, se presentan los tipos de soportes que fueron utilizados durante el tratamiento del agua residual de rastro, en la cual se realizaron tres repeticiones de cada uno de estos en reactores batch haciendo un total de 30.

Se utilizaron dos tipos de espuma poliuretano, la primera denominada como “asiento” y la otra “figura”. La primera en cuestión tiene el poro de mayor tamaño, y una mayor rugosidad. Por su parte, la espuma figura, cuenta con un tamaño de poro menor a la anterior, por lo tanto, cuenta con un área superficial mayor, además, en cuestión de rugosidad es más suave. Cada una de las espumas tiene un proceso de síntesis de compuestos distinta, en lo cual, esto modifica morfológicamente las propiedades de las espumas principalmente el tamaño de poro y el área superficial dentro de la estructura de la misma.

Se utilizaron derivaciones de cada una de las espumas, el blanco con ninguna alteración N/A, (la cual se usó como testigo), nanofibras de carbono (CNF) al 0.5 y 1 % en peso y grafito al 0.5 y 1% en peso.

Tabla 2.1 Tratamientos utilizados en el experimento

Soportes	
Espuma 1 Asiento	Espuma 2 Figura
T1 Blanco N/A	T2 Blanco N/A
T3 CNF 0.5%	T4 CNF 0.5%
T5 CNF 1.0%	T6 CNF 1.0%
T7 Grafito 0.5%	T8 Grafito 0.5%
T9 Grafito 1.0%	T10 Grafito 1.0%

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la figura 3.1 se muestra el comportamiento de la demanda química de oxígeno con los diferentes tratamientos. Se puede observar que los reactores correspondientes a los tratamientos (T8) figura grafito 0.5% y (T10) figura grafito 1% tienen una velocidad inicial de consumo a los tres días de materia orgánica más alta que los demás tratamientos. El blanco (T1) y (T7) asiento grafito a 0.5% tuvieron un comportamiento parecido.

Los tratamientos (T6) figura CNF 1%, (T8) figura grafito 0.5% y (T10) figura grafito 1%, fueron los que mayor remoción de materia orgánica presentaron, pero fue muy claro que el tratamiento (T8), el cual cuenta con grafito al 0.5 % en peso, fue el más constante, mientras que, en el blanco figura (T2) no se observó remoción de la materia orgánica.

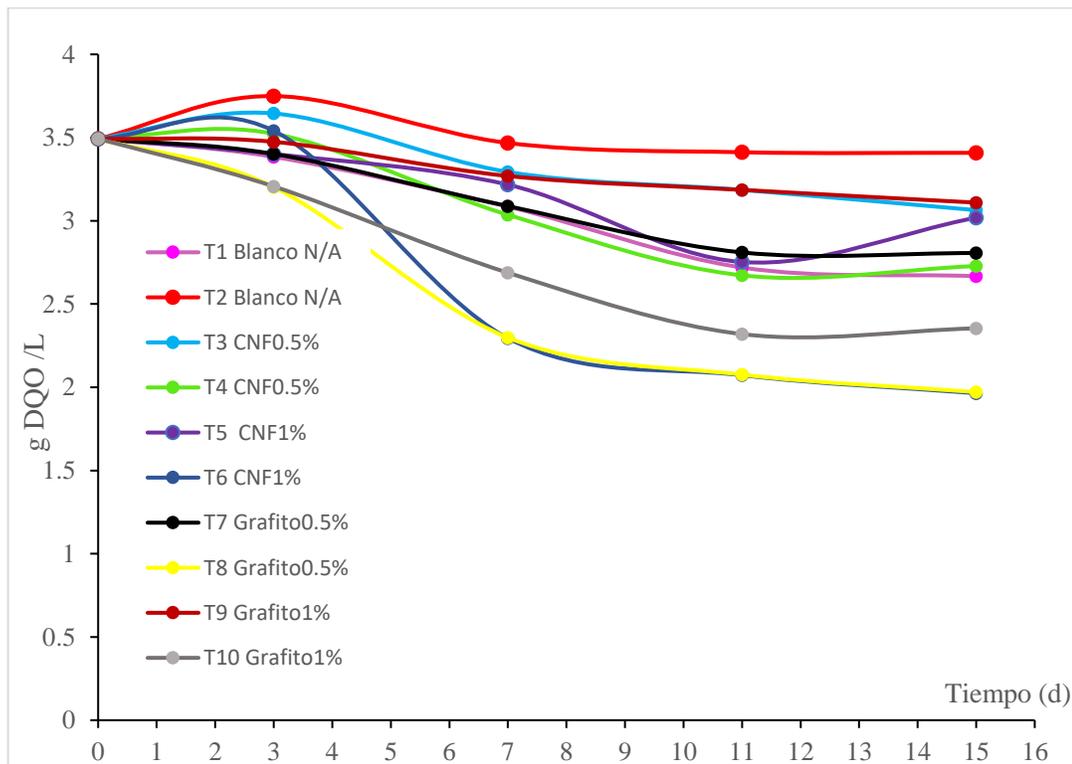


Figura 3.1 Comportamiento de la materia orgánica (DQO) en reactores batch empacados con diferentes tratamientos de soportes de poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono.

En la tabla 3.1 se presenta el porcentaje de la eficacia de remoción de la demanda química de oxígeno en esta se muestra los mejores tratamiento T6, T8 y T10.

Tabla 3.1 Eficacia de remoción de la demanda química de oxígeno

Tratamiento	Concentración inicial mg/L	Concentración Final mg/L	Eficacia Remoción % (DQO)
T6	3.493	1.965	43.74%
T8	3.493	1.971	43.57%
T10	3.493	2.354	32.60%

En las siguientes ilustraciones se muestra la microscopía electrónica de barrido (MEB) de los soportes poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras. En estas, se pueden observar la dispersión y distribución de las nanopartículas de cada una de las espumas que fueron utilizadas en el proyecto.

En la figura 3.2 se puede apreciar que la espuma asiento blanco (AB) cuenta con poros de tamaño mayor en relación al blanco de espuma tipo figura, y, por consiguiente, un área superficial menor. Además, se observan las típicas morfologías en forma esférica. En la misma Figura 3.2, se observa lo comentado con anterioridad, el blanco de la espuma tipo figura (FB) cuenta con el tamaño de poro más pequeño con una forma ovalada y un área superficial mayor. La diferencia de estos dos soportes es que la espuma AB tendrá una mejor adherencia que la FB.

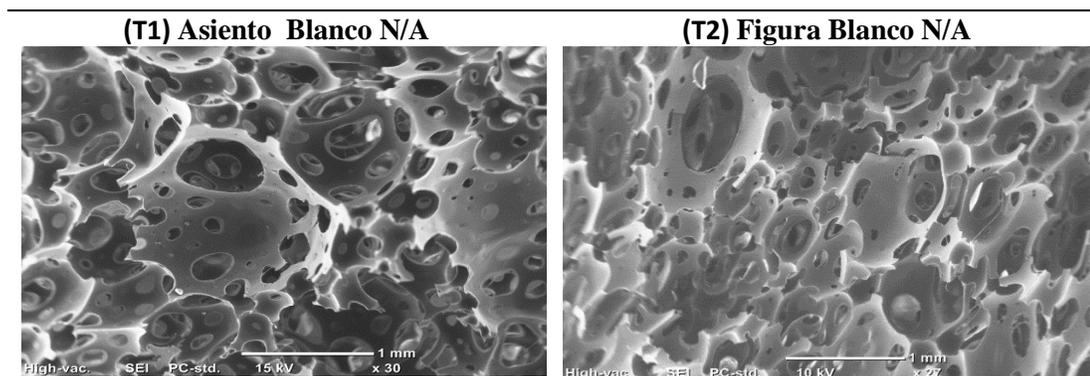


Figura 3.2 Microscopía electrónica de barrido de asiento blanco N/A y figura blanco N/A.

En la figura 3.3 se presenta la comparación entre ambos tipos de espumas cuando se les añadió 0.5 % en peso de CNF. Se puede observar que la espuma tipo asiento CNF 0.5% cuenta con poros de tamaño medio, mientras que la tipo figura CNF 0.5% muestra una porosidad de menor tamaño, con morfología esférica y con una superficie media.

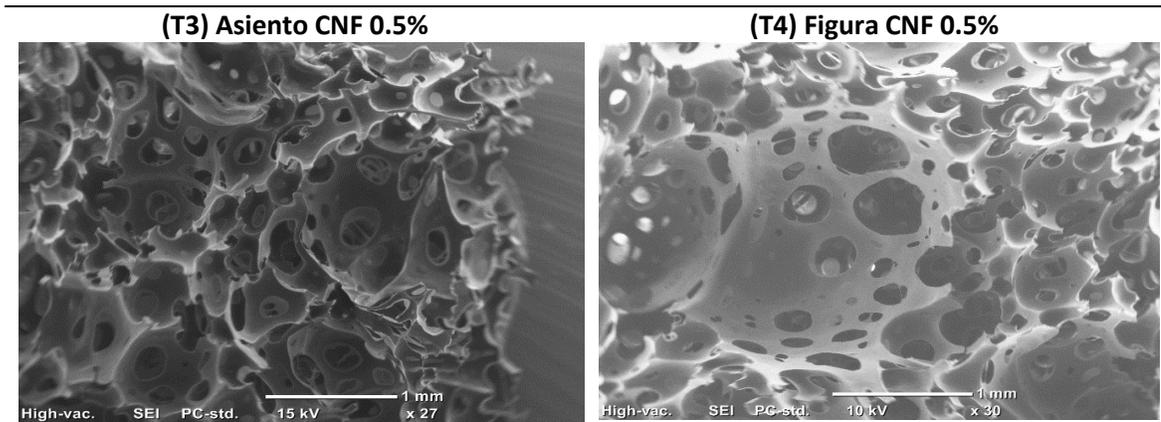


Figura 3.3 Microscopía electrónica de barrido de asiento CNF 0.5% y figura CNF 0.5%.

Figura 3.4 se muestra que en asiento CNF 1%, los tamaños de poros son medios, mientras que la espuma tipo figura CNF 1%, cuentan poros de pequeño tamaño con forma circular y haciendo que esta tenga una superficie mayor. Cabe mencionar, que el incremento de la concentración de CNF mostró un colapso en las celdas de la matriz polimérica, mostrando un incremento de celdas abiertas para ambos tipos de espumas.

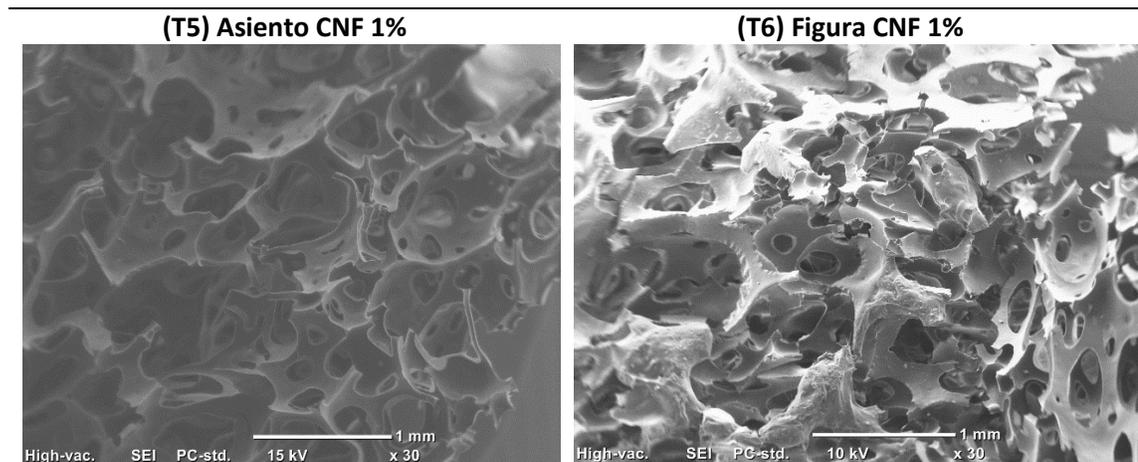


Figura 3.4 Microscopía electrónica de barrido de asiento CNF 1% y figura CNF 1%.

La figura 3.5 se muestra las MEB de las espumas correspondientes, observando que el asiento grafito (AG) 0.5% sus poros son de tamaño grande. Mientras que el de figura grafito (AG) 0.5% tiene una cantidad considerable de poros de tamaño pequeños de forma asimétrica y un área superficie mayor que la de AG 0.5%.

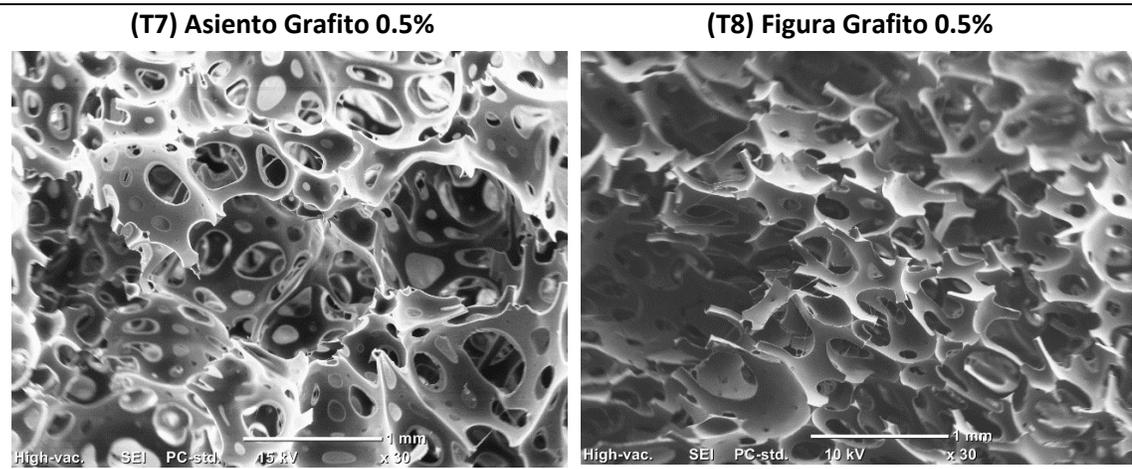


Figura 3.5 Microscopía electrónica de barrido de asiento grafito 0.5 % y figura grafito 0.5%.

En la figura 3.6 se aprecia muy claramente que el tamaño de los poros es grandes y medios con una forma circular la espuma asiento grafito 1%. Mientras que figura grafito 1% los poros van de pequeños a medios de forma asimétrica con un área superficial media. Al igual que el incremento en concentración de CNF, el grafito ocasionó una ruptura en las celdas de la espuma tipo figura, no obstante, la espuma tipo asiento mostró la apertura de sus celdas constante, lo que sugiere que este tipo de espuma permitiría mayores contenidos de grafito sin presentar el colapso de sus propiedades mecánicas. Cabe mencionar, que el grafito añadido al 0.5 % presenta una morfología donde la mayoría de las celdas que constituyen la espuma se denota colapsada (en relación a su contra parte al 1 %), lo que se podría deber una formación de aglomerados y una baja dispersión de las partículas.

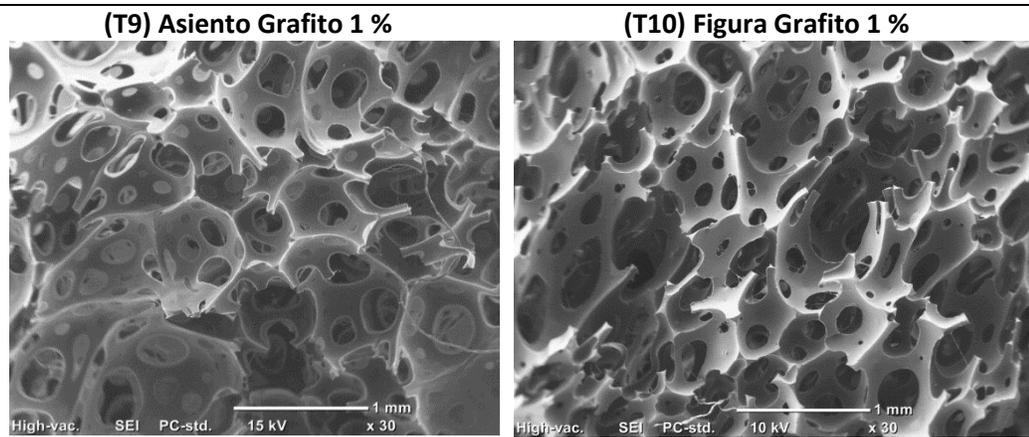


Figura 3.6 microscopía electrónica de barrido de asiento grafito 1% y figura grafito 1%.

En la figura 3.7 se observa el agua residual del rastro sin tratamiento (izquierda) y agua residual del rastro después del tratamiento de 15 días (derecha) en uno de los reactores con el soporte figura grafito 0.5% (T8), en esta se alcanza a apreciar como el agua tratada perdió color y es más transparente.



Figura 3.7 Agua residual sin tratamiento y agua residual tratada con soporte figura grafito 0.5%.

Al comparar las figuras 3.4 y 3.5 de los tratamientos T6 y T8, y, tomando en cuenta la microscopía electrónica de barrido de cada soporte y el comportamiento de la DQO, Se observó que los microorganismos presentes en el agua residual de rastro, colonizaron el medio de soporte eficaz, alcanzando una remoción de DQO de 43.74% para el tratamiento T6 y 43.54% para el tratamiento T8. Se puede comprobar que los tratamientos T6 y T8, son soportes que permiten las mejores condiciones para la adaptación, adhesión y proliferación en el medio anaeróbico para el tratamiento de aguas residuales. Estos conforman un área superficial superior, una alta rugosidad, y un tamaño de poro efectivo, con esto permitiendo el ambiente adecuado para la adhesión de microorganismos, los cuales se pueden realizar satisfactoriamente la biopelícula y tener una mejor remoción de materia orgánica en el agua residual del rastro (Oliveira *et al*, 2003; Botello-Suárez *et al*, 2016).

CONCLUSIÓN

La remoción de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno en reactores de biopelícula anaerobia soportada en materiales de poliuretano/grafito y poliuretano/nanofibras de carbono fue superior que en los tratamientos testigo (soportes fabricados con poliuretano únicamente).

El tratamiento T6, compuesto de la espuma de tipo figura y un contenido de CNF al 1 % en peso, fue el que presentó una mayor remoción de materia orgánica, alcanzando un porcentaje de 43.74%, lo que sugiere que al presentar una morfología de celda con mayor grado de apertura se fomenta la remoción de materia orgánica. Dicha morfología, es generalmente atractivas para las bacterias incrementando de manera considerable la adhesión y la remoción de materia orgánica.

Se concluye que el incremento en la apertura de celdas, sin importar el contenido de partículas, fomenta la remoción de materia orgánica, lo anterior, observado durante la comparación de los tratamientos T8 y T10, donde la baja dispersión de las partículas a menores porcentajes, incremento la apertura de celda y por consiguiente la remoción de materia orgánica.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Y. L., & Abreu, M. C. O. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39(1), 35-48.
- ACUATECNICA. (2018). Tratamiento primario de aguas residuales. Obtenido en: <https://acuatecnica.com/tratamiento-primario-aguas-residuales/>
- AGUA. (2018). Aguas residuales y contaminación en México. Consultado en: <https://agua.org.mx/actualidad/aguas-residuales-contaminacion-en-mexico/>
- AQUA FREE. (2019) ¿Qué es el biofilm? <https://www.aqua-free.com/es/revista/que-es-el-biofilm>
- Arango, A., Garcés, F. (2007). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Producción más limpia*, 2 (2), 23-30.
- Arnáiz Franco, C., Isac Oria, L., & Lebrato Martínez, J. (2000). Tratamiento biológico de aguas residuales. I Eliminación de carbono orgánico. *Revista Tecnología del Agua*, 20 (198), 22-26.
- Betancourth, M., Botero, J. E., & Rivera, S. P. (2004). Biopelículas: una comunidad microscópica en desarrollo. *Colombia Médica*, 35(3 Supl 1), 34-39.
- Bishop, P. L. (1997). Biofilm structure and kinetics. *Water Science and Technology*, 36(1), 287-294.
- Borges, E. R. C., Rojas, A. B., Novelo, R. I. M., Rodríguez, J. H. O., & Canul, R. P. (2012). Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional. *Ingeniería*, 16(2), 83-91.
- Botello Suárez, W. A., Ortiz Varón, J. C., & Peña Perea, S. A. (2016). Inmovilización microbiana en polímeros sintéticos para el tratamiento de aguas residuales. *Nova*, 14(26), 95-102.

BV, L. (2016). Historia del tratamiento de agua potable. Obtenido en: [Http://Www.Lenntech.Es/Procesos/Desinfeccion/Historia/Historia-Tratamiento-Agua-Potable. Htm](http://www.lenntech.es/Procesos/Desinfeccion/Historia/Historia-Tratamiento-Agua-Potable.Htm).

Chamy, R., Vivanco, E., & Yaya, R. (2018). Manual técnico sobre tecnologías biológicas anaerobias aplicadas al tratamiento de aguas y residuos industriales. Perú: *CYTED*, pp 4-14.

Chmielewski, R. A. N., & Frank, J. F. (2003). Biofilm formation and control in food processing facilities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(1), 22-32.

CONAGUA. (2016). Estadísticas Del Agua En México Edición 2016. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf

CONAGUA. (2016). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Impreso y hecho en México, pp. 37-68.

Costerton, J. W., Lewandowski, Z., Caldwell, D. E., Korber, D. R., & Lappin-Scott, H. M. (1995). Microbial biofilms. *Annual Review of Microbiology*, 49(1), 711-745.

Covarrubias-Gordillo, C. A., Soriano-Corral, F., Ávila-Orta, C. A., Cruz-Delgado, V. J., Neira-Velázquez, M. G., Hernández-Hernández, E., & Adriana, P. (2017). Surface modification of carbon nanofibers and graphene platelets mixtures by plasma polymerization of propylene. *Journal of Nanomaterials*.

Couoh, T. H. (1996). Características físico-químicas del efluente tratado de un hospital y su impacto en el acuífero de Mérida. Tesis de maestría, *Universidad Autónoma de Yucatán, México*.

Cruz, J. L. C. (2010). Síntesis y caracterización de compuestos de espuma de poliuretano y nanofibras de carbono. Tesis maestría, Centro de Investigación en química Aplicada. pp. 6-18.

Davey, M. E., & O'toole, G. A. (2000). Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64(4), 847-867.

Domosagua. (2021). Plantas tratamiento aguas municipales. Obtenido en: <https://www.domosagua.com/recursos/plantas-tratamiento-aguas-municipales>

Eguía López, E. (2011). Desarrollo de la biopelícula en medio soporte permeable. *Universidad de Cantabria*. Tesis Doctoral. pp. 28-32

Envitech, C. (2020). Sistemas con reactores aeróbicos para tratar aguas residuales. Obtenido de: <https://blog.Condorchem.com/sistemas-con-reactores-aerobicos-para-tratar-aguas-residuales>.

Envitech, E. C. (2010) Historia sobre el tratamiento del agua potable. Obtenido en: <https://condorchem.com/es/blog/historia-sobre-el-tratamiento-del-agua-potable/>

Ferrer Polo, J., Seco Torrecillas, A., & Robles Martínez, Á. (2018). Tratamientos biológicos de aguas residuales. *Editorial Universitat Politècnica de València*.

Galindo, A., Toncel, E., & Rincón, N. (2016). Evaluación de un filtro biológico como unidad de post-tratamiento de aguas residuales utilizando conchas marinas como material de soporte. *Revista Ion*, 29(2), 39-50.

Geesey, G. G. (1994). Biofouling and biocorrosion in industrial water systems. *CRC Press*. pp. 2-14

Goncalves, J. (2007). Relevancia y participación de las biopelículas microbianas en las infecciones endodónticas. Post Grado, Universidad Central de Venezuela.

Hall-Stoodley, L., Costerton, J. W., & Stoodley, P. (2004). Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases. *Nature Reviews Microbiology*, 2(2), 95-108.

Hernández García, H., Buitrón Méndez, G., M Lopez-Vazquez, C., & J Cervantes Carrillo, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño. *IWA Publishing*. pp. 1-564

HIDROTEC. (2021). Tipos de aguas residuales: por qué es importante conocerlas: <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>

Holt, P. K., Barton, G. W., & Mitchell, C. A. (2005). The future for electrocoagulation as localised water treatment technology. *Chemosphere*, 59(3), 355-367.

Hutchison, P. R., & Healy, T. W. (1990). Coagulation and Flocculation—Destabilizing Practices? (With Particular Reference to Metal Ion Coagulants). *In Surface and Colloid Chemistry in Natural Waters and Water Treatment*. Springer, Boston, MA. (pp. 119-134).

Iberdrola. (2021). Contaminación Del Agua. Consultado en <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-agua>

Mamani, E. J. Q. (2015). Determinación de la Velocidad de Sedimentación de SST en Aguas Residuales de una Planta de Tratamiento Primario de una Industria Papelera. *Revista de Investigación Universitaria*, 4(1).

Massé DI, Masse L (2000) Characterization of wastewater from hog slaughterhouse in Eastern Canada and evaluation of their in-plant wastewater treatment system. *Can. Agr. Eng.* 42: 139-146.

Mer, V. K. L., & Healy, T. W. (1963). The role of filtration in investigating flocculation and redispersion of colloidal dispersions. *The Journal of Physical Chemistry*, 67(11), 2417-2420.

Moeller, G., & Tomasini, A. C. (2004). Microbiología de lodos activados. Memorias curso internacional de sistemas integrados de tratamiento de aguas residuales y su reúso para un medio ambiente sustentable [Internet]. *Bogotá: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)*.

Nieto-Henao, L. (2009). Eventos de coloración del agua potable como consecuencia del desprendimiento de biopelícula el caso de Bogotá DC. (*Bachelor's thesis, Uniandes*) Universidad de los Andes, Tesis Licenciatura.

Ocaña de la cruz, F. (2014). Efecto de diferentes soportes naturales en la nitrato reducción catalizada por sistemas de biopelículas (no. Qk98. 4m49. O22 2013.).

Oliveira, R., Azeredo, J., & Teixeira, P. (2003). The importance of physicochemical properties in biofilm formation and activity. (Eds.), S. Wuertz, P.L. Bishop, P.A. Wilderer. *Biofilms in Wastewater Treatment: An Interdisciplinary Approach*, IWA, London, UK, pp. 211-231

Organización Mundial de la Salud. (2021). Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene en los hogares 2000-2020: cinco años en los ODS.

Paredes, J. F. M., & Ramos, M. R. (2014). Reactores discontinuos secuenciales: Una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24(1), 49-66.

PROTECCIÓN, D. R. (2018). Estudio sobre protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos. UNAM. pp. 62-81

Ramírez, F. (2017). La coagulación-floculación en el proceso de tratamiento. Obtenido de: <http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>

Ramos-Martínez, E. (2013). Evaluación del desarrollo de biofilms en los sistemas de distribución de agua potable mediante la extracción de conocimiento a través de los datos (*Knowledge Discovery in Databases*). Universidad politécnica de valencia. pp. 19-25

Rhodes, S. M., Higgins, B., Xu, Y., & Brittain, W. J. (2007). Hyperbranched polyol/carbon nanofiber composites. *Polymer*, 48(6), 1500-1509.

Rodríguez, J. P. (2010). Contaminación del agua. Contaminación ambiental en Colombia. *Bogotá: Fundación en causa por el desarrollo humano*. (págs. 255-300).

Rodríguez, R. V., & VALDEZ, J. G. (2019). Manejo integral de efluentes residuales generados en los rastros municipales. R. Ramírez Rodríguez, J Gallardo Valdez. Manejo integral de efluentes residuales generados en los rastros municipales. 2019 CIATEJ ISBN: 978-607-8734-06-1.

Rodríguez-Hernández, M. (2021). Toatli: cuidemos el agua. Universidad Iberoamericana Puebla.

Rojas, R. (2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Gestión integral de tratamiento de aguas residuales, 1(1), 8-15.

Ruiz-González, R. (2013). Eliminación de nutrientes mediante procesos combinados en un reactor anóxico-anaerobio seguido de un reactor biopelícula y un decantador lamelar. *Proyecto final, Master Investigación Ingeniería Ambiental, Universidad de Cantabria.*

Sehar, S., & Naz, I. (2016). Role of the biofilms in wastewater treatment. Microbial biofilms-importance and applications, 121-144.

SENASICA. (2020). Listado de rastros y centros de matanzas en las que se realiza vigilancia o seguimiento por parte de las entidades federativas. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/584516/listado_rastros_09102020.pdf

Serra, P. G. (2003). Estudio de biofilms: formación y consecuencia. *Escola de Prevencio i Seguretat Integral. 6-14.*

Sutherland, IW (2001). La matriz de la biopelícula: un entorno microbiano inmovilizado pero dinámico. *Tendencias en microbiología*, 9 (5), 222-227.

TREJO, M. S. P. P. (2006). Modificación superficial por plasma de nanotubos de carbón y nanofibras utilizadas en la preparación de nanocompuestos poliméricos (Doctoral dissertation, CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA).

Thostenson, E. T., Li, C., & Chou, T. W. (2005). Nanocomposites in context. *Composites Science and Technology*, 65(3-4), 491-516.

Trujillo García, M. (2017). Biofilms microbianos. Trabajo final de grado. Universidad de la Laguna. 1-10.

UNESCO. (2009). Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP).<http://www.unesco.org/new/es/naturalsciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-15-water-pollution/>

Whiteley, M., Banger, M. G., Bumgarner, R. E., Parsek, M. R., Teitzel, G. M., Lory, S., & Greenberg, E. P. (2001). Gene expression in *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Nature*, 413(6858), 860-864.

Wolfe, P. (1999). History of wastewater. World of water 2000—the past, present and future. Water World/ Wastewater International Supplement to Penn Well Magazines, Tulsa, OH, USA. pp. 24-36

Zhang, Z. Z. *et al.* (2008). Effect of carbon fibers surface treatment on tribological performance of polyurethane (PU) composite coating. *Wear*, 264(7-8), 599-605.