

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/nanofibras de carbono/grafito”

Por:

ERIKA LERMA SUBIAS

Tesis

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 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/nanofibras de carbono/grafito*

Por:

ERIKA LERMA SUBIAS

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. Florentino Soriano Corral
Asesor Principal Externo



Dr. Alonso Méndez López
Coasesor



M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala
Coasesor

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/nanofibras de carbono/grafito"

Por:

ERIKA LERMA SUBIAS

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por el Jurado Examinador



M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala
Presidente



Dra. Silvia Yudith Martínez Amador
Vocal



Dr. Florentino Soriano Corral
Vocal



Dr. Alonso Méndez López
Vocal Suplente





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

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México,
Diciembre 2021

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por brindarme una familia que me apoya en todo lo que me propongo con su apoyo incondicional. Por cumplir esta meta en el aspecto profesional, por cada vez que me permitió regresar a mi hogar y poder estar al lado de mi familia.

A mi **Alma Terra Mater**, por brindarme la oportunidad de ser una alumna más en esta grandiosa institución además de brindarme todas las facilidades para concluir mi formación académica, siempre estaré profundamente agradecida y siempre formara parte de mi vida “Buitres por siempre”.

Al **Departamento de Ciencias del Suelo**, por todo el apoyo brindado a lo largo de mi formación académica.

A mis profesores, por los conocimientos transmitidos, experiencias y consejos que me ayudaron en mi etapa profesional y que gracias a ellos soy en experiencia la persona de hoy.

Al Dr. Pedro Pérez Rodríguez, mi más sincero y profundo agradecimiento por su apoyo y amistad, así como su valiosa aportación de conocimientos para la realización de este proyecto.

A la Dra. Silvia Yudith Martínez Amador, por su valiosa disponibilidad, paciencia y asesoría en la aportación de conocimientos necesarios para la realización de este proyecto.

Al M.C. Juan Manuel Cepeda Dovala, por sus enseñanzas y consejos a lo largo de estos 5 años que serán herramientas fundamentales para lograr un mejor futuro. Gracias por todo.

Al Dr. Florentino Soriano Corral, por el apoyo y consejos en la realización de esta tesis.

Al proyecto CONACYT No. 317097 denominado: Mantenimiento de los equipos de planta piloto del CIQA para la formación de recursos humanos y el desarrollo de ciencia de frontera de materiales compuestos avanzados.

Al Ing. José Alfonso Mercado, Lic. Myriam Lozano y Lic. Ma. Guadalupe Méndez por su apoyo en la caracterización por SEM y fisicoquímica de los soportes.

DEDICATORIA

A mis padres, Sr. Roberto Lerma Vallejo y Sra. Virginia Subias Villafuerte, esta tesis es dedicada para ustedes, gracias por darme su apoyo incondicional así mismo por todo el sacrificio que ambos han hecho para poder realizar mis sueños, con gratitud les dedico todos mis logros.

A mis hermanos, (Roberto, Adán y María Dolores) gracias por estar ahí a pesar de la distancia por apoyarme a su manera, son parte importante de mi desarrollo profesional dando pauta a que ustedes también consigan sus metas y deseos, los quiero hermanos.

A mis tíos, abuelos y primos, gracias por el apoyo y ánimos para poder lograr mis sueños, por permitirme ser un ejemplo que seguir para todos en la familia, los aprecio y siempre los llevo en mi corazón.

A Luis Yordan Velázquez Vázquez, gracias por siempre apoyarme y animarme a lo largo de estos 5 años, gracias por todas las vivencias y las anécdotas que nos hicieron crecer como personas, espero poder seguir creando muchos recuerdos en el futuro.

Alison Janet Andrade Bravo, por convertirse en mi mejor amiga, gracias por todos los estupendos momentos que pasamos juntas tanto en lo académico como en lo personal, espero seguir compartiendo esto contigo ya que aún nos quedan muchas aventuras por vivir.

Fabián López, Fernando Carranza, Edgardo Juárez, Mireya Morales, por ser parte de esta travesía, por su apoyo, su amistad sincera la llevare conmigo en el corazón gracias por recorrer este corto pero significativo lapso de nuestras vidas.

A M.C. Alejandra Rosario Escobar Sánchez, por su amistad, enseñanzas y consejos para poder llevar a cabo mis metas ha futuro la recordare siempre y la llevare en mi corazón como una de las mejores profesoras que he tenido.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIAS	V
INDICE DE CONTENIDO	VI
INDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE TABLAS	IX
RESUMEN	X
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
HIPOTESIS	4
MARCO TEÓRICO	5
1.1 RECURSO HÍDRICO.....	5
1.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	7
1.3 AGUAS RESIDUALES.....	9
1.4 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES.....	10
1.4.1 Agua residual de rastro.....	10
1.4.2 Agua residual urbana.....	10
1.4.3 Agua residual industrial.....	11
1.5 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.....	11
1.5.1 Tratamiento físico.....	12
1.5.2 Tratamiento químico.....	14
1.5.3 Tratamiento biológico.....	14
1.5.3.1 Procesos aeróbicos.....	14
1.5.3.2 Procesos anaeróbicos.....	16
1.5.3.3 Procesos anóxicos.....	17
1.6 SOPORTES Y BIOPELICULAS.....	18
1.6.1 Soportes.....	18
1.6.2 Biopelículas.....	19
1.6.3 Ventajas de las biopelículas.....	21
1.6.4 Desventajas de las biopelículas.....	21
MATERIALES Y MÉTODOS	22

2.1 LOCALIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL	22
2.2 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.....	23
2.3 METODOLOGÍA	23
2.3.1 Inmovilización de microorganismos en soportes	23
2.3.2 Cinética de remoción de materia orgánica en reactores de sistemas por lotes.....	24
2.3.3 Técnica para determinar la demanda química de oxígeno.....	25
2.3.4 Diseño experimental.....	25
2.3.5 Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	26
2.3.6 Densidad e índice de expansión (EI).....	26
RESULTADOS Y DISCUSION	27
CONCLUSIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México.....	6
Figura 1.2 Tanque de sedimentación.....	12
Figura 1.3 Esquema de flotación.....	13
Figura 1.4 Esquema de filtración.....	13
Figura 1.5 Principio del tratamiento aeróbico.....	15
Figura 1.6 Esquema del proceso de digestión anaerobia.....	16
Figura 1.7 Etapas del desarrollo de la biopelícula bacteriana.....	20
Figura 2.1 Localización geográfica del sitio experimental.....	22
Figura 2.2 Reactores con los diferentes tipos de soportes en la formación de la biopelícula.....	24
Figura 3.1 Cinética de remoción de materia orgánica en reactores de sistemas por lotes, empacados con soportes de poliuretano/nanofibras de carbono/grafito, a) PU1 y b) PU2.....	28
Figura 3.2 Micrografías por SEM de los soportes a) T1 blanco y b) T6 blanco..	29
Figura 3.3 Micrografías por SEM de los soportes a) T2 CNF 1.0 % y b) T7 CNF 1 %.....	30
Figura 3.4 Micrografías por SEM de los soportes a) T3 CNF/G 50/50 1.0 % y b) T8 CNF/G 50/50 1.0 %.....	30
Figura 3.5 Micrografías por SEM de los soportes a) T4 CNF/G 70/30 1.0 % y b) T9 CNF/G 70/30 1.0 %.....	31
Figura 3.6 Micrografías por SEM de los soportes a) T5 G 1.0 % y b) T10 G 1.0 %.....	31
Figura 3.7 Agua residual tratada (Izquierda), agua residual sin tratar (Derecha).....	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tratamientos utilizados en el experimento.....	26
Tabla 3.1 Densidad aparente e El para los soportes utilizados.....	32

RESUMEN

Los sistemas de biopelícula son eficientes en la remoción de una gran diversidad de compuestos 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 costo. Actualmente en la búsqueda de nuevas opciones como soportes, la espuma de poliuretano ha sido combinada con materiales a base de carbono. La presente investigación fue realizada en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en Saltillo, Coahuila, México, con el objetivo de analizar soportes de poliuretano (PU-F)/nanofibras de carbono (CNF)/grafito (G) para la formación de biopelícula microbiana en el tratamiento de agua residual de rastro en reactores batch o por lotes. El experimento se llevó a cabo a temperatura ambiente y fueron evaluados los siguientes materiales (tratamientos) a base de 2 diferentes poliuretanos y diferente relación en % en peso de CNF:G, a un 1 % en peso de carga de carbono: PU 1: T1 Blanco, T2 CNF 1%, T3 CNF:G 50:50 1%, T4 CNF:G 70:30 1%, T5 Grafito 1%. PU 2: T6 Blanco, T7 CNF 1%, T8 CNF:G 50:50 1%, T9 CNF:G 70:30 1%, T10 Grafito 1%. Cada tratamiento se efectuó por triplicado. Los reactores con el tratamiento T9 que contenían una relación de CNF:G 70:30 al 1% en peso como soporte, presentaron una mayor remoción de la materia orgánica. Las micrografías electrónicas de los soportes mostraron que en el caso del tratamiento T9, contaba con una mayor área superficial, además de observarse una superficie rugosa, los poros de este soporte mostraban una forma esférica ideal para una mayor adherencia de los microorganismos.

INTRODUCCION

El planeta nos recuerda continuamente que nada es para siempre, y que el agotamiento de recursos está más cerca de lo que pensamos, por ejemplo, la escases del recurso hídrico es uno de los problemas más alarmantes para la supervivencia de la humanidad, sequías extremas que azotan gran territorio del planeta, recordándonos firmemente que sin agua no hay vida. En la actualidad además de la constante preocupación por la escasez de agua, nos enfrentamos ante la contaminación de este recurso, ríos, mares, canales lagos y embalses, son contaminados día con día por desechos producidos de industrias, conglomerados y la agricultura, estas aguas residuales presentan un reto ante la sociedad (UNICEF, 2019). Alrededor de 7,960,000,000 (2018) $m^3/año$ de agua residual producida, solamente 4,370,000,000 (2018) $m^3/año$ es tratada lo que nos da un panorama angustiante ya que al analizar los datos se muestra que, aproximadamente, la mitad de agua residual producida no es tratada terminando en vertederos de agua limpia (FAO, 2018).

Dentro de los diferentes tipos de aguas residuales se encuentran las producidas en un rastro, que representan una fuente sustancial de agua residual, En cuanto a la contaminación que generan los rastros, (Signorini-Porchietto *et al.*, 2006) mencionan que se eliminan diariamente 121,294 litros de sangre procedentes del faenado de animales de abasto, la cual no es aprovechada y equivale a la contaminación generada por 80,782,037 litros de agua residual doméstica.

La composición de las aguas residuales de un rastro o matadero depende, fundamentalmente, de la especie que se procesa. En general, contienen sangre, excremento, contenido ruminal o estomacal, grasa, pelos, plumas y huesos (Signorini *et al.* 2006).

El tratamiento de aguas residuales consiste en la desinfección de las aguas contaminadas para preservar el medio ambiente y propiciar una mayor disponibilidad de este recurso, este proceso se lleva a cabo mediante operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico siendo el tratamiento

biológico uno de los más importantes. Las aguas residuales pueden contener grandes cantidades de materia orgánica, por lo que es importante el uso de microorganismos para la degradación y descomposición de dicha materia orgánica (Rocha, 2014). Uno de los tipos de tratamiento biológico es aquel donde los microorganismos se encuentran adheridos a una superficie, llamado sistema de biomasa fija. Los sistemas de biomasa fija presentan diferentes ventajas entre las cuales destacan, 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 (Otero, 2003). Los microorganismos generalmente construyen y viven en conglomerados o comunidades celulares conocidas como biopelículas (Branda *et al.*, 2005). La estructura química y fisiología de las biopelículas varían de acuerdo con la naturaleza de las especies que la conforman y del medio ambiente donde se encuentra.

Los soportes para la formación de biopelícula se clasifican en naturales y sintéticos. Dentro de los sintéticos están los hechos con polietileno, porcelana, poliuretano, grafito, nanofibras de carbono, entre otros, así como mezclas de polímeros. La espuma de poliuretano, el grafito y las nanofibras han sido ampliamente utilizados como soporte en el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales municipales, industriales y del rastro, dando un amplio campo en la experimentación.

Esta 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 (PU)/nanofibras de carbono (CNF)/grafito (G). Donde se varió el porcentaje de CNF desde 100, 70, 50 y 0 % en peso, en un contenido total de CNF/G del 1 % en peso.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Evaluar el tratamiento de agua residual de rastro en un sistema de biopelícula anaerobia utilizando soportes de poliuretano/nanofibras de carbono/grafito (PU/CNF/G).

Objetivos específicos.

1. Inmovilizar microorganismos en los soportes de PU/CNF/G para la formación de biopelículas bacterianas en un sistema anaerobio.
2. Evaluar los soportes de PU/CNF/G para el tratamiento de aguas residuales del rastro en un sistema por lotes a escala laboratorio.

HIPOTESIS

La aplicación de soportes porosos de poliuretano/nanofibras de carbono/grafito (PU/CNF/G) con diferentes relaciones en % de CNF/G (100/0, 50/50, 70/30 y 0/100, a un 1 % en peso de material carbonoso en los soportes, promoverán mayor remoción de la materia orgánica contenida en el agua residual del rastro respecto a los soportes sin CNF/G (testigos).

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 RECURSO HÍDRICO

En México, donde el agua es considerada una cuestión de estrategia y seguridad nacional, hoy se ha convertido en un componente central de la política ambiental y, además, un componente importante de la política de desarrollo social y la política económica. En México, el agua de ríos, lagos y mantos acuíferos es de propiedad estatal y está administrada por el poder ejecutivo (CONAGUA, 2006).

Si bien se ha demostrado que el agua es un elemento esencial para la vida de todos los seres vivos de este planeta, junto con un derecho humano básico, es fácil creer que siempre estará en abundancia, sin embargo, el agua dulce (las cosas que bebemos y utilizamos para nuestros campos de cultivo) es increíblemente rara. El 97.2% del agua en el planeta Tierra es salina y solo el 2.5% corresponde a agua fresca; de ese 2.5%, 30% es subterránea, 68% está en los glaciares y otras capas de nieve y solo el 1.2% es superficial y se encuentra en ríos, lagos y otras formas de agua de superficie (Gómez Duarte, 2018).

Se estima que el 20% de los acuíferos mundiales está siendo sobreexplotados lo que tendrá graves consecuencias, como el hundimiento del suelo y la intrusión de agua salada.

Como se muestra en la Figura 1.1, México recibe alrededor de 1,449,471 millones de metros cúbicos de agua cada año en forma de lluvia. De esta agua, se estima que el 72,1% se evapora y regresa a la atmósfera, el 21,4% desemboca en ríos o arroyos y el 6,4% restante se filtra naturalmente bajo tierra y recarga los mantos acuíferos. Tomando en cuenta los flujos de salida (exportaciones) y de entrada

(importaciones) de agua con los países vecinos, el país anualmente cuenta con 451,585 millones de metros cúbicos de agua dulce renovable (CONAGUA, 2018).

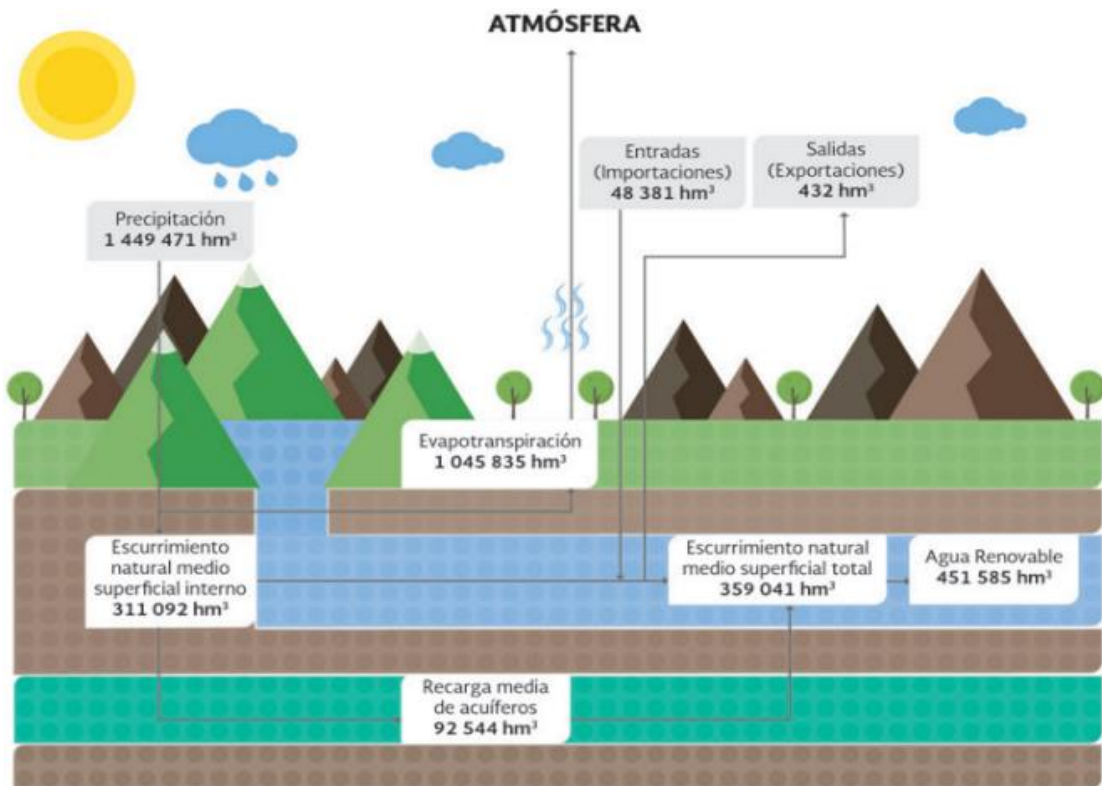


Figura 1.1 Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México (CONAGUA, 2018).

Muchos sistemas de suministro de agua se utilizan para mantener el bienestar de los ecosistemas y con ello alimentar a la población en aumento. Desafortunadamente, en los últimos años se han visto sometidos a una gran presión, los ríos, lagos y acuíferos se han agotado de forma alarmante o se han contaminado demasiado para ser explotados. Más de la mitad de los humedales del mundo han desaparecido. La agricultura consume más agua que cualquier otra fuente y desperdicia la mayor parte debido a una gestión ineficiente.

Como resultado, alrededor de 1,100 millones de personas en todo el mundo carecen de acceso al agua y un total de 2,700 millones de personas enfrentan escasez de agua durante al menos un mes al año. El saneamiento inadecuado

también es un problema para 2,400 millones de personas siendo vulnerables a enfermedades como el cólera, la fiebre tifoidea y otras enfermedades transmitidas por el agua.

Al ritmo actual de consumo, la situación solo empeoraría. Para 2025, dos tercios de la población mundial podrían enfrentar escasez de agua. Y los ecosistemas de todo el mundo se verán más fuertemente afectados (UNESCO, 2020).

1.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La humanidad se enfrenta actualmente a un gran problema en términos de cantidad y calidad del agua. La población sigue creciendo y la mala gestión ha provocado que aproximadamente una quinta parte de la población mundial (6 mil millones de personas) en una gran escasez de agua, y otro cuarto de la población mundial (1,600 millones) enfrenta recortes en el suministro de agua debido a que carecen de la infraestructura necesaria para tomar agua de los ríos y acuíferos (ONU, 2005).

No fue hasta la revolución industrial, iniciada a principios del siglo XIX, que junto a la escasez de agua se presentó con más notoriedad el problema de contaminación, el vertimiento incontrolado de aguas residuales, hacia los cuerpos de agua ha causado una gran alteración en los ecosistemas anteriormente no se veía el problema, pero las fuentes de agua (ríos, acuíferos, lagos, mar), han sido incapaces por sí mismas para absorber y neutralizar esta carga contaminante. Lamentablemente por ello estas masas de agua han perdido sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada, que responda al equilibrio ecológico que de ellas se espera para preservar los cuerpos de agua. Como resultado, pierden aquellas condiciones mínimas que les son exigidas para su racional y adecuado aprovechamiento como fuentes de abastecimiento de agua, como vías de transporte o fuentes de energía (Pimentel, 2020). Además de los vertidos realizados por las industrias se

encuentran las deforestaciones las cuales originan la aparición de sedimentos y bacterias bajo el suelo y la consiguiente contaminación subterránea.

Los principales contaminantes del agua incluyen bacterias, virus, parásitos, fertilizantes, pesticidas, fármacos, nitratos, fosfatos, plásticos, desechos fecales y hasta sustancias radiactivas. Estos elementos no siempre tiñen el agua, haciendo que la contaminación hídrica resulte invisible en muchas ocasiones (Iberdrola, 2020).

Esta situación se ha repetido en todos los países industrializados avanzados, e incluso si la tecnología logró reducir la cantidad y el tipo de contaminantes emitidos a las vías fluviales naturales, esto no ha ocurrido ni en la forma ni en la cantidad necesarias para que el problema de contaminación de las aguas esté solucionado (SIMAS, 2020).

En la actualidad, aproximadamente el 40% de las tierras de las cuencas hidrográficas urbanas de las mayores ciudades del mundo muestran niveles de degradación de altos a moderados. Esta degradación afecta la calidad y fiabilidad presente y futura de los flujos de agua (Erickson, 2017).

Como se ha mencionado anteriormente la contaminación del agua es un problema que aqueja a la población, además de ser en gran medida la causante de enfermedades por lo que es importante hacer una clasificación de estas aguas respecto a su contaminación para poder sobrellevar soluciones adecuadas para la eliminación de contaminantes y su posterior reutilización.

La primera clasificación del agua es la polisaprobica: agua que está fuertemente contaminada con carbono orgánico, caracterizada por una población de organismos específicos y normalmente con una concentración muy baja e incluso en total ausencia de oxígeno. La segunda clasificación es la mesosaprobica: los organismos que viven en medios con una cantidad moderada de materia orgánica y variable cantidad de oxígeno en disolución, como algunas algas clorofíceas. Y, por último, se encuentra la oligosaprobica: zonas de vertido de

aguas residuales a un río, donde las aguas han alcanzado el aspecto y características de su estado natural.

La contaminación de agua se genera por diferentes tipos de vertidos: aguas de proceso, aguas fecales y aguas blancas. El primero es un vertido del proceso productivo, con lo que su carga contaminante va a depender de la actividad industrial. El segundo es generado en los aseos y asimilables a aguas residuales domésticas. Y el último, se les suele llamar “aguas crudas” por su carácter previo a la potabilización. Su importancia está en que son la base de la producción de agua para el consumo humano masivo (Rivera, 2017).

1.3 AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales tienen una composición variada proveniente de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (SEMARNAT, 2016).

El agua residual está conformada de componentes físicos, químicos y biológicos:

Físicos: los componentes y parámetros físicos de las aguas residuales son el color, el olor, los sólidos y la temperatura.

Químicos: los componentes químicos más comunes en las aguas residuales son:

- Orgánicos: carbohidratos, grasas animales, aceites, pesticidas, fenoles, proteínas, contaminantes prioritarios, agentes tensoactivos, compuestos orgánicos volátiles, etc.
- Inorgánicos: alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, PH, fósforo, contaminantes prioritarios y azufre.
- Gases: sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno.

Biológicos: los componentes biológicos más habituales en las aguas residuales son animales, plantas y microorganismos patógenos.

Se solía decir que "la solución a la contaminación es la dilución". Cuando se descargan pequeñas cantidades de aguas residuales en un cuerpo de agua que fluye, se produce un proceso natural de auto purificación de la corriente. Sin embargo, las comunidades densamente pobladas generan cantidades exorbitantes de aguas residuales que la dilución por sí sola no evita la contaminación. Esto hace que sea necesario tratar o purificar, aguas hasta cierto punto antes de su eliminación (Rojas, 2002).

1.4 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

1.4.1 Agua residual de rastro

Las aguas residuales de los rastros se caracterizan por contener altas concentraciones de proteínas, grasas, aceites, sólidos suspendidos y otros productos de la industria de la carne, así como presentar pH básicos. La disposición efectiva de este tipo de aguas ha tomado gran importancia debido a los requerimientos normativos tan estrictos considerados para la calidad de los efluentes (Rodríguez *et al.*, 2002).

El impacto que causan a las aguas superficiales la descarga de las aguas residuales de los rastros sin tratar es destructivo: agota el oxígeno disuelto y, además aumenta significativamente la turbidez, promueve el crecimiento de algas y otras plantas verdes evitando que la luz solar llegue y no poder realizar la fotosíntesis. Debido a la alta concentración de contaminantes orgánicos, esto hace que cada litro de agua residual proveniente de un rastro equivalga a la contaminación aportada por 60 personas (Castañeda *et al.*, 2007).

1.4.2 Agua residual urbana

las aguas residuales urbanas se originan a causa de: excretas, arrastres de lluvia, residuos domésticos, infiltraciones y residuos industriales.

Los principales contaminantes que aparecen en las aguas residuales urbanas son: objetos gruesos, arenas, grasas y aceites, sólidos en suspensión. Sustancias con requerimientos de oxígeno, nutrientes (nitrógeno y fósforo). Contaminantes emergentes o prioritarios, composición biológica (vegetales, microorganismos, etc).

Las aguas residuales urbanas se consideran un material peligroso que debe desinfectarse para apoyar la salud pública y proteger el medio ambiente (Rodríguez, 2015).

1.4.3 Agua residual industrial

Las aguas residuales industriales no son solo un subproducto de las empresas de fabricación de petróleo y gas o de minería y productos químicos, sino también un subproducto de las industrias de procesamiento de alimentos y bebidas, de confección de la ropa, calzado, computación y del ramo automotriz.

Las aguas residuales industriales presentan una gran cantidad de contaminantes donde los metales pesados son los principales, tales como el cromo, níquel, cadmio, plomo y mercurio. Estas sustancias tóxicas tienden a persistir indefinidamente en el medio ambiente, comprometiendo el bienestar y equilibrio no solo de la fauna y la flora existente en dicho ecosistema, sino también de la salud de las personas residentes en las comunidades aledañas, mediante su acumulación e ingreso a la cadena trófica (Tejada-Tobar *et al.*, 2014).

1.5 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación, así como la de las características no deseables de las aguas,

bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras (Muñoz, 2008).

Para su debido proceso es necesario, pasar por varios tipos de tratamientos que se mencionaran a continuación, con la intención de dar el adecuado proceso a las aguas residuales recolectadas.

1.5.1 Tratamiento físico

El tratamiento físico es aquel que permite eliminar los sólidos en suspensión presentes en el agua. Los principales procesos fisicoquímicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación y filtración.

Sedimentación: Es un 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 (Figura 1.2). Está en función de la densidad del líquido, del tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas contenidas (Hervás, 2000).

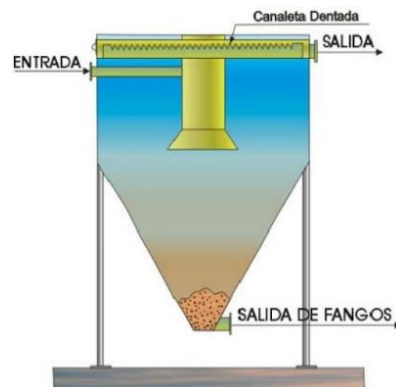


Figura 1.2 Tanque de sedimentación (Boris, 2020).

Flotación: proceso físico fundamentado en la diferencia de densidades. La flotación permite separar la materia sólida o líquida de menor densidad que la del fluido, por ascenso de ésta hasta la superficie del fluido, ya que, en este caso, las fuerzas que aplicadas hacia arriba (rozamiento y empuje del líquido) superan a la fuerza de la gravedad. Se generan pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, donde son arrastradas y sacadas del sistema (Figura 1.3).

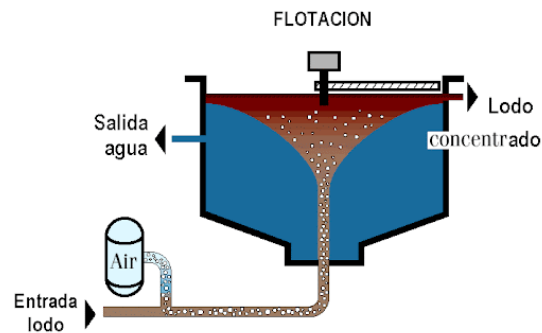


Figura 1.3 Esquema de flotación (Quirós, 2009).

Filtración: La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión (Figura 1.4). El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable (ACUATECNICA, 2018).

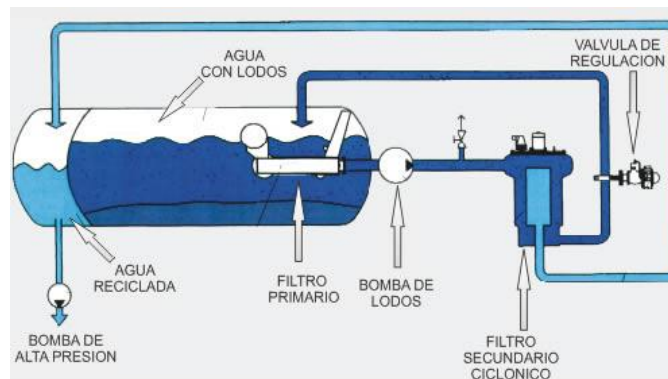


Figura 1.4 Esquema de Filtración (SPENA, 2016)

1.5.2 Tratamiento químico

El tratamiento químico ahora se considera un tratamiento terciario que puede definirse de manera más amplia como "tratamiento de aguas residuales mediante un proceso que implica un tratamiento químico".

Los productos químicos especializados como el cloro, el peróxido de hidrógeno, el clorito de sodio y el hipoclorito de sodio (lejía) actúan como agentes que desinfectan, higienizan y ayudan en la purificación de las aguas residuales en las instalaciones de tratamiento (Thomas, 2021).

Los procesos de tratamiento químico más implementados son: precipitación química, neutralización, adsorción, desinfección (cloro, ozono, luz ultravioleta) e intercambio iónico (Samer, 2015).

1.5.3 Tratamiento biológico

El tratamiento biológico de aguas residuales está diseñado para degradar los contaminantes disueltos en los efluentes por la acción de microorganismos. Los microorganismos utilizan estas sustancias para vivir y reproducirse. Los contaminantes se utilizan como nutrientes. Sin embargo, un requisito previo para tal actividad de degradación es que los contaminantes sean solubles en agua y no tóxicos. El proceso de degradación puede tener lugar en presencia de oxígeno (tratamiento aeróbico) o en ausencia de oxígeno (tratamiento anaeróbico). Ambos principios naturales del tratamiento de efluentes dan lugar a diferencias fundamentales en los procesos técnicos y económicos involucrados (Jung, 2011).

1.5.3.1 Procesos aeróbicos

El tratamiento aeróbico se aplica típicamente para tratar de manera eficiente aguas residuales de baja concentración o demanda química de oxígeno (DQO) $DQO < 1000 \text{ mg / L}$.

La descomposición de la materia orgánica por vía aerobia se divide en: hidrólisis de las moléculas orgánicas complejas en sus respectivos monómeros, la descomposición de estos monómeros en intermediarios comunes y en la realización del ciclo de Krebs y la cadena respiratoria, en donde el aceptor final de electrones es el oxígeno molecular, para formar agua como producto final, junto con el bióxido de carbono y el amoníaco.

La tecnología del tratamiento de aguas residuales por vía aerobia está bien desarrollada y es sin duda la más comúnmente aplicada. La experiencia acumulada y las altas eficiencias en la remoción de materia orgánica son algunas de las razones de su aceptación (Moeller, 2004).

Sin embargo, en los procesos catabólicos oxidativos requiere de la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no está presente en las aguas residuales, por lo que 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 (Rodríguez, 2011).

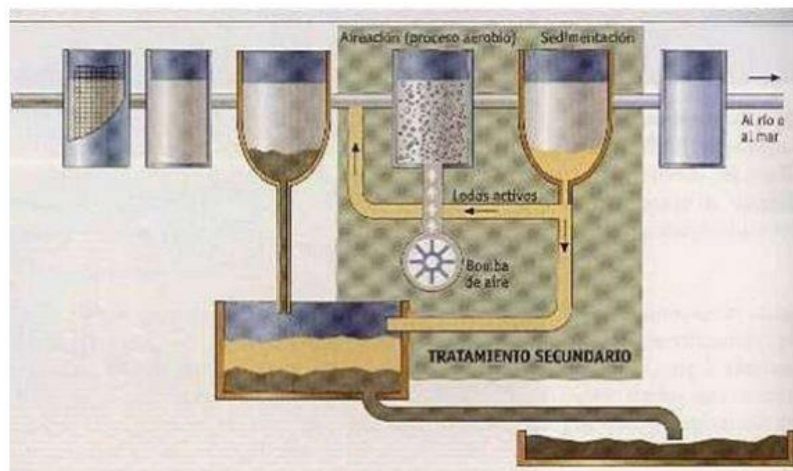


Figura 1.5 Principio del tratamiento aeróbico (CONDORCHEM, 2021).

1.5.3.2 Procesos anaeróbicos

El tratamiento anaeróbico de aguas residuales es un proceso de tratamiento biológico en el que los organismos, especialmente las bacterias descomponen el material orgánico de las aguas residuales en un entorno sin oxígeno.

La digestión anaeróbica es un proceso de tratamiento de aguas residuales bien conocido. Para la digestión anaeróbica eficaz de materiales orgánicos se evita la entrada de aire en los tanques donde se lleva a cabo el proceso, dando paso a que durante la digestión anaeróbica, se produzcan metano y dióxido de carbono, el metano es un biogás, por lo tanto el proceso de digestión anaeróbica se puede utilizar para producir biogás que se puede utilizar para producir energía (Figura 1.6).

El proceso de tratamiento anaeróbico de aguas residuales se produce a través de cuatro pasos principales: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Todos estos pasos están gobernados por microorganismos anaeróbicos, especialmente bacterias y arqueas (Samanthi, 2017).

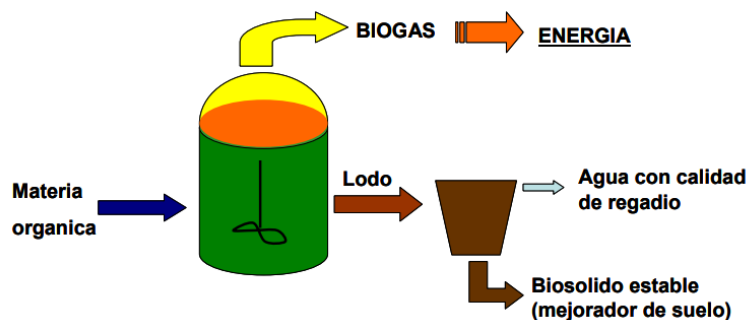


Figura 1.6 Esquema del proceso de digestión anaerobia (Vivanco, 2018).

Ventajas del proceso anaeróbico

Las grandes ventajas del tratamiento anaeróbico con respecto a la modalidad aeróbica son las siguientes:

Como la estabilización anaeróbica proporciona a las células poca energía, su crecimiento es relativamente bajo. De esta forma la producción de lodos es mucho menor que en el caso aeróbico, con mayor sencillez en su operación y mantenimiento.

Los requerimientos de nutrientes en el proceso anaeróbico son mucho menores que en el aeróbico, permitiéndose una mayor cobertura de aplicabilidad práctica de estos sistemas sobre el segundo.

Como no es necesaria la aeración, los costos operativos son mucho menores, así como los de mantenimiento. Con un adecuado aprovechamiento de la topografía y carga hidráulica disponible es posible contar con tratamiento anaeróbicos compactos, sin requerimientos de bombeo y adecuada eficiencia en remoción de contaminantes orgánicos, especialmente en aguas residuales de concentración orgánica elevada.

El gas metano producido en condiciones de equilibrio del proceso puede ser reutilizado como fuente energética. Es aquí donde surge el concepto de "biodigestores para aprovechamiento energético" (Manuel, 2007).

1.5.3.3 Procesos anóxicos

Los procesos anóxicos son útiles para realizar el proceso de desnitrificación cuando la contaminación principal viene producida por altas concentraciones de nitrógeno. La eliminación de nitrógeno es un proceso de dos etapas que en primera instancia requiere la nitrificación en un ambiente aerobio, seguido de la desnitrificación en un ambiente anóxico. Como todas las reacciones biológicas, éstas son afectadas por condiciones específicas en el reactor, que incluyen el pH, la temperatura del agua, la concentración de oxígeno disuelto (OD), el tipo y concentración de sustrato, y la presencia o ausencia de sustancias tóxicas inhibitoras (Ortiz-Marín, 2019).

1.6 SOPORTES Y BIOPELICULAS

1.6.1 Soportes

La función del soporte o también conocido como relleno, es brindar una superficie que propicie la adhesión de microorganismos y el desarrollo de una biopelícula activa, al mismo tiempo que garantice el atrapamiento en los espacios vacíos del reactor, evite obstrucciones y la formación de zonas muertas (Lapo, 2014).

En el soporte, el agua residual pasa por medio del soporte y los microorganismos permanecen suspendidos entre los espacios de este; permitiéndoles la degradación rápida de los contaminantes orgánicos y a su vez, recaudar el biogás de la superficie, suministrando áreas para la sedimentación de los sólidos que están en suspensión (Sanz, 2008). La tasa de colonización de las bacterias está influenciada por la rugosidad, porosidad y tamaño de poro del medio (Chaux & Zambrano, 2011).

El tipo de material del soporte influye en la remoción de contaminantes, usualmente se prefiere materiales con baja densidad, ya que genera la expansión del lecho hasta en un 100% bajo tasas de recirculación apropiadas para los diferentes sistemas (Saucedo, 2008). Actualmente se implementan diversidad de soportes naturales como el tezontle, bambú, ixtle, coyonoxtle. Sintéticos como el polietileno, resinas, hule espuma, etcétera (Saucedo *et al.*, 2008; Zheng *et al.*, 2009; Borghei *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2009), una ventaja de la utilización de soportes plásticos es que estos permiten conocer con más exactitud el área superficial que se está manejando respecto a los soportes naturales, lo que permite tener una aproximación más exacta de la cantidad de biomasa presente en el reactor biológico. Algunas de las características que deben de tener los soportes son principalmente; tener alta resistencia, garantizando un lapso de tiempo prolongado en cuanto a su vida útil; ser biológicamente inertes, impidiendo las diferentes reacciones de los microorganismos con el soporte (Ojeda & Buitron, 2001); poseer una porosidad y rugosidad alta, brindando la capacidad de adherencia necesaria en la biopelícula; estar disponibles en el

mercado; y por último, un costo económicamente bajo, generando que el proyecto sea viable (Lapo, 2014).

1.6.2 Biopelículas

Las biopelículas varían de acuerdo con las naturalezas de las especies que la conforman y del medio ambiente donde se encuentran, ofreciéndoles a los microorganismos protección contra agentes dañinos y las variaciones climáticas del medio ambiente. Han cobrado importancia en el tratamiento de agua residual debido a que la concentración de biomasa adherida a una biopelícula es entre 9 y 10 veces más que la que se produce en un cultivo en estado líquido (Marquez, 2017).

La formación de una biopelícula comienza con la acumulación de nutrientes en una superficie debido a la porosidad del material, a las interacciones electrostáticas, a fenómenos de adsorción y a factores electroquímicos, que permiten un aumento en la concentración de nutrientes (Bnetton,2007).

Donlan, en 2002 describió las biopelículas como una comunidad microbiana sésil, los cuales se caracterizan por tener células adheridas irreversiblemente a una interfase (Donlan, 2002). Se encuentran confinadas en una matriz de sustancias extracelulares que ellas han producido. A su vez, se estableció que la biopelícula es una estructura compleja con canales de agua y aireación, para el transporte de nutrientes, desechos, oxígeno y agua (Lapo, 2014).

Se reconocen 5 etapas en el desarrollo de biopelículas (Figura 1.7):

1. Acondicionamiento de la superficie en la primera etapa las bacterias detectan ciertos parámetros ambientales; disminución o aumento de la disponibilidad de nutrientes y de hierro, cambios en la osmolaridad, el PH, la tensión de oxígeno y la temperatura, que disparan la transición de la forma planctónica (libres) a un crecimiento sobre una superficie.

2. Unión reversible: en la segunda etapa tras el acondicionamiento de la superficie ocurre la deposición y las bacterias se adhieren a superficies bióticas tales como substratos sólidos.
3. Unión irreversible: Las células bacterianas se multiplican produciendo una matriz extracelular conocida también como SPP (sustancia polimérica protectora). En esta etapa se incluye la división celular.
4. Maduración: lleva a cabo el desarrollo de puentes célula-a-célula que las unen unas a las otras, lo que estabiliza la estructura formada La unión celular protege a la biopelícula de las condiciones ambientales y da paso a la colonización de la superficie, en esta etapa las bacterias adheridas crecen formando micro colonias que son consideradas las unidades fundamentales de una biopelícula.
5. Desprendimiento: en la última etapa del desarrollo de la biopelícula los grupos de bacterias o las bacterias libres pueden desprenderse de la biopelícula en un proceso llamado dispersión o desprendimiento. Este proceso es estimulado por fuerzas mecánicas. En esta etapa también las biopelículas maduras excretan continuamente bacterias, micro colonias y fragmentos de biopelícula, que puede dispersarse y adherirse a otras regiones (Bautista, 2017).

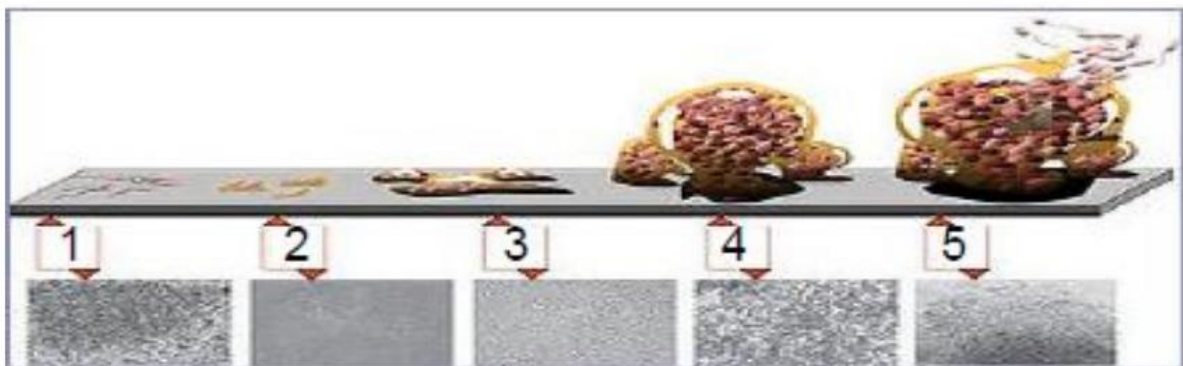


Figura 1.7 Etapas del desarrollo de la biopelícula bacteriana (Méndez, 2020).

1.6.3 Ventajas de las biopelículas

Algunas de las ventajas de las biopelículas es que se encuentran en ambientes resguardados y tienen mejor captación de nutrientes. Cuentan con protección frente a sustancias tóxicas y biácidas, con un metabolismo más activo, ayudándole a un mayor crecimiento. Los microorganismos interactúan entre ellos. Existe la posibilidad del intercambio de material genético y metabólico (Costerton *et al.*, 1999).

Entre otros impactos positivos de las biopelículas se podría mencionar la depuración por humedales destruidos, biorremediación de zonas contaminadas, biodegradación y biobarreras protectoras.

1.6.4 Desventajas de las biopelículas

Dentro de las desventajas de una biopelícula hacemos referencia en el tema de la industria, ya que los microorganismos que la constituyen son muy difíciles de erradicar, por lo general, la formación de biopelículas causa efectos perjudiciales en varias áreas, incluida la fabricación industrial, el medio ambiente, la seguridad alimentaria y salud. Muchas infecciones crónicas están estrechamente relacionadas con el estado de la biopelícula, y la colonización bacteriana de dispositivos médicos e implantes como catéteres, lentes de contacto, válvulas cardíacas mecánicas e implantes dentales pueden provocar infecciones relacionadas con dispositivos. Las biopelículas formadas en líneas de producción industriales, intercambiadores de calor y superficies de trabajo provocan corrosión y daños a la maquinaria, así como contaminación de materias primas y productos. Además, las biopelículas formadas en las instalaciones de procesamiento de alimentos pueden contaminar los productos alimenticios, contribuyendo a los brotes de enfermedades transmitidas por los alimentos. Por lo anterior las industrias deben tener implementados muy buenos programas de limpieza y desinfección para su eliminación (Fang, 2020).

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

El presente experimento se realizó en el laboratorio de Biología General, perteneciente al Departamento de Botánica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México a los 25°21´13´´ latitud norte, 101°02´01´´ longitud oeste y a una altura de 1758 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura que oscila entre los 5 °C – 29 °C.



Figura 2.1 Localización geográfica del sitio experimental (Novokhatnia, 2020).

2.2 MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

Para la realización del proyecto se requirieron los siguientes materiales:

- Solución de sulfato de plata – ácido sulfúrico
- 30 reactores batch con tapa rosca de 250 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 anaeróbicos
- Mechero de bunsen
- Micropipeta manual de volumen variable
- Probetas 200 ml
- Soportes de PU con y sin partículas de carbono
- Sulfato de plata
- Termoreactor HACH DRB 200
- Tubo de microcentrífuga
- Tubos HACH con rosca de 10 ml
- Vasos de precipitación 2 l

2.3 METODOLOGÍA

2.3.1 Inmovilización de microorganismos en soportes

Los soportes para las biopelículas fueron cortados aproximadamente de 1 cm³ y se utilizó 1 g de cada soporte por cada reactor utilizado. Cada tratamiento se realizó por triplicado. Como reactores se utilizaron frascos de laboratorio GL 45 . de 250 ml (Figura 2.2). A los cuales se les adicionaron 100 ml de agua residual del rastro sin tratamiento previo, se adicionaron 20 ml de lodo anaerobio para la

formación de la biopelícula. Estos reactores fueron dispuestos con esta mezcla durante un periodo de 30 días en los cuales fueron agitados ligeramente en pequeños lapsos de 3 veces por semana, esto con la intención de homogenizar el desarrollo de la biopelícula. El experimento fue realizado a temperatura ambiente en los meses de agosto a septiembre de 2021.



Figura 2.2 Reactores con los diferentes tipos de soportes en la formación de la biopelícula.

2.3.2 Cinética de remoción de materia orgánica en reactores de sistemas por lotes

Terminando el periodo de formación de la biopelícula se procedió a remover el medio presente en los reactores de sistemas por lotes, tanto el agua como el exceso de lodo, posteriormente se enjuago ligeramente los soportes con agua destilada para remover remanentes de agua residual y lodos. Enseguida se agregó agua residual del rastro sin tratamiento, se agitó y se tomó una muestra de un 1ml del agua residual contenida en cada reactor para ser depositado en tubos de microcentrífuga, un total de 30 muestras fueron recolectadas para su posterior análisis. Se tomaron muestras cada tercer día y se siguieron los mismos pasos hasta llegar a una meseta de remoción.

2.3.3 Técnica para determinar la demanda química de oxígeno

Para determinar la demanda química de oxígeno que consiste en el principio de oxidación de materia orgánica por medio del 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 el agua.

Los reactivos utilizados para la determinación de la DQO fueron: solución de sulfato de plata – ácido sulfúrico (3.5 ml), dicromato de potasio (1.5 ml), agua destilada (2.25 ml), agua residual del rastro (0.25 ml).

Los materiales utilizados en la determinación de la DQO fueron: termo reactor, tubos con tapón de rosca (Hach), espectrofotómetro UV-Vis/600 nm.

Mientras que se realizó la preparación de los tubos de ensayo, conformado por los reactivos: dicromato de potasio, sulfato de plata-acido, agua destilada y agua residual del rastro, fue necesario repetir este paso intercambiando la cantidad de agua residual por agua destilada para la elaboración de tubos de ensayo blancos utilizados como referencia para calibración del equipo, posteriormente, se procedió a precalentar el termo reactor a una temperatura adecuada (150 C°). Se agitó las muestras lentamente para la homogeneización de los componentes. Enseguida, se colocaron los tubos en el termo reactor durante 2 horas. Transcurrido este tiempo se sacaron los tubos y se dejaron enfriar a temperatura ambiente, para después leer la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 600 nm.

2.3.4 Diseño experimental

En la tabla 2.1 se muestra los tratamientos (soportes) que fueron utilizados durante el periodo experimental en el tratamiento del agua residual de rastro. De cada tratamiento se contó con un total de tres repeticiones para cada tipo de

soporte, por lo cual se tuvieron un total de 30 reactores por lotes para la experimentación.

Tabla 2.1 Tratamientos utilizados en el experimento.

Soportes	
PU 1 Asiento	PU 2 Figura
T1 Blanco	T6 Blanco
T2 CNF 1.0%	T7 CNF 1.0%
T3 CNF/G 50:50 1.0%	T8 CNF/G 50:50 1.0%
T4 CNF/G 70:30 1.0%	T9 CNF/G 70:30 1.0%
T5 G 1.0%	T10 G 1.0%

2.3.5 Microscopia electrónica de barrido (SEM)

Para la observación de la morfología de los distintos soportes se utilizó un microscopio electrónico de barrido modelo JCM 6000 de la marca JEOL el cual se utilizó a una potencia del haz electrónico de 3 V.

2.3.6 Densidad e índice de expansión (EI)

La densidad aparente de los soportes preparados se determinó mediante el calculo del volumen y peso de cubos previamente preparados de 1 cm de lado. Mientras que el (EI) se determinó utilizando la relación de la densidad aparente de polímero compuesto sólido (para todos los soportes fue de 0.989 g/cm³)/densidad aparente de polímero espumado.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 3.1 a y b, se presentan las concentraciones iniciales y finales en g/L de DQO en la cinética de remoción de materia orgánica en reactores por lotes, empacados con soportes de PU/CNF/G, para todos los casos la DQO disminuye en función del tiempo, lo que indica mayor remoción de materia orgánica en función del tiempo. Se logró, también, crear un estado comparativo de cada uno de los tratamientos utilizados. Como se puede observar de forma general en la cinética de los tratamientos donde se utilizó el PU 1 se alcanzó una menor DQO en un periodo de tiempo de 15 días indicativo de mayor remoción de materia orgánica, lo cual se puede asociar a una mayor cantidad de biopelícula en estos materiales.

Sin embargo, en la Figura 3.1 b) se observó una excepción por parte del soporte T9 que presentó la menor DQO y por ende una mayor remoción de materia orgánica. Específicamente, los materiales con menor DQO fueron los soportes T9 CNF/G 70:30 1% y T3 CNF/G 50:50 1%, mientras que los tratamientos con mayor DQO y menor remoción de materia orgánica fueron T7 CNF 1% y T10 Grafito. En este caso la composición y el tipo de PU no permite elucidar el motivo de este comportamiento en los soportes, sin embargo, mediante el análisis de la morfología se podría elucidar dicho comportamiento.

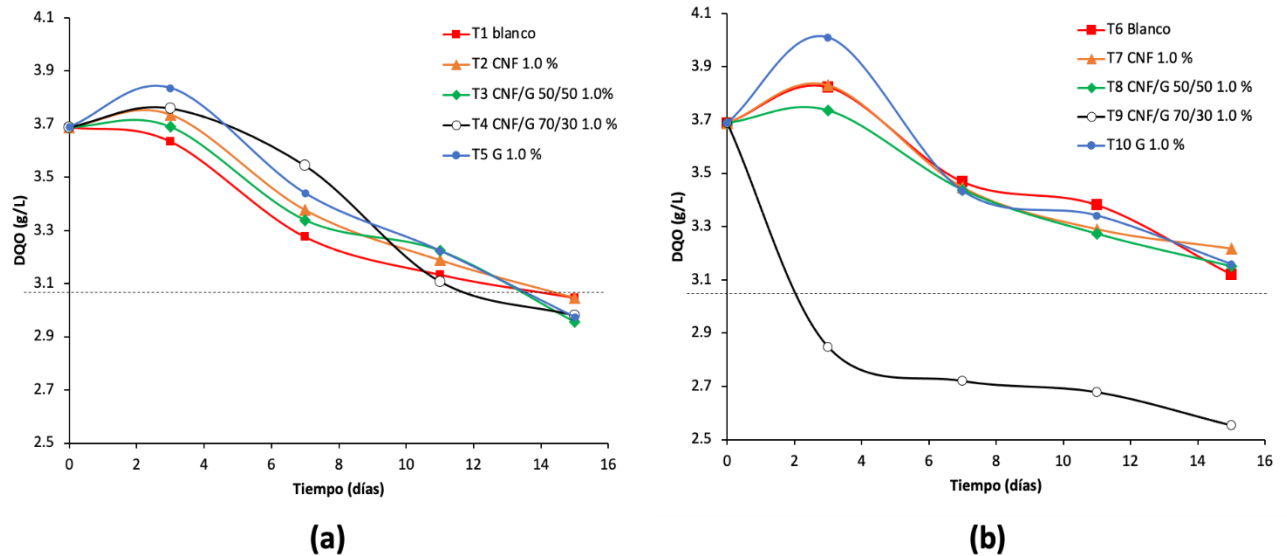


Figura 3.1 Cinética de remoción de materia orgánica en reactores de sistemas por lotes, empacados con soportes de poliuretano/nanofibras de carbono/grafito, a) PU1 y b) PU2.

En la Figura 3.2 se muestra la comparación, en imágenes por microscopía electrónica de barrido (SEM), entre los materiales: T1 blanco y T6 blanco haciendo la comparación correspondiente se puede determinar que el T1 blanco presenta mayor homogeneidad en el tamaño de celda (poro), un mayor tamaño de celda y mayor interconexión entre celdas dando como resultado una mayor área superficial lo que incrementa la cantidad de biopelícula y lo que resulta en una mayor eliminación de materia orgánica dada por una menor DQO. Observando la figura 3.1 a) de la cinética de remoción de materia orgánica se corroboró que el T1 blanco obtuvo un resultado de remoción mayor que el observado para T6 blanco (Figura 3.1b).

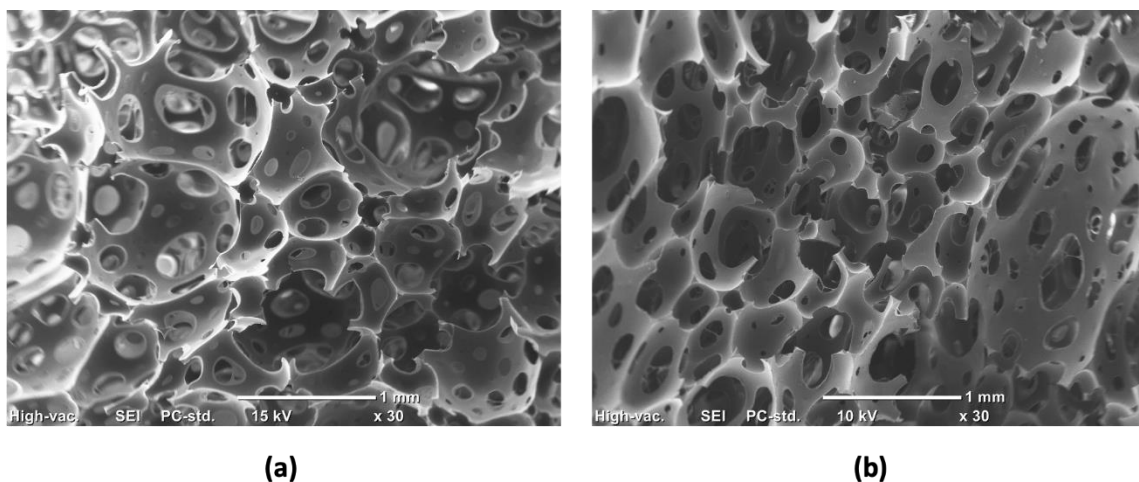


Figura 3.2 Micrografías por SEM de los soportes a) T1 blanco y b) T6 blanco.

Este mismo comportamiento en la cinética de DQO vs Tiempo, se observó para la mayoría de los soportes, los soportes con menor DQO son aquellos realizados con PU1 y esto se puede asociar a la misma morfología mostrada en las Figuras 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6. Todos los soportes a base de PU2 (T6-T10) presentan heterogeneidad en el tamaño de celda (poro), menores tamaños de celda y menor interconectividad y, por lo tanto, una menor cantidad de biopelícula adherida dando como resultado una mayor DQO y menor remoción de materia orgánica, a excepción del tratamiento T9. Sin embargo, es importante analizar la densidad y el índice de expansión (dado por la relación densidad de polímero sólido/densidad de polímero espumado) de todos los soportes ya que esto se asocia a el área superficial disponible para la creación de la biopelícula responsable de la remoción de materia orgánica.

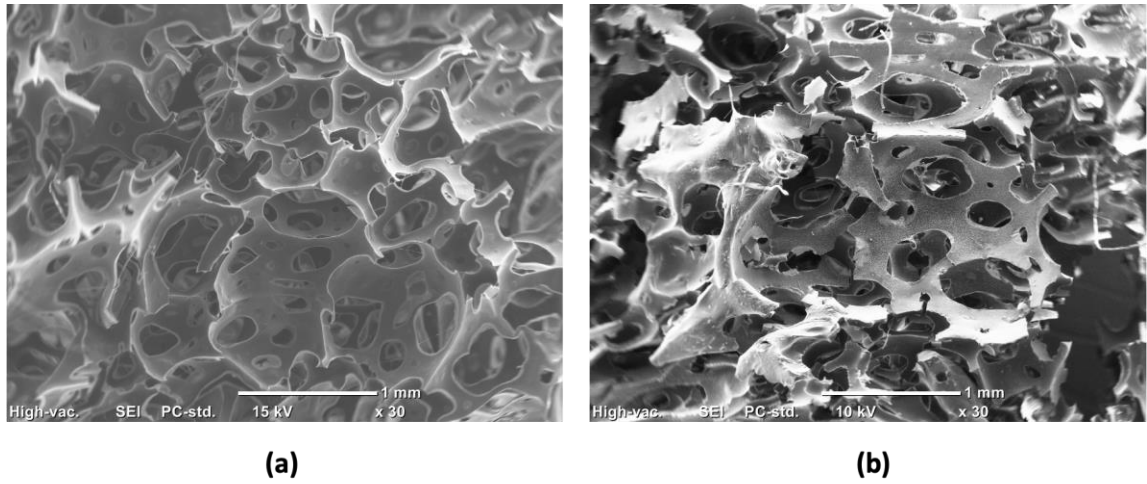


Figura 3.3 Micrográficas por SEM de los soportes a) T2 CNF 1.0 % y b) T7 CNF 1 %.

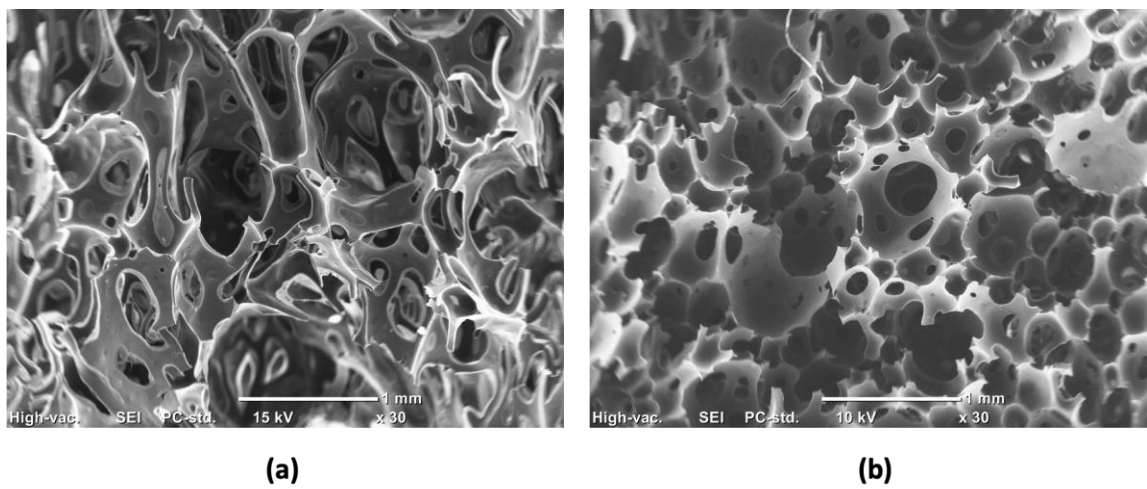
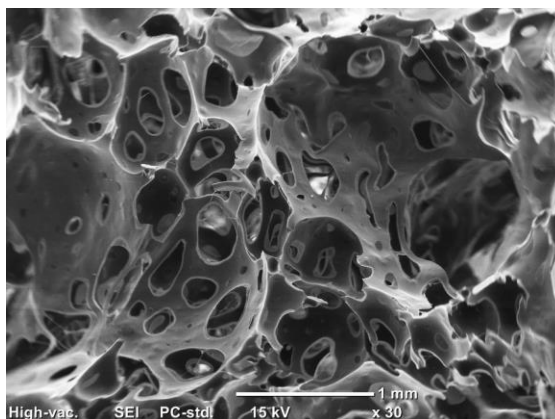
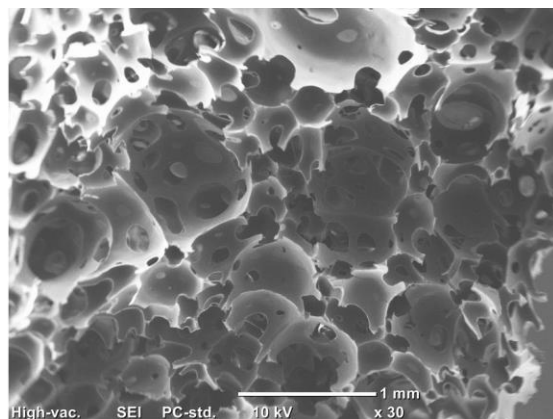


Figura 3.4 Micrográficas por SEM de los soportes a) T3 CNF/G 50/50 1.0 % y b) T8 CNF/G 50/50 1.0 %.

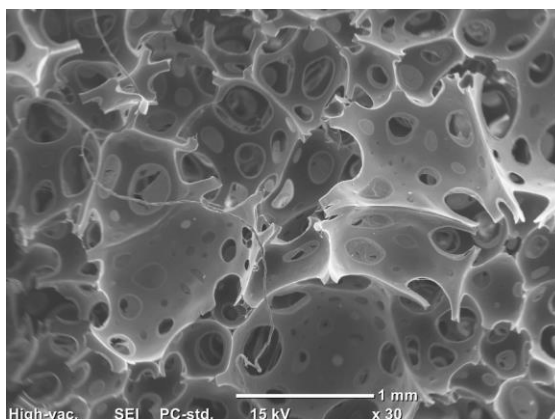


(a)

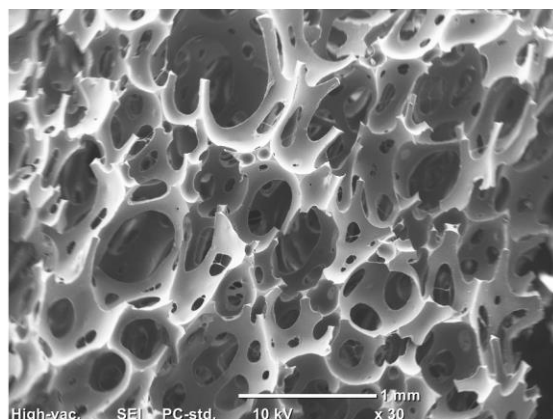


(b)

Figura 3.5 Micrografías por SEM de los soportes a) T4 CNF/G 70/30 1.0 % y b) T9 CNF/G 70/30 1.0 %.



(a)



(b)

Figura 3.6 Micrografías por SEM de los soportes a) T5 G 1.0 % y b) T10 G 1.0 %.

En la Tabla 3.1 se muestran los valores de densidad y el índice de expansión (EI), este último calculado considerando una densidad aparente de 0.989 g/cm^3 del polímero sólido utilizado en los soportes y la densidad aparente de los soportes espumados.

Tabla 3.1 Densidad aparente e EI para los soportes utilizados.

Tratamiento	Densidad (g/cm ³)	EI	Tratamiento	Densidad (g/cm ³)	EI
T1	0.09	11	T6	0.14	7
T2	0.09	11	T7	0.16	6
T3	0.10	10	T8	0.14	7
T4	0.10	10	T9	0.10	10
T5	0.10	10	T10	0.14	7

De la Tabla 3.1 se observó que todos los tratamientos donde se utilizó PU1 presentan una menor densidad y por lo tanto un mayor (EI) lo que corrobora la presencia de una mayor área superficial disponible para la adhesión de la biopelícula, menor DQO y mayor remoción de materia orgánica. Sin embargo, para los tratamientos T4 y T9, se observó, una densidad y un (EI) igual. Si se asocian estos valores con los menores tamaños de celda (poro) para el tratamiento T9 se puede establecer que en este soporte existe una mayor área superficial disponible para la formación de biopelícula y por lo tanto una menor DQO y una mayor remoción de materia orgánica como se observó en la cinética de DQO vs tiempo.



Figura 3.7 Agua residual tratada (Izquierda), agua residual sin tratar (Derecha).

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

1. Todos los soportes a base de poliuretano (PU) actúan favorablemente en la remoción de materia orgánica en función del tiempo de exposición alcanzando valores de DQO mínimo desde 3.2 a 2.55 g/L a un tiempo de exposición de 15 días.
2. Los soportes T1-T5 presentan una menor DQO respecto a los tratamientos T6-T10, a excepción de T9.
3. Para una menor DQO se establecen diversos parámetros incidentes, como el tamaño de celda (poro), la densidad y el índice de expansión (EI). Donde un menor tamaño de celda, menor densidad y un mayor (EI) dan lugar a una menor DQO y por lo tanto a mayor remoción de materia orgánica.
4. Considerando lo anterior se propone realizar más estudios con este tipo de espuma utilizando otro tipo de nanomateriales para su funcionalización

CAPITULO V

BIBLIOGRAFÍA

Bautista, A., Cruz, C., & Suárez, J. G. (2017). *Las bacterias un ejemplo de vida en comunidad. Biociencias*, 1(2).

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), pp. 83-91.

Boris, T. I. T. O. (2020). *4 procesos del Tratamiento Primario de Aguas Residuales. Ingeniería Ambiental*. <https://ingenieriaambiental.net/tratamiento-primario-de-aguas-residuales/>

CONAGUA. (2006). *El agua en México. Edición 2006*.

CONAGUA. (2018). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2018*.

CONDORCHEM. (2021). *Sistemas con reactores aeróbicos para tratar aguas residuales*. Condorchem Envitech. <https://condorchem.com/es/blog/sistemas-con-reactores-aerobicos-para-tratar-aguas-residuales/>

Condorchem. (2021, 1 junio). *Sistemas con reactores aeróbicos para tratar aguas residuales*. Condorchem Envitech. <https://condorchem.com/es/blog/sistemas-con-reactores-aerobicos-para-tratar-aguas-residuales/>

DE, D. D. P. D. E., LAS BIOPELÍCULAS, E. L. B. D., & DE, P. (2013). _ ORIGINAL ARTICLE. *Sharing knowledge. Promoting excellence.*, 32.

Erickson, A. (2017). *Proteger nuestras fuentes de agua trae consigo innumerables beneficios. BID mejorando vidas*. <https://blogs.iadb.org/agua/es/proteger-nuestras-fuentes-de-agua-trae-consigo-innumerables-beneficios/>

Fang, K., et al. (2020). *Control de biopelículas mediante enfoques de biología sintética. US National Library of Medicine*.

Gómez- Duarte, O. G. (2018). *Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública*. Scielo.

Hervás Ramírez, L. (2000). *Técnicas de Prevención de la Generación de Suelos Contaminados (Vol. 1)*. Consejería de Medio Ambiente Junta de Andalucía.

IBERDROLA. (2020). *Contaminación Del Agua*.

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-agua>

Innotec.(2021). *Características de aguas residuales* - Innotec Laboratorios.

<https://www.innotec-laboratorios.es/la-importancia-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales/>

Jung, H. T. W. S. (2011). *Water-Quality Engineering*. ScienceDirect.

<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/biological-wastewater-treatment>

López, F. E. (2013). *Remoción de materia orgánica de aguas desfleadas en un sistema biológico de lecho empacado*. UNAM.

Manuel, E. (2007). *Tratamiento biológico de aguas residuales aplicable a la industria avícola*. Auditoría ambiental.

Márquez, B. F. (2017, 15 marzo). *Reúso de Aguas Residuales Tratadas con un Reactor de Biopelículas Multietapas*. iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/reuso-aguas-residuales-tratadas-reactor-biopeliculas-multietapas>

Méndez, A. (2020). *Nac para infecciones persistentes*. Blog.

<https://www.doctoralbertomendez.com/medicina-funcional/nac-para-infecciones-persistentes>

Micronics, E.F.G. (2021). *what is industrial wastewater & where does it come from*. <https://www.micronicsinc.com/filtration-news/what-is-industrial-wastewater/>

Moeller, G. (2004). *Microbiología de lodos activados*. IMTA.

Ortiz-Marín, A. D. (2019). *Estudio de la biodegradación de altas concentraciones de materia orgánica y nitrógeno total presente en aguas residuales industriales a través de un sistema biológico acoplado a un pretratamiento de oxidación avanzada*. Upemor.

Otero Uribe, L. A. (2003). *Efecto hidráulico de estructuras de soporte de biopelículas en tuberías de alcantarillado* (Master's thesis, Maestría en Ingeniería Civil).

Pimentel, H. R. (2020). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*. iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

Quirós, F. R. (2009). *Lodos producidos en el tratamiento del agua potable. Técnica industrial*. <https://www.tecnicaindustrial.es/lodos-producidos-en-el-tratamiento-del-agua-p/>

Rivera, K. (2017). *Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones* Agua. <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-soluciones/> org.mx

Rocha Maguey, P. (2014). *Avalúo de una planta de tratamiento de aguas residuales* (Master's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla)

Rodríguez Valencia, N. (2015). *Tratamiento de aguas residuales urbanas*. Universidad de Manizales.

Rodríguez, A. (2011). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Universidad el valle, Cali Colombia.

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

Romero-Ortiz, L., et al. (2011). *Uso de hidrófitas y un sistema anaerobio para el tratamiento de agua residual de rastro*. Polibotánica, (31), pp. 157-167.

Samanthi, S. (2017). *Difference Between Aerobic and Anaerobic Wastewater Treatment. Compare the Difference Between Similar Terms.* <https://www.differencebetween.com/difference-between-aerobic-and-vs-anaerobic-wastewater-treatment/>

Samer, M. (2015). *Biological and Chemical Wastewater Treatment Processes.* IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/49024>

SEMARNAT. (2016). *Agua residual.* http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/aproot/compendio_2019/RECUADROS_I_NT_GLOS/D3_GLOS_AGUA.htm

SIMAS. (2020). *La contaminación del agua.* <https://www.simaspiedrasnegras.gob.mx/la-contaminacion-del-agua/>

SPENA. (2016). *Tratamiento Primario del Agua y Aguas Residuales - Sistemas de Filtración.* SPENA GROUP Tratamiento de Aguas Residuales. <https://spenagroup.com/tratamiento-primario-aguas-residuales-sistemas-filtracion/>

Thomas. (2021). *Chemical Treatment of Wastewater Process.* <https://www.thomasnet.com/articles/chemicals/wastewater-chemical-treatment/>

UNESCO. (2020). *Abordar la escasez y la calidad del agua.* <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad>

UNESCO. (2020). *Agua y cambio climático.* <https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020>

Vivanco, E. (2018). *Manual técnico sobre tecnologías biológicas anaerobias aplicadas al tratamiento de aguas y residuos industriales.* CYTED.