

**ANÁLISIS DE BIOPELICULAS APLICADO A LA REMOCIÓN DE CARGA
DE CONTAMINANTES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN EMPRESAS DE BEBIDAS NO
ALCOHÓLICAS**

GEORGETTE VIVIANA QUINTERO RAMOS

**UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.**

2021

**ANÁLISIS DE BIOPELICULAS APLICADO A LA REMOCIÓN DE CARGA
DE CONTAMINANTES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN EMPRESAS DE BEBIDAS NO
ALCOHÓLICAS**

GEORGETTE VIVIANA QUINTERO RAMOS

**Trabajo como requisito para optar al título de Ingeniería Ambiental
Modalidad Análisis Sistemático de Literatura**

**CARLO JULIAN MORENO
ASESOR**

**UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.**

2021



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por darme fortaleza y permitirme abrir oportunidades en mi vida, agradezco a mis padres y mi novio por cada esfuerzo expuesto en mi carrera, gracias a cada maestro por brindarme sus conocimientos los cuales hicieron parte de mi formación, principalmente los profesores Carlos Moreno, Patricia Gutiérrez, Sebastián Tirado y Katherine Cepeda.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	7
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
	2.2.Pregunta de investigación.....	9
3.	JUSTIFICACIÓN.....	10
4.	OBJETIVOS.....	11
	4.1. Objetivo General.....	11
	4.2.ObjetivosEspecíficos.....	11
5.	DELIMITACIÓN DEL PROYECTO.....	12
	5.1. Temática.....	12
6.	MARCO REFERENCIAL.....	12
	6.1. Marco teórico.....	12
	6.1.1. Estructura y componentes de las biopelículas.....	16
	6.1.2. Formación de Biopelículas.....	17
	6.1.3. Representación esquemática de la Biopelícula.....	17
	6.2. Marco conceptual.....	19
	6.2.1.Biorreactores.....	19
	6.2.2.Carga orgánica de contaminantes y concentración.....	19
	6.2.3.Demanda bilógica de oxígeno (DBO ₅).....	19
	6.2.4. Sólidos suspendidos totales.....	20
	6.2.5. Fosforo.....	20

6.2.6. Nitrógeno	20
6.3. Marco legal y normativo	21
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	24
7.1. Tipo de investigación	24
7.2. Metodología	24
7.3. Recolección de información	24
7.3.1 Recursos y propuestos	25
7.3.2. Recurso físico, humano e institucional	25
8. RESULTADOS	26
8.1. Uso de Biopelículas en plantas de tratamientos residuales.....	26
8.1.1. Tratamiento de lecho móvil (MBBR).....	26
8.1.2. Película fija suspendida.	27
8.1.3. Tratamiento de lecho fijo o fluidizado (FBBR).....	27
8.1.4. Película fija sumergido	27
8.2. Medios de soporte.....	28
8.3. Ventajas y desventajas de tratamiento con lecho fijo y móvil en aguas residuales.	29
8.4. Bioprospección	35
8.4.1. Género bacteriano para tratamiento de lecho fijo FBBR.....	36
8.4.2. Contaminantes orgánicos de las empresas de Bebidas no alcohólicas	37
8.5. comparación de sistema de tratamiento con biopelículas con respecto a otros tratamientos biológicos convencionales	40

9. ANÁLISIS	43
10. DISCUSIÓN	47
11. CONCLUSIONES	48
REFERENCIAS	49

INDICES DE TABLAS

<i>Tabla 1 Estudios investigativos con referente a las biopelículas.</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 2 Ventajas de tratamiento de lecho fijo y móvil.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3 Desventajas de tratamiento de lecho fijo y móvil.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 4 Porcentajes de remoción de DQO y DBO con el uso de tratamientos de MBBR y FBBR en aguas residuales con alta concentración de materia orgánica</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 5 Porcentajes de remoción de DQO y DBO con el uso de tratamientos de MBBR y FBBR en aguas residuales con alta concentración de materia orgánica</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 6 Bacterias usadas en tratamientos de lechos fijo para remoción de carga orgánica</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 7 Eliminación de contaminantes orgánicos específicos como nitrógeno, fosforo y carbono orgánico de diferentes bacterias de empresas de bebidas alcohólicas.</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 8 Comparación de diferentes tratamientos biológicos.....</i>	<i>41</i>

INDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Descripción del biofilms, desarrollo e importancia de su estudio. Impacto de las técnicas de nano/micro fabricación en sistemas biológicoas.</i>	18
<i>Ilustración 2 Parámetros fisicoquímicos de la Resolución No. 631 del 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.</i>	22
<i>Ilustración 3 Mezclado en reactores de biopelícula de lecho móvil, el reactor aeróbico el movimiento es causado por la aireación en cambio el anaerobio se usa mezcladores mecánicos.</i>	26
<i>Ilustración 4 Reactor aerobio de lecho fijo sumergido</i>	28
<i>Ilustración 5a) medio de soporte para MBBR (carrier) y b) Medio de soporte para FBBR.</i> ..	28
<i>Ilustración 6 Diseño MBBR b) FBBR</i>	29
<i>Ilustración 7 Esquema teórico de la nitrificación y des nitrificación simultánea en una biopelícula aireada</i>	39
<i>Ilustración 8 Gráfico de porcentaje de remoción de DBO y DQO de ARD con tratamiento FBBR.</i>	44
<i>Ilustración 9 Porcentaje de remoción de diferentes industrias usando reactores de lecho fijo o móvil.</i>	45

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales industriales de empresas de bebidas no alcohólicas contienen materia orgánica natural las cuales son una combinación de hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (CHON) principalmente; con las proteínas (40-60%), los carbohidratos (25-50%) y las grasas y aceites (10%) como grupos más importantes (Romero., 2000), se caracterizan por tener bionutrientes como el fosforo y nitrógeno, esto por el proceso de su producción. (Linares Abner, 2017)

Las aguas residuales industriales ARnD deben ser vertidas a cuerpos de aguas con un debido tratamiento dando cumplimiento a la resolución 631 de 2015 donde se reglamenta todo lo que tiene que ver con vertimiento industriales e indica en que valores debe encontrarse diferentes parámetros como el DBO, DQO, SST entre otros (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , 2015), de no dar cumplimiento a estos requisitos se estaría provocando impacto negativo sobre ecosistemas ya que al tener altos niveles de contaminantes orgánicos provoca la proliferación de algas lo que a su vez aumenta la eutrofización, asimismo altera las propiedades fisicoquímicas del agua como el color, olor, turbiedad, dureza entre otro. (Cubillos, 2019)

Por tal motivo existen diferentes tratamientos de aguas residuales industriales como físicos, químicos y biológicos los cuales tienen unos procesos de transformación de sustancias químicas y operación donde hay un intercambio de energía de tipo físico para la eliminación de contaminantes en el agua, donde existen diferentes fases, la primera es el pretratamiento donde hay un proceso de desbaste, tamizado, desengranado y desarenador, su objetivo es la eliminación de arenas, plástico, grasas y aceites; el tratamiento primario abarca la remoción de solidos sedimentables, flotantes y regulación del pH; el tratamiento secundario se encarga de la eliminación de materia orgánica y sólidos a partir de la degradación con bacterias y decantación secundaria, finalmente se tiene un tratamiento terciario donde se elimina los sólidos en suspensión materia orgánica, residual, nutrientes y patógenos mediante la floculación, filtración, eliminación (N y P) y desinfección. (RIVAS, 2017)

Para aguas que tienen una carga volumétrica alta con concentraciones de DBO y DQO por encima de 500 kg/mes según la normatividad se requiere una remoción mayor a un 80% antes de ser vertidos, por ende es necesario tener tratamientos biológico con fase secundaria y terciaria para lograr esta disminución de materia orgánica, nitrógeno y fósforo (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2019); comúnmente se usan tratamientos con lodos activados, lodos aireados, sistemas de lagunaje, lechos de turba, humedales artificiales y reactores biológicos sin embargo algunos sistemas presentan diferentes dificultades en costos de construcción, de mantenimiento, en eficiencia de remoción, superficie utilizada y personal calificado. (Iberica, Tecnología del plástico, 2021)

Por tal motivo se analiza un sistema de fijación de biopelícula como alternativa para tratamiento de aguas residuales industriales de empresas de bebidas no alcohólicas para la disminución de carga orgánica de contaminantes, basado en una rigurosa revisión bibliográfica donde se obtiene diferentes ventajas y desventajas de este sistema, en ese sentido se estudia los diferentes sistemas de fijación de biopelículas, los microorganismos aptos en remoción de fósforo, nitrógeno y carbono, además de medios de soporte eficientes en la adherencia de biopelículas y la comparación con diferentes tratamientos convencionales.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el sector industrial se producen aguas residuales no domésticas (ARnD) como resultado de la elaboración de sus productos, particularmente las empresas de bebidas no alcohólicas se caracterizan por tener altas concentraciones de materia orgánica debido a la utilización de grandes cantidades de azúcar, además de cafeína, aromatizantes, caramelo, estabilizantes remanentes, uso de detergentes y sustancias químicas ácidas y básicas en la limpieza y desinfección. (Linares Abner, 2017)

La empresa de bebidas no alcohólicas según datos del IDEAM en parámetros como DBO se descargan 12703.4 (kg/mes), de SST es de 13595.7 (kg/mes), con altos niveles de nutrientes como fosforo y nitrógeno, además de concentraciones de carbono orgánico con pH variable, normalmente ácido, que de no ser tratados provocan la proliferación de algas aumentando el riesgo de eutrofización de cuerpos hídricos. (Escuela Organizacional Industrial, 2010)

Es importante aplicar tratamientos eficientes que se caractericen principalmente en la remoción de carga orgánica que es prioridad en este tipo de aguas residual, la reducción de DBO₅ en más de un 80% para dar cumplimiento con la resolución 631 de 2015, donde se determina el límite de descarga de DBO₅ los cuales no debe superar los 400 mg/L por tal motivo se propone el uso de biopelículas en reactores ya sea de lecho móvil MBBR o lecho fijo FBBR, mediante la recolección información se busca obtener ventajas con respecto a otros tipos de tratamientos, asimismo de exponer diferentes géneros bacterianos que por sus características ayudan a la remoción de carga orgánica de contaminantes de aguas residuales.

2.2.Pregunta de investigación.

¿De qué manera las biopelículas ayudarían a la disminución de carga orgánica de contaminantes y por qué debería utilizarse en las plantas de tratamientos de aguas residuales de empresas de bebidas no alcohólicas?

3. JUSTIFICACIÓN

Debido a las dificultades que presenta algunos tratamientos biológicos usados con frecuencia tales como lodos activos donde sus principales desventajas es la generación de lodo residual además del tiempo de depuración son ineficiente que aumentan los costos de operación y mantenimiento. (F. Velasco, 2019). Es beneficioso para los sistemas de tratamiento implementas nuevas técnicas que ayude a remover la carga orgánica de contaminantes en un tiempo optimo y disminución de costos para la empresa; el no tener un debido tratamiento de estas aguas residuales acarrearía el aumento de la contaminación de ríos y afluentes que puede traer problemas de salud pública por aumento de vectores y perdida de ecosistemas.

La revisión de diferentes fuentes bibliográficas ayuda a tener una visión clara del funcionamiento de sistemas con biopelículas además si es viable o no para aguas residuales industriales que presentan altos niveles de DBO5, sólidos suspendidos y bionutrientes que no favorecen las condiciones de los ecosistemas.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Establecer la viabilidad del uso de biopelículas para la remoción de carga orgánica de contaminantes en plantas de tratamiento de bebidas no alcohólicas a partir de una revisión bibliográfica de estudios recientes.

4.2. Objetivos Específicos

- 1) Determinar la eficiencia del método de bioprospección para el aislamiento bacteriano en la creación de biopelículas.
- 2) Analizar el tipo de género bacteriano más eficiente en la remoción de carga orgánica de contaminantes

5. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

5.1. Temática

Con este proyecto recolecto información de estudios recientes de los últimos diez años de métodos de aplicación de biopelículas para la remoción de carga orgánica de contaminantes, de esta manera comparar diferentes métodos de remoción de contaminantes de aguas residuales no doméstica y ver la viabilidad para ese tipo de industrias.

De tendrá encuentra estudios a nivel nacional como internacional además de tipos de tratamientos de aguas residuales de empresas de bebidas no alcohólicas.

Para analizar el comportamiento de estos sistemas en la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos como DBO (Demanda biológica de oxígeno), DQO (Demanda química de oxígeno).

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. Marco teórico

Los estudios relacionados hacia las biopelículas han aumentado en los últimos años donde se puede encontrar variedad de temas, en diferentes microentornos según la revista Biofilm (Prof.Dr. Tom Coenye, 2019) tales como entornos clínicos, entorno natural e industriales.

En el área industrial se encuentra un gran trabajo investigativo donde consiste principalmente hacer uso de comunidad microbiana para mejoramiento de sus procesos productivos como también las dificultades que estas mismas puede presentar en sus procesos, logrando hacer uso de las biopelículas en el mejoramiento de la calidad del agua residual naturalmente producida por las diferentes industrias según Bott T las biopelículas en el mundo natural tienen forma de “esteras” influyen en la calidad del agua en las que hagan presencia, como puedan que aumenten el oxígeno o disminuirlo para eliminar el material tóxico o peligroso del agua, descomponiendo en componente aceptables. (BottT, 2011).

Tabla 1 Estudios investigativos con referente a las biopelículas.

Se aborda temas microbiológicos, genético, ingeniería y bioprocesos que ayudan a la definición y entendimiento del funcionamiento de este tipo de comunidad microbiana.

Título	Autor o autores	Revista y año publicación	Resumen
Biofilms	Daniel López, Hera Vlamakis y Roberto Kolter	Bs: Google académico Revista: Cold Spring Harbor Perspective s in Biology 2010	En el artículo se especifica cómo se producen las biopelículas y como varia el uso según las condiciones ambientales y los atributos específicos de la cepa. (Daniel López, 2010)
The biofilm matrix	Flemming, Hans-curt; Wingender, Jost.	ProQuest Nature Reviews Microbiolo gy 2010	Explica cómo está conformada la matriz de las biopelículas (Flemming & Wingender, 2010)

<p>Minimum information guideline for spectrophotometric and fluorometric methods to assess biofilm formation in microplates</p>	<p>Jontana Allkjaab Thomas Bjarnsholt TomCoenyeefPaulCosgAdyaryFall arerohJoe J. HarrisoniSusana P. LopesjAntonioOliverkMaria OliviaPereirajGordonRamageleMark E. Shirliffm1PaulStoodleynopJeremy S. WebbpSebastian A.J. ZaatqDarla M. GoeresbNuno FilipeAzevedoa</p>	<p>ScienceDirect Biofilm 146v11414 2 2019</p>	<p>Guía para la evaluación espectrofotométrica y flurométrica de la formación de biopelículas en microplacas, se divide en 5 secciones principales, cada una de las cuales presenta un conjunto completo de recomendaciones (Stood, 2019)</p>
<p>Formation of electroactive biofilms derived by nanostructured anodes surfaces</p>	<p>Rehab H. Mahmoud, Farag A. Samhan, Mohamed K. Ibrahim, Gamila H. Ali & Rabeay Y. A. Hassan</p>	<p>Google academic Springer ling 2021</p>	<p>sus estructuras morfológicas juegan un papel crucial en la formación de biopelículas electroactivas que permiten la transferencia directa de electrones</p>

<p>Redes de señalización en la producción de biopelículas en bacterias: quorum sensing, di-GMPc y óxido nítrico</p>	<p>AlbertoRamírez-Matalleana J. Fernández-DomínguezKaren J. Nuñez-RezaMaría L. Xiqui- VázquezBeatriz E. Baca</p>	<p>Mendeley ScienceDire ct, Revista Argentina de Microbiol ogía</p>	<p>Entender con profundidad la formación de las biopelículas, cuando las bacterias detectan cambios en la densidad de población por regulación de quórum las condiciones específicas, empleando señales con el di-GMPc y el óxido nítrico (E.Baca, 2014)</p>
<p>técnicas y métodos de uso de las biopelículas en la búsqueda de procesos de biorremediación</p>	<p>Echevarría García L</p>	<p>Mendeley Scientific internationa l Journal 2013</p>	<p>Investigación sobre diversas biopelículas con el objetivo de obtener nuevas cepas para aplicarse en el campo de la biorremediación. (L E. G.,</p>

			2013)
--	--	--	-------

Fuente propia 2021, Con base en los diferentes autores expuestos se define las biopelículas

6.1.1. Estructura y componentes de las biopelículas.

Las biopelículas ofrecen diferentes beneficios al generar resistencia a muchos antimicrobianos, protección contra protozoos entre otros esto debido a la matriz extracelular que contienen que actúan como barrera de difusión para moléculas pequeñas, por eso ayuda a la difusión de nutrientes, vitaminas o cofactores.

Los mecanismos moleculares expuestos por Daniel López , Hera Vlamakis y Roberto Kolter en el artículo Biofilms, varía bastante en diferentes especies hasta incluso entre diferentes cepas de la misma especie, sin embargo todas las biopelículas contienen una matriz extracelular que mantiene unidas las células, donde está compuesta por un biopolímero de polisacáridos asimismo se encuentran otros componentes como las proteínas o ADN, Tal como lo señala Alberto Ramírez, Fernández Domínguez, Nuñez Reza y Xiqui-Vázquez en el artículo de la revista de microbiología, las biopelículas les otorgan la posibilidad a las bacterias de sobrevivir en ambientes extremos donde se componen de una matriz efectivamente que se encuentra constituida por sustancias poliméricas extracelulares (SPE). (E.Baca, 2014)

La matriz de las biopelículas funciona como un sistema digestivo externo ya que ayuda a mantener enzimas extracelulares cercanas a la célula permitiendo metabolizar coloides y biopolímeros sólidos según Flemming, Hans-curt; Wingender, Jost. 2010, las biopelículas viven en esta matriz la cual ayuda a la mecánica y estabilidad, mediante una adhesión a las superficies que finalmente se forma una cohesión, con

una red de polímeros tridimensionales que se conectan e inmovilizan transitoriamente la biopelícula.

6.1.2. Formación de Biopelículas

La formación de biopelículas se atribuye a las bacterias como un mecanismo de defensa el cual varía dependiendo del género y la cepa como se ha dicho anteriormente, una de las razones para que exista esa formación son las señales extracelulares específicas puesto que regulan la activación de las vías metabólicas entre las bacterias, estas pueden tener diferentes orígenes donde las moléculas se denominan auto indicadores, estos se acumulan extracelularmente y la concentración de auto indicadores se correlacionan entre la densidad de la población (Daniel López, 2010)

El mecanismo de comunicación que hay entre las células de las bacterias de acuerdo con Daniel López 2010 controla un gran número de procesos de desarrollo que van relacionados con la formación de biopelículas, estas son importantes para la estabilidad de las bacterias desempeñando funciones catalíticas, como también aumenta las posibilidades de transferencia de material genético y la resistencia de antibióticos (E.Baca, 2014)

Como plantea AlbertoRamírez, Fernández Domínguez, Nuñez Reza y Xiqui-Vázquez en la formación de biopelículas existen seis etapas la primera es la unión inicial a la superficie, donde se encuentran proteínas de superficie celular (adhesinas), flegelos, pili de tipo I y IV, el segundo paso es la formación de una monocapa de células, provocando que la bacteria se adhiera a una superficie y esta empiece a dividirse y las células hijas se extienden alrededor del sitio de unión formando una microcolonia, el tercer paso es el desplazamiento y multiplicación de las células para formar multicapas de microcolonias, luego viene la producción de la matriz extracelular por la síntesis de los EPS y finalmente la maduración y dispersión de la biopelícula para formar una nuevamente. (E.Baca, 2014)

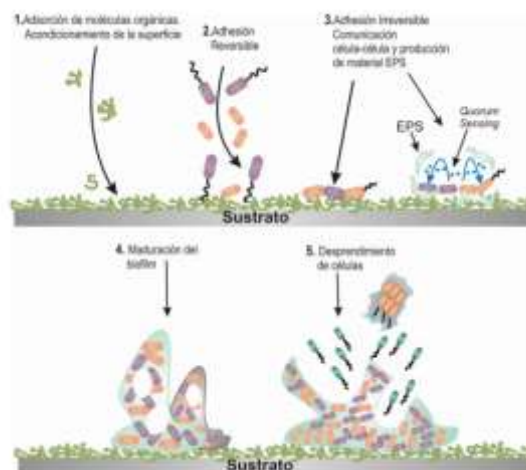
6.1.3. Representación esquemática de la Biopelícula.

Representación esquemática de la biopelícula dentro del reactor, que muestra de izquierda a derecha:

- 1) la interfase gas-membrana
- 2) el espesor de la pared de la membrana (Lm)
- 3) el espesor de la biopelícula (Lbp)
- 4) la interfase biopelícula-líquido
- 5) la fase líquida o agua residual modelo.

En la figura 1. Se observan las 5 fases en el desarrollo de una biopelícula y los procesos involucrados en ella, donde la etapa 1 es el acondicionamiento de la superficie donde diferentes factores externos afectan la adhesión de las bacterias desde un medio líquido sobre un sólido, la segunda etapa es la adhesión primaria (reversible) de bacterias a una superficie o un sustrato, la etapa 3 adhesión irreversible se produce por la transición irreversible se produce por la transición desde una interacción débil de las células con el sustrato hasta un enlace permanente, la etapa 4 de maduración de la biopelícula y finalmente la etapa 5 el desprendimiento de la bacteria, donde se produce la liberación de células de un biofilm o sustrato.

Ilustración 1 Descripción del biofilms, desarrollo e importancia de su estudio. Impacto de las técnicas de nano/micro fabricación en sistemas biológicos.



Fuente. (O'Toole, 2010)

6.2. Marco conceptual

6.2.1. Biorreactores

Un biorreactor es un recipiente o un sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo, existen otros tipos de biorreactores se basan en un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dicho organismos, este proceso puede ser aeróbico p anaerobio, estos biorreactores son comúnmente cilíndricos, variando en tamaño desde algunos mililitros hasta metros cúbicos y son usualmente fabricados en acero inoxidable. (Rivera, 2010)

Según Rivera “En un proceso de aeróbico, la transferencia optima de oxígeno es tal vez la tarea más difícil de lograr. El oxígeno se disuelve poco en agua (y aun menos en caldos fermentados) y es relativamente escaso en el aire (20,8 %). La transferencia de oxígeno usualmente se facilita por la agitación que se requiere también para mezclar los nutrientes y mantener la fermentación homogénea. Sin embargo, existen límites para la velocidad de agitación, debidos tanto al alto consumo de energía (que es proporcional al cubo de la velocidad del motor) como al daño ocasionado a los organismos debido a un esfuerzo de corte excesivo.”

6.2.2. Carga orgánica de contaminantes y concentración

Medía que representa la masa de contaminantes por unidad de tiempo que es vertida por una corriente residual, comúnmente se expresa en T/año, T/día o Kg/d; la concentración se entiende como una cantidad de substancia en relación con un volumen determinado que la contiene, el que puede ser aire, suelo o agua. Se expresa en unidades de masa entre volumen para agua y aire: g/l, mg/l y para suelos g/g, mg/Kg, etc. Las unidades más usuales son las siguientes: g/l, mg/l, g/g, g/100g, mg/g, mg/m³ (aire), etc. (IDEAM, 2020)

6.2.3. Demanda bilógica de oxígeno (DBO₅)

Indica la cantidad de oxígeno que las bacterias y otros seres vivos minúsculos consumen durante 5 días a una temperatura de 20°C en una muestra de agua para la degradación aeróbica de las sustancias contenidas en el agua. El valor DBO es pues una medida indirecta de la suma de todas las sustancias orgánicas biodegradables del agua. El valor DBO indica la cantidad de oxígeno disuelto (mg/l) que se requiere durante un tiempo determinado para la degradación biológica de las sustancias orgánicas contenidas en el agua residual. Este valor es un parámetro importante para valorar el grado de carga que el agua residual representa para el medio ambiente (cauce receptor). Al ser las sustancias contenidas en el agua residual degradadas en el cauce receptor por las bacterias allí presentes, se elimina el oxígeno en parte o totalmente del agua. (Iberica, Tecnología del plástico, 2021)

6.2.4. Sólidos suspendidos totales

Las aguas crudas naturales contienen tres tipos de sólidos no sedimentables: suspendidos, coloidales y disueltos. Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01 mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01 mm) son generalmente sedimentables. (IDEAM, 2002)

6.2.5. Fosforo

Los fosfatos y compuestos de fósforo se encuentran en las aguas naturales en pequeñas concentraciones. Su origen es el lixiviado de los terrenos que atraviesa, o por contaminación orgánica. Actualmente existe una fuente contaminante de fósforo artificial, por el uso de los detergentes poli fosfatados. Los fosfatos están directamente relacionados con la eutrofización de lagos y pantanos. (Ambientum, 2020)

6.2.6. Nitrógeno

Nitrógeno, en sus formas de nitrato o amonio, es un químico "nutriente" necesario para el crecimiento de las plantas. Aunque el nitrógeno en su forma natural es abundante en el ambiente, también puede ser introducido a través del drenaje y los fertilizantes, en exceso puede causar crecimiento excesivo de plantas acuáticas y algas, las cuales pueden tapar las entradas de agua, usar el oxígeno disuelto a medida que se van pudriendo y bloquear la luz que llega hasta las aguas profundas. Esto afecta seriamente la respiración de los peces y de los invertebrados acuáticos, causando un decremento en la diversidad animal y vegetal y también repercute en nuestro uso del agua para la pesca, la natación y paseos en botes. (USGS, 2020)

6.3. Marco legal y normativo

Este proyecto tiene como base la Resolución 631 de la Constitución política de Colombia, la cual establece parámetros de los vertimientos y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

ARTÍCULO 2. Definiciones.

Aguas residuales no Domésticas- ARnD: son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas. ARD.

CAPÍTULO V: parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de agua residuales domésticas- ARD y de las aguas residuales (ARD-ARnD) de los prestadores del servicio público de Alcantarillado a cuerpos de agua superficiales.

SECTOR: ACTIVIDADES DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS Y BEBIDAS.

ARTÍCULO 12. Parámetros físicos químicos o monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas- ARnD a cuerpos de agua superficiales de actividades asociadas con elaboración de productos alimenticios y bebidas.

Ilustración 2 Parámetros fisicoquímicos de la Resolución No. 631 del 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible

PARÁMETRO	UNIDADES	ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS	ELABORACIÓN DE ALIMENTOS PREPARADOS PARA ANIMALES	ELABORACIÓN DE MALTAS Y CERVEZAS	ELABORACIÓN DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS, AGUAS MINERALES Y OTRAS AGUAS EMBOTELLADAS
Generales					
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	500,00	200,00	200,00	400,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L O ₂	400,00	100,00	100,00	200,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	200,00	50,00	50,00	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	2,00	1,00	2,00	2,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	10,00	10,00	20,00
Compuestos Semivolátiles Fenólicos	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo					
Ortofosfatos (P-PO43-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno					
Nitratos (N-NO3-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO2-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH3)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Iones					
Cianuro Total (CN-)	mg/L	0,50	0,20		
Cloruros (Cl-)	mg/L	250,00		250,00	600,00
Sulfatos (SO42-)	mg/L	250,00		250,00	500,00
Sulfuros (S2-)	mg/L				
Metales y Metaloides					
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05	0,05		
Cinc (Zn)	mg/L	5,00	3,00		
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00		
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50		
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01	0,01		
Níquel (Ni)	mg/L		0,50		
Plomo (Pb)	mg/L	0,20	0,20		
Otros Parámetros para Análisis y Reporte					
Acidez Total	mg/L CaCO3	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO3	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO3	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO3	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las	m-1	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Fuente. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible , 2015)

SECTOR DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS Y BEBIDAS

Actividad: Elaboración de productos alimenticios

- Procesamiento y conservación de pescados, crustáceos y moluscos
- Procesamiento y conservación de frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos
- Elaboración de productos de molinería, almidones y productos derivados del almidón
- Elaboración de almidones y productos derivados del almidón
- Elaboración de chocolate y productos de confitería
- Elaboración de macarrones, fideos, alcuizuz y productos farináceos similares
- Elaboración de otros productos alimenticios n.c.p.
- Actividad: Elaboración de alimentos preparados para animales
- Actividad: Elaboración de maltas y cervezas
- Actividad: Elaboración de bebidas no alcohólicas, aguas minerales y otras aguas embotelladas.
- Actividad: Elaboración de productos lácteos
- Elaboración de aceites y grasas de origen animal y vegetal
- Actividad: Elaboración de café soluble.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1. Tipo de investigación

El proyecto se basa en una revisión sistemática de literatura, la cual se describe el potencial de la aplicación de biopelículas, y su uso en tratamientos de aguas industriales, para determinar si son eficientes para empresas de bebidas no alcohólicas, además de recolectar información del tipo de tratamiento que se usa actualmente y comparar la eficiencia de este método, se tendrá en cuenta estudios realizados en los últimos años tanto a nivel nacional e internacional

7.2. Metodología

Para determinar la viabilidad del uso de biopelículas en la remoción de carga orgánica de contaminantes se hará por medio la siguiente metodología.

7.3. Recolección de información

La técnica de recolección de datos de información se basó en el método de Kitchenham, el cual se divide en tres etapas, la primera la planificación de la revisión de literatura, la segunda etapa desarrolla la revisión en fuentes de información como documentos y registros de la base de datos de la Universidad Cooperativa de Colombia de artículos científicos y libros electrónicos, uso de la plataforma MENDELEY, repositorios de diferentes universidades como La Nacional, Sergio Aboleda, Manuela Beltrán, Univalle, Distrital entre otros, los cuales tengan investigaciones relacionadas con este proyecto, asimismo libros como crecimiento bacteriano, tratamiento de aguas residuales industriales, biopelículas, finalmente la tercera parte, se expone las características específicas, ventajas y desventajas, los géneros bacterianos eficientes para el sistema de remoción de carga orgánica de contaminantes.

Palabras claves utilizadas

- Biopelículas
- Tratamiento de aguas residuales

- Biorremediación
- Remoción de Carga orgánica de contaminantes
- Bebidas no alcohólicas
- FBBR
- MBBR
- Bioincrustación

Bases de datos Universidad Cooperativa de Colombia

- Biblioteca digital mundial
- Dialnet
- Ebook central
- E-libro
- Oxford (University press)
- Proquest
- ScienceDirect
- Biblioteca digital de Universidad Nacional, Univalle, Distrital entre otras.

Variables estudiadas

- Revista y año publicación
- País, Región y Ciudad
- Tipo de investigación: experimental, teórica
- Aplicación de las biopelículas
- Métodos de tratamiento de aguas residuales en industrias de bebidas y alimentos
- Tipo de industrias con tratamientos biológicos en el país

7.3. Recursos y propuestos

7.3.1. Recurso físico, humano e institucional

Este trabajo será realizado con la guía y ayuda del profesor Carlos Julian Moreno Fonseca de la Universidad Cooperativa de Colombia del programa de Ingeniería

Ambiental, asimismo el uso de la biblioteca digital, base de datos y libros de la universidad.

8. RESULTADOS

8.1. Uso de Biopelículas en plantas de tratamientos residuales

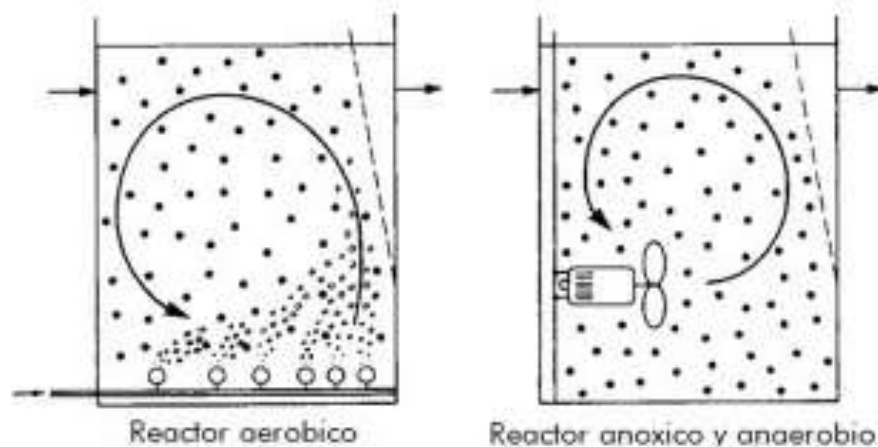
El uso de biopelículas en plantas de tratamiento de aguas residuales tanto domésticas como industriales se viene usando desde hace muchos años los primeros reactores fueron desarrollados en los años 80 y principios de los 90, existen más de 400 instalaciones de biopelículas alrededor del mundo. (Gonzalo, 2014)

Hasta el momento se cuenta con dos mecanismos donde se puede producir biopelículas para la remoción de carga orgánica de contaminantes tales como tratamiento fijo FBBR (Fixed bed biofilm reactor) y de lecho móvil MBBR (Moving bed biofilm reactor).

8.1.1. Tratamiento de lecho móvil (MBBR)

Son reactores con una alta superficie específica de biopelícula, debido a su facilidad de adherirse a una superficie se usa como medio de soporte tipo carriers, estos funcionan de forma aeróbica como anaerobia. (Daniela, 2019).

Ilustración 3 Mezclado en reactores de biopelícula de lecho móvil, el reactor aeróbico el movimiento es causado por la aireación en cambio el anaerobio se usa mezcladores mecánicos



Fuente (Daniela, 2019)

Asimismo, el crecimiento de biomasa en soportes plásticos que se mueve en el reactor biológico mediante la agitación generada por sistema de aireación, los medios de soporte se mueven libremente en suspensión dentro del tanque. (Javier, 2013), estos medios son adecuados para tratamientos de aguas residuales como señala el ingeniero Javier Manrique en su informe de desarrollo de tratamientos aerobios en medio fijo.

Película fija suspendida.

Consiste en un medio de contacto que se encuentra sumergido dentro de un reactor por el que fluye agua residual por medio de una aireación intensa evita que existan superficies estables, es decir no existen zonas con baja tasa de crecimiento de biopelícula, las burbujas de aire difundido provocan un movimiento de convección torcedora que favorece el número de choques entre el sustrato (alimento), la película biológica (microorganismos) y el oxígeno contenido en el aire (Palomino Lucano, 2007)

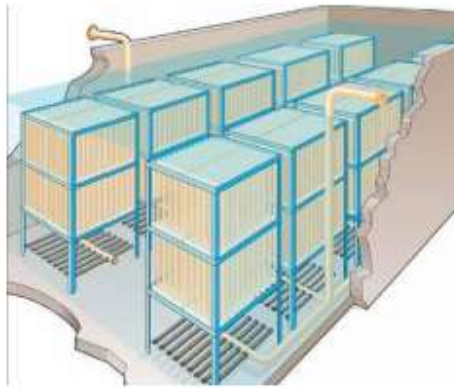
8.1.2. Tratamiento de lecho fijo o fluidizado (FBBR)

El uso de microorganismos en partículas pequeñas fluidizadas del medio es uno de los sistemas más utilizados en la eliminación de contaminantes orgánicos de las aguas residuales. (H. J. Choi, 2012)

8.1.3. Película fija sumergido

Los reactores aerobios de lecho fijo sumergido son sistemas de biopelículas, donde el medio de soporte se sumerge dentro de las aguas residuales generando una superficie de contacto, el oxígeno este suministrado mediante difusores de burbujas fina ubicados en el fondo del reactor. (Javier, 2013)

Ilustración 4 Reactor aerobio de lecho fijo sumergido



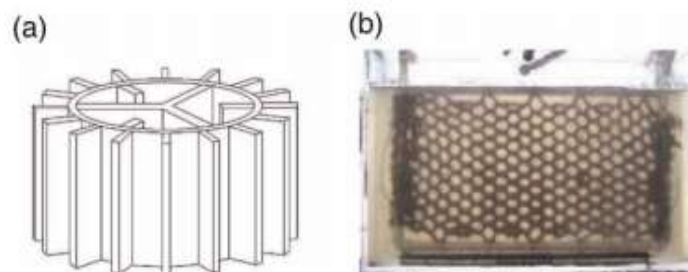
Fuente (Javier, 2013)

Este tipo de sistemas pueden ser usados en serie, primero con pre-desnitrificación ante de la aireación, posteriormente la oxidación de la materia orgánica y finalmente la nitrificación, recirculando parte del caudal a la entrada del reactor de nitrificación. (Javier, 2013)

8.2. Medios de soporte

Para tratamiento de aguas residuales se utilizan medios plásticos que se caractericen por tener una superficie específica para carga de biomasa que trata el agua, el medio de soporta proporciona protección a los microorganismos contra organismos depredadores y contra la abrasión. (Gonzalo, 2014)

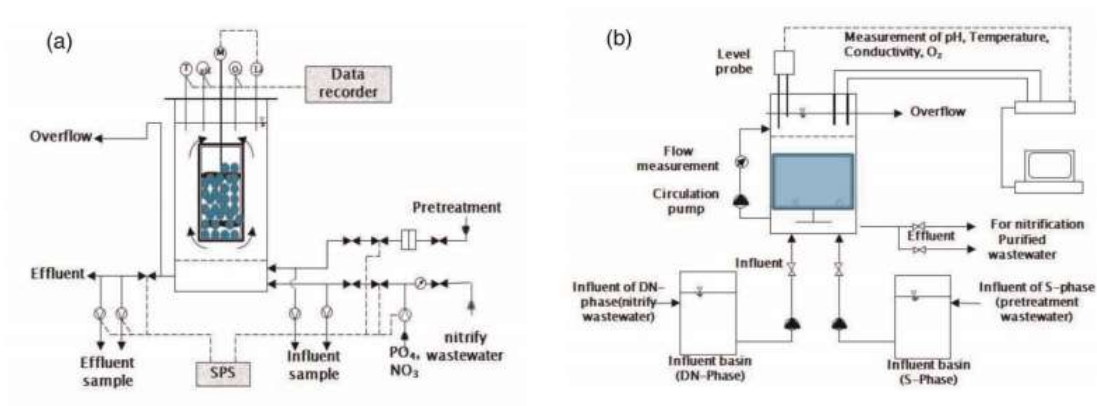
Ilustración 5a) medio de soporte para MBBR (carrier) y b) Medio de soporte para FBBR.



Fuente. (H. J. Choi, 2012)

El diseño (a) de la figura 6 presenta un diseño de un reactor de MBBR este se basa en un diseño simple, realizados con poliuretano de alta densidad, poseen canales a lo largo del interior de los anillos donde las biopelículas se desarrollan y van quedando adheridas adicionalmente se va generando el crecimiento de la biomasa en los mismos, y de lecho fluidizado FBBR es un lecho de gran altura, en cuya parte inferior a través de un sistema de distribución se introduce el agua a velocidad suficiente como para fluidizarlo o expandirlo. Los sistemas anóxicos y anaerobios son los de diseño más simple. Los sistemas aerobios requieren de un sistema de aireación. La aireación normalmente se realiza en la línea de recirculación de efluente, dando lugar a un sistema de 2 fases: sólida y líquida, tal como se esquematiza en la figura 6 (b). La ventaja de airear en la recirculación es que la biopelícula no es sometida a abrasión y así el efluente tiene una baja concentración de sólidos en suspensión.

Ilustración 6 Diseño MBBR b) FBBR



Fuente (H. J. Choi, 2012)

8.3. Ventajas y desventajas de tratamiento con lecho fijo y móvil en aguas residuales.

En la tabla 2. Se disponen las ventajas de los dos sistemas de tratamiento ya sea de lecho fluidizado o fijo y lecho móvil de tal forma escoger el más viable para aguas residuales de empresas de bebidas no alcohólicas, se tuvieron en cuenta variables

tales como reducción de costos, tiempo de depuración, volumen de caudal usado entre otros.

Tabla 2 Ventajas de tratamiento de lecho fijo y móvil

MBBR	cita	FBBR	Cita
La fracción de llenado del reactor con los carriers puede definirse de acuerdo con las necesidades	(Daniela, 2019)	Este tipo de sistemas pueden ser tratados en plantas construidas, incluso aumentado el caudal	(Javier, 2013)
Excelente mezcla, no necesita recirculación	(Javier, 2013)	Fácil e instalar, menos espacio y tiempo	(Javier, 2013), (Burghate, 2013)
Gran superficie	(Javier, 2013)	Bajo costo inicial	(Javier, 2013) (Burghate, 2013)
La retención de la biomasa sobre el soporte evita que ésta escape del reactor	(Burghate, 2013)	Sin perdidas de material	(Javier, 2013)
Remoción eficiente de nitrógeno debido a la alta tasa de carga volumétrica	(H. J. Choi, 2012)	Se promueven procesos de remoción de nutrientes, soporta una alta carga orgánica	(Javier, 2013), (H. J. Choi, 2012)
Menor volumen del reactor biológico, debido a la alta concentración de biomasa activa que existe gracias al cultivo sobre soporte	(Burghate, 2013)	Eficaz tecnología para el tratamiento de aguas residuales	(Burghate, 2013)
Baja acumulación de sólidos	(H. J. Choi, 2012)	Combina las mejores	(Burghate, 2013)

en el reactor	2012)	características de filtración de lodos activados y goteo en un solo proceso	2013)
		Al presentar una gran concentración de microorganismos, tiene un alto potencial para la eliminación de varios parámetros como DBO, DQO, nitrógeno etc.	(Burghate, 2013)
		No es necesario proporcionar un tanque de fraguado secundario	(Burghate, 2013)

Fuente: propia

Se encontró más estudios relacionados a sistemas de tratamiento lecho fijo generalmente en tipo de aguas residuales domésticas, donde su principal diferencia con respecto a MBBR se debe al caudal usado este no tiene restricciones, en su funcionamiento no hay pérdida de material, también se debe tener en cuenta las diferentes desventajas presentadas en la Tabla 3. que han presentado en sus procesos de tal manera mejorarlos

Tabla 3 Desventajas de tratamiento de lecho fijo y móvil

MBBR	cita	FBBR	Cita
El llenado del reactor no debe sobrepasar el 70% puesto que los soportes deben moverse libremente, evitando los choques para que no haya desprendimiento de la	(Daniela, 2019)	Se puede ensuciar si el pretratamiento no es adecuado	(Javier, 2013)

biopelícula			
Perdida de material	(Javier, 2013)	En sistemas de malla pueden aparecer lombrices del género <i>Tubiex</i>	(Javier, 2013)
Los difusores se pueden dañar	(Javier, 2013)	El aire puede ser un factor limitante	(Javier, 2013)
Dificultad para mantener en agitación el medio cuando se desarrolla la biopelícula por incremento del peso específico	(Javier, 2013)	Limitación de la capacidad de carga de DBO	(Gómez, 2019)
Si se interrumpe la aireación, el medio de soporte puede aglutinarse en el fondo o bien flotar, dependiendo del material y cantidad de biomasa	(Javier, 2013)	Distribución pobre de la carga orgánica	(Gómez, 2019)

Fuente: propia

Para conocer la eficiencia de estos tipos de tratamientos se hace una investigación previa de la eficiencia de remoción y se ha demostrado como se observa en la Tabla 4. La remoción de DQO y de DBO superan el 80 % varia estos modelos dependiendo del tipo de material usado, se ha demostrado una mejor eficiencia con materiales de polipropileno.

Tabla 4 Porcentajes de remoción de DQO y DBO con el uso de tratamientos de MBBR y FBBR en aguas residuales con alta concentración de materia orgánica

Medio de Tratamiento con biopelículas	Tipo de agua	Eficiencia de remoción		Cita
		DBO	DQO	
T. FBBR	Aguas residuales del condado de Nassau, Nueva York	Evaluó DBO ₅ con una eficiencia de 71-93%	98% de remoción en 30 min	(Burghate, 2013)
T. de película fija suspendida	Aguas residuales domésticas	86.35% con tasa de oxigenación de 0.062 Go ₂ /h	No analizada	(Palomino Lucano, 2007)
T. de lecho fijo sumergido, medios de soporte PET (Polietileno tereftalato) y PP (Polipropileno)	Agua residual del Río Machángara y sustrato preparado	No analizada	93% con medio de soporte PET y 99% con PP para una carga orgánica entre 0.05 y 0.14 gDQOs/m ² *d	(Gonzalo, 2014)
T. de lecho fijo (FBBR)	Agua residual domestica	DBO ₅ 99.9%	99.9% descarga continua de agua	(Cleantech, 2019)

			depurada las 24 horas del día	
--	--	--	-------------------------------------	--

Fuente: propia

En la tabla 5. se muestra un comparativo de diferentes industrias que dentro de las características de sus vertimientos presentan altos niveles de DQO y DBO, la implementación de biopelículas se ha hecho uso de sistemas fluidizados, la remoción ha variado entre un 50% y un 85%.

Tabla 5 Porcentajes de remoción de DQO y DBO con el uso de tratamientos de MBBR y FBBR en aguas residuales con alta concentración de materia orgánica

Industria	Tipo de tratamiento	Resultados	Investigación y cita
Pulpa y papel	MBBR	Remoción de DQO del 50%, valor inicial de DQO de 1900 mg/L, final 1257 mg/L en 10 semanas de medición	Análisis del proceso BAS para el tratamiento biológico de un efluente residual a escala laboratorio: Cantabria, España (López, 2018)
Aguas mieles provenientes de trapiches artesanales (Industria panelera)	FBBR	En la etapa de alimentación con altas cargas volumétricas, la eficiencia se reduce por debajo del 80%; el tope máximo tolerable del sistema se considera una carga volumétrica de alimentación de 6,5 KgDQO/m ³ d.	Evaluación de la eficiencia de reactores de lecho fijo utilizando aguas mieles residuales de trapiches artesanales. Nariño (Gloria Lucía, 2009)

Agua residual de industria farmacéutica	T. Lecho móvil MBBR	Remoción de DBO de un 80% y un 92% de DQO	Diseño y evaluación de un reactor biológico de lecho móvil de cargas secuenciales como alternativa de tratamiento para un vertimiento procedente de una industria farmacéutica. Bogotá, Colombia (Cubillos, 2019)
Industria Licorera	Lecho fijo FBBR	Remoción de carga de contaminantes de las vinazas en un 85%, uso de microorganismos anaerobios, El agua residual se caracteriza por tener elevada proporción de materia orgánica descomponibles, grandes cantidades de gérmenes de la fermentación (bacterias y otros microorganismos)	Nuevo método elimina desechos tóxicos de la industria licorera, La oxidación parcial permite la recirculación de entre el 90 y el 100 % de las vinazas, con lo cual se contribuye a reciclar uno de los residuos más contaminantes de la producción de bebidas alcohólicas. (Agencia de Noticias UN, 2017)

Fuente: propia

8.4. Bioprospección

El hacer uso de las biopelículas en un sistema de tratamiento residual es de gran importancia ya que aprovecha un tipo de organismo que ayude a la remoción de

contaminantes como es el caso de aguas residuales industriales de empresas de bebidas no alcohólicas de esta manera se permite una producción y manejo de recurso biológico de manera continuada y con una cantidad suficiente sin afectar la biodiversidad y mejorando la calidad del ambiente.

La bioprospección es la búsqueda sistemática, clasificación e investigación de nuevas fuentes de compuestos químicos, genes, proteínas y otros productos que poseen un valor económico actual o potencial, y que se encuentran en los componentes de la diversidad biológica. e investigación de nuevas fuentes de compuestos químicos, genes, proteínas y otros productos que poseen un valor económico actual o potencial, y que se encuentran en los componentes de la diversidad biológica. (Torres, 2011)

8.4.1. Género bacteriano para tratamiento de lecho fijo FBBR

En los filtros biológicos se utilizan cultivos bacterianos fijos a un medio sólido donde en la parte exterior se realiza el proceso aerobio por medio de las bacterias del género *Bacillus* sp., en la parte central es un proceso facultativo generado por las bacterias del género *Pseudomonas*, *Micrococos* y *Flavo* bacterias finalmente en el interior se lleva a cabo el proceso en condiciones anaerobias por bacterias desulfovibrio.

Las sustancias poliméricas extracelulares (EPS) tienen un papel fundamental en la bioncrataciones de membrana según Nguyen TRoddick FVentilador para la creación de biopelículas, ya que estos son los encargados de unir a los microbios en una matriz tridimensional afectando las características físicoquímico de los agregados de las bacterias. (L N. T., 2012) como:

- La transferencia de masa
- Características de la superficie
- Capacidad de absorción y la estabilidad

Clasificación de las bacterias según la necesidad de oxígeno

- Aerobias: Requieren oxígeno disuelto para vivir y reproducirse

- Facultativas: son bacterias que pueden sobrevivir con o sin oxígeno disuelto, estas usan sulfato (SO₄), Nitrato (NO₃) como fuente de oxígeno alternativa.
- Anaerobias: son bacterias que se caracterizan por vivir sin oxígeno disuelto, casi siempre son patógenas.

Las bacterias son los microorganismos que en mayor proporción constituyen la biomasa de los lodos activados (95%). Estos organismos unicelulares crecen en el agua residual consumiendo la materia orgánica biodegradable tales como las proteínas, carbohidratos, lípidos y otros compuestos. La manera más común para la reproducción de las bacterias es por fisión binaria, donde la célula original se convierte en dos organismos nuevos. El tiempo requerido para cada división, conocido como tiempo de generación o de duplicación, puede variar desde menos de 20 minutos hasta varios días. Existen limitaciones ambientales que frenan la duplicación como disponibilidad del sustrato, concentración de nutrientes, o incluso, el tamaño del sistema. Existen dos maneras de expresar el crecimiento de los microorganismos, uno, en términos de números y el otro en términos de masa bacteriana en un cultivo puro, al igual que el crecimiento en cultivos mixtos. (L N. T., 2012)

8.4.2. Contaminantes orgánicos de las empresas de Bebidas no alcohólicas

Las aguas residuales de empresas de bebidas no alcohólicas contienen bionutrientes tales como el fosforo y nitrógeno los cuales son importante removerlos ya pueden generar un crecimiento indeseable de algas que provoca las disminuciones el oxígeno disuelto en el agua. (F. Velasco, Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no, 2019)

La materia orgánica natural de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (CHON) principalmente; con las proteínas (40-60%), los carbohidratos (25-50%) y las grasas y aceites (10%) como grupos más importantes (Romero., 2000)

En la tabla 6. Se presenta diferentes géneros bacterianos potenciales para la reducción de componentes orgánicos como nitrógeno, fósforo y carbono, donde diferentes géneros bacterianos son bueno por su adherencia y crecimiento

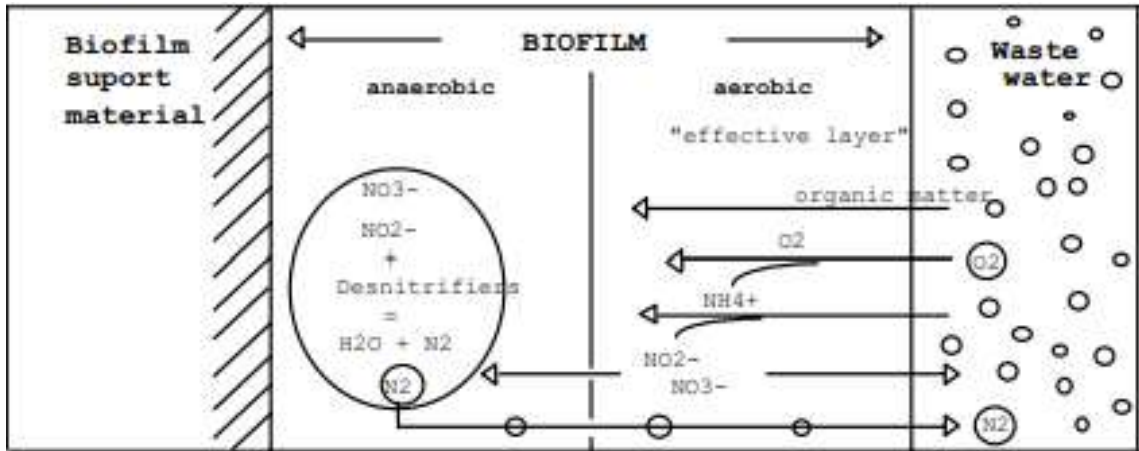
Tabla 6 Bacterias usadas en tratamientos de lechos fijo para remoción de carga orgánica

Bacteria	Uso y remoción	Investigación y cita
<i>Proteobacterias:</i> <i>Alphaproteobact</i> <i>eria</i> <i>Saprospirae</i>	Usado en reactor de lecho fijo, biodegradación aeróbica y anóxica, importante para la degradación de ácidos orgánicos y la vía metabolismo de compuestos aromáticos	Análisis sistemático de la comunidad microbiana en un reactor de biopelícula de lecho fijo para el tratamiento de aguas de proceso de arenas petrolíferas (OSPW): Canadá. (El-Din, 2018)
Bacterias heterótrofas o aerobias	Remoción de contaminantes orgánicos (urea y ácido fosfórico), aplicado en lecho fijo (FBBR)	Análisis del proceso BAS para el tratamiento biológico de un efluente residual a escala laboratorio: Cantabria, España (López, 2018)
<i>Bacterias rizoféricas de plantas hidrófitas</i>	Reducción de nitratos (47%), fósforos (60%) y metales pesados	Diversidad de las bacterias rizoféricas asociadas a plantas de <i>Typha domingensis</i> en humedales del río Almendares (Irina Salgado-Bernal, 2012)

Fuente: propia

Se sugieren sistemas de tratamientos híbridos anaerobios y aerobios para procesos de nitrificación

Ilustración 7 Esquema teórico de la nitrificación y des nitrificación simultánea en una biopelícula aireada



Fuente (Garzón-Zúñiga y González-Martínez, 1996)

Tabla 7 Eliminación de contaminantes orgánicos específicos como nitrógeno, fosforo y carbono orgánico de diferentes bacterias de empresas de bebidas alcohólicas.

Eliminación de contaminantes orgánicos de aguas residuales de empresas de bebidas no alcohólicas	
Carbono orgánico	Bacterias con capacidades exo- y endoenzimáticas para tratamientos aerobios se destacan los géneros <i>Bacillus</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Moraxella</i> , <i>Favobacterium</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Arthrobacter</i> ; <i>Aeromonas</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Haliscomenobacter</i> , <i>Gordona</i> . (Carmen Arnáiz, 2000)
Fosforo y nitrógeno	Las siguientes bacterias son capaces de almacenar y eliminar fósforo <i>Acinetobacter</i> , <i>Pseudomonas vesicularis</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Arthrobacter globiformis</i> , <i>Moraxella sp.</i> y <i>Enterobacter</i>

	<p><i>sp</i> algunas de estas son estrictamente aerobias y otras fermentativas</p>
	<p>Las bacterias que funcionan como fijadoras que implica la transformación del nitrógeno molecular (N₂) del aire NH₄⁺ para su asimilación e incorporación (fijación) a la biomasa son <i>Azotobacter</i> y <i>Clostridium</i>, algas verde azules o cyanobacterias cuyos géneros principales son <i>Annabaena et Nostoc</i> y bacterias simbióticas del género <i>Rhizobium</i> que viven en simbiosis con las plantas como leguminosas</p>

Fuente: propia

posibilidad de acoplar la eliminación biológica de fósforo y nitrógeno en un reactor discontinuo con biopelícula, mediante el empleo de una estrategia de operación con 4 fases de reacción: Anaerobia/Aerobia/Anóxica/ Aerobia II. El sistema funcionó exitosamente obteniéndose una eficiencia de eliminación del 89% de la DQOt, un 75% de P-PO₄⁻, y 87% de N-NH₄⁺. Las altas eficiencias de eliminación de P 242 y N se obtienen gracias al establecimiento de una relación de comensalismo entre Bacterias Nitrificantes (BN) y Bacterias Acumuladoras de Fosfato (BAF). En la cual, las BAF actúan como bacterias des nitrificantes empleando los óxidos de nitrógeno producidos por las BN, para metabolizar PHB.

8.5. comparación de sistema de tratamiento con biopelículas con respecto a otros tratamientos biológicos convencionales

Para conocer la eficiencia de un tratamiento en base de biopelículas con un sistema de biorreactores es necesario conocer sus ventajas con respecto a otros tipos de tratamientos los cuales se han implementado comúnmente en empresas que se


caracterizan por tener DBO altos es decir contaminación orgánica, por tal motivo se hace comparación con respecto a diferentes variables tales como remoción de carga orgánica de contaminantes, consumo energético, sencillez de equipos, mantenimiento y explotación entre otros vistos en la *tabla 8*.

Tabla 8 Comparación de diferentes tratamientos biológicos

Parámetros	Tipos de Tratamientos							
	S. Lagunaje	Lecho de turba	Biodiscos	Reactor de fangos activos	Reactor SBR	Reactor biológico (MBR)	Reactor biológico de (FBBR)	Humedales artificiales
<i>Remoción de carga orgánica de</i>	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow
<i>Consumo energético</i>	Green	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green
<i>Sencillez de equipos</i>	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Green
<i>Mantenimiento y explotación</i>	Green	Green	Green	Green	Red	Green	Green	Yellow

<i>de Facilidad construcción</i>	Medio	Optimo	Critico	Optimo	Optimo	Critico	Critico	Medio
<i>Personal cualificado</i>	Optimo	Optimo	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Critico
<i>Superficie utilizada</i>	Critico	Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	Optimo	Critico

Fuente: propia

	Optimo
	Medio
	Critico

- Lagunaje

Remoción de DBO5 soluble del 92% una variación de. (Gloria Correa Restrep; Hernán Cuervo Fuentes, 2012)

- Lecho de turba

Dentro de sus ventajas es sin consumo de energía., Ausencia de elementos electromecánicos, excepto en el pretratamiento, Fácil adaptación en el entorno, Explotación y mantenimiento por personal no cualificado, Adaptable a variaciones de carga y caudal., Menor superficie que las lagunas de estabilización., Ausencia de olores (Gandarillas, 2010)

- Biodiscos

El biodisco presenta numerosas ventajas en comparación con otros sistemas de tratamiento biológico. En el sistema de tratamiento con biodiscos no existen problemas de ruido. Además, puede eliminarse la sedimentación del agua antes de entrar al biodisco, lo cual no afecta la capacidad de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno. Con el proceso de biodiscos se eliminan moscas y malos olores. Los biodiscos se recuperan más rápido de la entrada de tóxicos al proceso que Vol. 13; no. 3. TECNOLOGÍA EN MARCHA 59 cualquier otro proceso biológico (lodos, filtros, RAFA, etc.). No se necesita equipo de retrolavado, porque la rotación de los discos sumergidos en el agua residual elimina el exceso de biomasa que se adhiere a los discos. Las ampliaciones del sistema pueden hacerse fácilmente, porque nuevos módulos de biodisco pueden añadirse con facilidad. Así pueden solucionarse problemas de sobrecarga del sistema, aunque no se hayan planificado las expansiones de la compañía. No presenta el problema de formación de espumas durante el tratamiento de desechos que contienen surfactantes. El requerimiento de área de tratamiento es menor, lo que constituye la ventaja principal del biodisco con respecto a los demás sistemas de tratamiento biológico, en los que en muchos casos se requiere grandes extensiones para el tratamiento. (Gloria Lucía, 2009)

- SBR

Los sistemas SBR logran una buena remoción de DBO y nutrientes dependiendo del modo de operación. Para los SBR la eficiencia de remoción de DBO generalmente es del 85 al 95 por ciento. (EPA, 1999), Riesgo de taponamiento en los dispositivos de aireación durante los ciclos operativo (Gloria Lucía, 2009).

9. ANÁLISIS

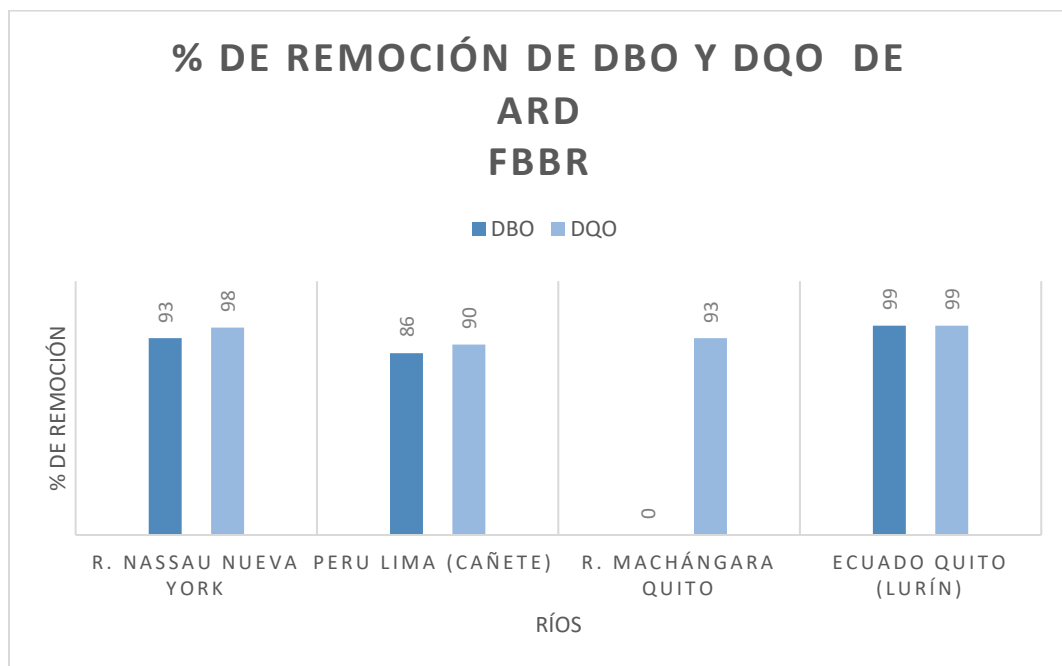
Con base a la recolección bibliográfica de sistemas de tratamiento de biopelículas se evidenció que para empresas de bebidas no alcohólicas es viable un sistema de fijación de biopelículas, ya que su eficiencia en remoción es superior a un 80%. (Burghate, 2013) sin embargo, estos sistemas presentan algunas desventajas en el manejo de caudal y la carga volumétrica recibida ya que en el sistema de lecho móvil

tiene restricciones en el uso de un caudal, solo se puede manejar un caudal máximo de 70%. (Daniela, 2019) por otro lado, el Sistema de lecho fijo maneja presenta limitación de la capacidad de carga de DBO. (Gómez, 2019)

Una de ventajas de uso de FBBR es que se pueden implementar en sistemas de tratamiento de aguas ya existente de tal manera que se pueda aumentar el caudal, es fácil de instalar y ocupa menos espacio (Javier, 2013) , además combina sistemas de filtración de lodos activados y goteo en un solo proceso teniendo una concentración de microorganismos obteniendo una remoción de DBO, DQO, nitrógeno eficiente. (Burghate, 2013)

Se debe tener en cuenta en estos sistemas de tratamiento tener un manejo en las mallas debido a que se ha generado con frecuencias lombrices de género *Turbier*, lo que limita la remoción y el sistema de aireación en el reactor provocando un tapamiento.

Ilustración 8 Gráfico de porcentaje de remoción de DBO y DQO de ARD con tratamiento FBBR

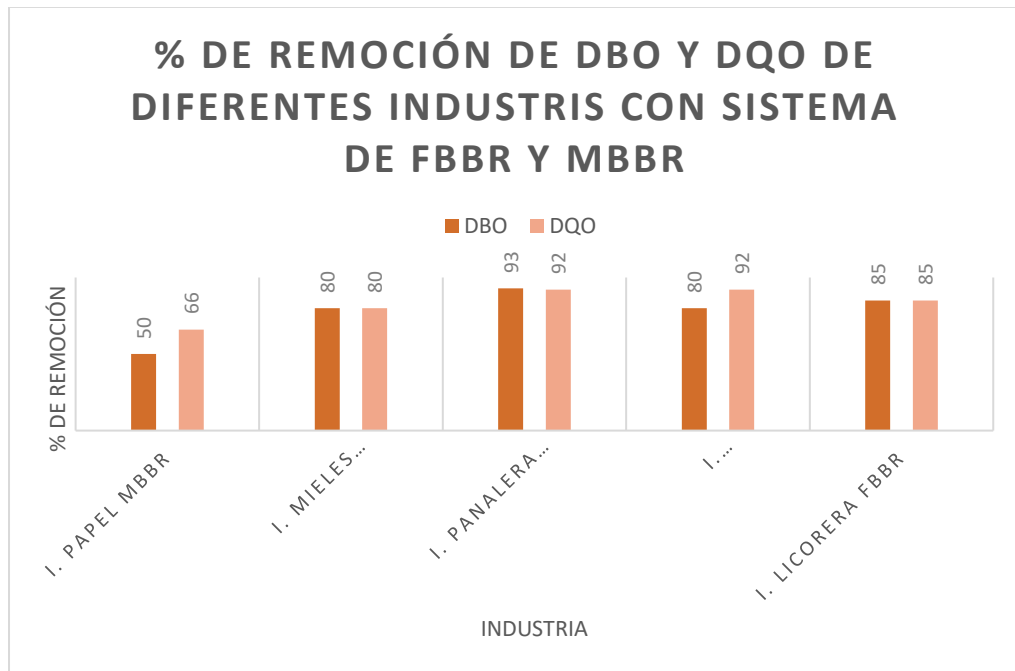


Fuente Propia

En aguas residuales domésticas se puede presentar altos niveles de DBO y DQO donde es de gran importancia conocer las experiencias que han tenido en la implementación de estos sistemas tanto de MBBR y FBBR tal como se presenta en la tabla 4, donde se encontró un mayor uso de aplicación de sistemas de lecho fijo sus porcentajes de remoción de DBO varía entre 71, 86.35 y 93% y DQO entre un 93 al 99 % esto difiere en la tasa de oxigenación, se recomienda hacer uso de 0.062 Go₂/h y también el sistemas de soporte de PP (Polipropileno) en vez de PET (polietileno tereftalato) esto ayuda a la fácil adhesión de los microorganismos y rápido crecimiento. (Burghate, 2013), (Palomino Lucano, 2007), (Gonzalo, 2014) y (Cleantech, 2019).

Debido a que esta industria presenta altos niveles de DBO, DQO, fosforo, nitrógeno y carbono orgánico el mejor tratamiento es el biológico el cual son específicos en la remoción orgánico por esto se comparó con diferentes industrias que presentan características similares, presentados en la tabla 5.

Ilustración 9 Porcentaje de remoción de diferentes industrias usando reactores de lecho fijo o móvil



Fuente Propia

Estas empresas se descargan más de 1257 mg/l de DBO muy parecido a empresas de bebidas no alcohólicas, especialmente las empresas de industria panelera donde usan altos niveles de carga volumétrica, también se observó que los sistemas de tratamientos que hicieron uso de FBBR no obtuvieron una remoción superior al 85% sin embargo los sistemas de MBBR alcanzaron un 90% de remoción por tal motivo no es recomendable hacer uso de un sistema con FBBR ya que la resolución 631 de 2015 obliga a que haya una remoción superior del 80%.

Por otro lado, los géneros bacterianos más eficientes en la remoción de carga orgánica de contaminantes y que se han usado en sistema de lecho fijo son de genero *Bacillus up.* y *Pseudomonas*, *Proteobacterias*, *Aphaproteobacterias* y *rizofericas*.

También se encontró diferentes bacterias que son potenciales para la remoción de fosforo, nitrógeno y carbono orgánico estos nutrientes se encuentran con gran abundancia en estas aguas residuales, para carbono orgánico se encontraron bacterias *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Moraxella*, *F/avobacterium*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*; *Aeromonas*, *Klebsiella*, *Haliscomenobacter*, *Gordona*. (Carmen Arnáiz, 2000), para fosforo y nitrógeno *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Moraxella*, *F/avobacterium*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*; *Aeromonas*, *Klebsiella*, *Haliscomenobacter*, *Gordona*. (Carmen Arnáiz, 2000), sería muy factible hacer un consorcio con diferentes bacterias que ayudan a la remoción de estos tres nutrientes para que el porcentaje de remoción aumente y la eficiencia, para tal echo se observa las *Bacillus*, *Enterobacter* y *Rhizobium* donde las tres son capaces de remover estos tres nutrientes esto ayudaría a disminuir parámetros como DBO con mayor rapidez.

En tanto a la eficiencia de tratamiento de biopelículas con respecto a otros tratamientos biológicos tales como sistemas de lagunaje, lecho de turba, biodiscos, reactores de fagos activos, SBR, y humedales artificiales, se presentó buena remoción carga orgánica, no presenta consumo energético, sin embargo si presenta debilidad en la sencillez de equipos, facilidad de construcción ya que se debe tener varios factores en cuenta tales caudal, cantidad de gases producidos por las bacterias entre otros y personal calificado debido a que se debe tener conocimiento del funcionamiento.

10. DISCUSIÓN

La aplicación de un sistema de tratamiento de biopelículas en aguas residuales industriales de bebidas no alcohólicas es viable sin embargo se debe tender en cuenta cuales son las prioridades al momento de elegir un tratamiento adecuado, ya que estas empresas se caracterizan por tener grandes descargas de contaminantes orgánicos por los diferentes procesos que manejan en la elaboración de sus productos. (Linares Abner, 2017); por tal motivo es recomendable usar dentro de su planta de tratamiento una fase biológica donde se disminuya parámetros como DBO y DQO los cuales se encuentran particularmente por encima de lo que decreta la resolución 631 de 2015 según el IDEAM.

Los dos tipos de tratamientos en base de biopelículas son eficientes para la remoción de carga de contaminantes, aunque los tratamientos de FBBR son más comunes en aguas residuales domésticas y MBBR en aguas industriales.

Por lo dicho anteriormente si la empresa maneja caudales permanentes se recomienda hacer uso de tratamiento con lecho móvil (MBBR), ya que son reactores con una alta eficiencia de biopelícula, debido a la facilidad de las bacterias a adherirse a una superficie (Carrier) y se puede usar dos tipos de funcionamientos tanto aerobios como anaerobio. (Daniela, 2019), en cuanto al porcentajes de remoción de se logra un 80% de DBO y DQO de un 92%. (Cubillos, 2019).

Si la empresa quiere manejar diferentes caudales y tiene una alta demanda de producción se recomienda hacer uso de un tratamiento de lecho fijo el cual usa microorganismos en partículas pequeñas fluidizadas del medio, y puede ser usado en serie, primero con pre-desnitrificación ante la aireación, posteriormente la oxidación de la materia orgánica y finalmente la nitrificación, recirculando el caudal a la entrada del reactor de nitrificación. (Javier, 2013); además estos tipos de sistemas pueden ser tratados en plantas construidas, incluso aumentando el caudal. (Javier, 2013); por otro lado, se puede tener porcentajes de remoción de un 85% de DBO, pero con limitaciones en la carga volumétrica de entrada.

Para el proceso de remoción intervienen diferentes variables tales como el material de soporte donde para MBBR se ha visto una mejor eficiencia con poliuretano de alta densidad, poseen canales a lo largo del interior de los anillos donde las biopelículas se desarrollan y van quedando adheridas adicionalmente se va generando el crecimiento de la biomasa en los mismos (H. J. Choi, 2012), y para FBBR se usa materiales de soporte PET (polietileno tereftalato). (Gonzalo, 2014).

El elegir las bacterias adecuadas es de gran importancia en el proceso de remoción ya que algunas son más eficientes en remover fósforo, nitrógeno, carbono entre otros, además en la formación de la biopelículas, se prefiere muchas veces escoger diferentes bacterias y realizar un consorcio y de esta manera lograr mayor remoción, haciendo uso de la bioprospección escogiendo bacterias de la misma agua residual de tal manera estas mismas ayuden a remover DBO y DQO, la manera más común para la reproducción de las bacterias es por fisión binaria, donde la célula original se convierte en dos organismos nuevos. El tiempo requerido para cada división, conocido como tiempo de generación o de duplicación, puede variar desde menos de 20 minutos hasta varios días. (L N. T., 2012), Las bacterias son los microorganismos que en mayor proporción constituyen la biomasa de los lodos activados (95%) (Romero., 2000).

11. CONCLUSIONES

Para las aguas residuales de empresas de bebidas no alcohólicas si es viable hacer uso de biopelículas ya que estos logran disminuir más de un 90% en DBO y DQO, sin embargo, esto varía según el sistema si es en base a MBBR o FBBR, donde el primero se caracteriza por disminuir altas cantidades de carga volumétrica pero no se puede usar caudales mayores a un 70% de la capacidad del reactor a diferencia del segundo que no hay limitaciones en el caudal sin embargo no se logra disminuir más de un 85% de la carga orgánica.

El método de bioprospección es eficiente ya que aprovecha organismos que ayude a la remoción de contaminantes como es el caso de aguas residuales industriales de empresas de bebidas no alcohólicas de esta manera se permite una producción y

manejo de recurso biológico de manera continuada y con una cantidad suficiente sin afectar la biodiversidad y mejorando la calidad del ambiente, es recomendable realizar la producción en medio líquido ya que esto ayuda a su rápido crecimiento.

los géneros bacterianos más eficientes en la remoción de carga orgánica de contaminantes y que se han usado en sistema de fijación de biopelículas son de género *Bacillus* sp., *Pseudomonas*, *Proteobacterias*, *Aphaproteobacterias* y *rizoféricas*.

REFERENCIAS

Agencia de Noticias UN. (18 de Abril de 2017). Nuevo método elimina desechos tóxicos de la industria licorera. *Medio ambiente*, pág. 1. Obtenido de <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/articulo/nuevo-metodo-elimina-desechos-toxicos-de-la-industria-licorera.html>

Ambientum. (2020). *Determinación de compuestos de fósforo*. Obtenido de Ambientum: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_compuestos_de_fosforo.asp#:~:text=Los%20fosfatos%20y%20compuestos%20de,aguas%20naturales%20en%20peque%C3%B1as%20concentraciones.&text=La%20forma%20asimilable%20del%20f%C3%B3sforo,en

Bott T. (2011). *Biofilms en la industria*. Elsevier. Obtenido de https://www.mendeley.com/catalogue/7b0198a6-edc3-376b-9b2e-ed9c7bc179b8/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.4&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B104796c7-2a46-3a35-83b1-f1252469ca21%7D

Burghate, S. P. (2013). Fluidized Bed Biofilm Reactor – A Novel Wastewater Treatment Reactor. *International Journal of Research in Environmental Science and Technology*, 11. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Dr_Nitin_Ingole2/publication/259811916_Fluidized_Bed_Biofilm_Reactor_-_A_Novel_Wastewater_Treatment_Reactor_2013/links/0046352df98aea9e4f000000/Fluidized-Bed-Biofilm-Reactor-A-Novel-Wastewater-Treatment-Reactor-2013.pdf

Caracterización Microbiológica. (2019). *Microorganismo y medios de cultivo utilizados*. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2685/5_-_Caracterizaci%C3%B3n_microbiol%C3%B3gica.pdf?sequence=10&isAllowed=y

Carmen Arnáiz, L. I. (2000). Tratamiento biológico de aguas residuales. *Tecnología del Agua*, 7. Obtenido de <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/edar.pdf>

Cleantech, C. (2019). *Sistema de tratamiento biológico tipo FBR*. Países bajos : Colubris .

- Cubillos, A. S. (2019). *Diseño y evaluación de un reactor biológico de lecho móvil de cargas secuenciales como alternativa de tratamiento para un vertimiento procedente de una industria farmacéutica*. Bogotá D.C. : Universidad de la Salle .
- Daniel López, H. V. (2010). Biofilms. *CSH perspectives*, 12. Obtenido de <https://cshperspectives.cshlp.org/content/2/7/a000398.full.pdf+html>
- Daniela, D. I. (2019). *Diseño de un sistema de tratamiento asistido de biopelículas para la remoción de PCBS en aguas residuales*. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/173457/Dise%C3%B1o-de-un-sistema-de-tratamiento-asistido-de-biopel%C3%ADculas-para-la-remoci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- E.Baca, A.-M. J.-D.-R.-V. (2014). Redes de señalización en la producción de biopelículas en bacterias: quorum sensing, di-GMPc y óxido nítrico. *Revista Argentina de Microbiología*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754114700793?via%3Dihub>
- El-Din, Z. Y. (2018). Análisis sistemático de la comunidad microbiana en un reactor de biopelícula de lecho fijo para el tratamiento de aguas de proceso de arenas petrolíferas (OSPW). *Nueva biotecnología*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678418312585?via%3Dihub>
- Elizabeth Silva, J. E. (2007). *Estudio de caracterización de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua utilizadas en la industria de alimentos, Colombia ¿, 2007*. Biomedica. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/bio/v30n3/v30n3a15.pdf>
- Escuela Organizacional Industrial. (2010). *Características y tratamientos de las aguas residuales industriales por sectores: agrícolas y alimentarias II. Instalaciones bodegueras, bebidas alcohólicas y*. Sevilla.
- F. Velasco, A. M. (2019). *Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no*. Bogotá D.C. : Ciencia e Ingeniería .
- F. Velasco, A. M. (2019). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para la remoción de carga orgánica en industria de bebidas no alcohólicas. *Entre ciencia e ingeniería*, 10. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v13n26/1909-8367-ecei-13-26-00017.pdf>
- Facultad de Ciencias Químicas Universidad Veracruzana. (2019). UNIDAD 2. BIORREACTORES Y SU APLICACIÓN. *Bioingeniería*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion>
- FANDOM. (2019). Enterobacteriaceae. *Microbiología Fandom*. Obtenido de <https://salud.fandom.com/wiki/Enterobacteriaceae>

- Flemming, H.-c., & Wingender, J. (2010). The biofilm matrix. *Nature reviews microbiology*.
Obtenido de
<https://bbibliograficas.ucc.edu.co:2149/docview/742650307/fulltextPDF/8613B7C7DB344747PQ/1?accountid=44394>
- Gandarillas, J. I. (2010). Diseño de un sistema de depuración de aguas residuales en el Municipio de San Jorge. *E.O.I*, 100. Obtenido de
[file:///C:/Users/Acer/Downloads/componente48423%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Acer/Downloads/componente48423%20(1).pdf)
- Gloria Correa Restrep; Hernán Cuervo Fuentes. (2012). Monitoreo del sistema de lagunas. 16. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a04.pdf>
- Gloria Lucía, C. C. (2009). EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REACTORES DE LECHO FIJO UTILIZANDO AGUAS MIELES RESIDUALES DE TRAPICHES ARTESANALES. *Corporación Autónoma*, 37. Obtenido de <file:///C:/Users/Acer/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeLaEficienciaDeReactoresDeLechoFijoUtil-3223235.pdf>
- Gómez, N. M. (2019). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de
<https://issuu.com/nicolasmojicagomez/docs/final-no-va-mas>
- Gonzalo, L. C. (2014). *Estudio de medio de soporte para crecimiento bacteriano aplicado al tratamiento biológico aerobio de aguas residuales*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- H. J. Choi, A. H. (2012). Comparison between a moving bed bioreactor and a fixed. *Water Science & Technology*, 5. Obtenido de
https://watermark.silverchair.com/1834.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kKhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAA28wggNrBgkqhkiG9w0BBWagggNcMIIDWAIBADCA1EGCSqGSib3DQEHATAeBgIghkgBZQMEAS4wEQQM_N9Jef-T5i7JOUH6AgEQgIIDIIN6zLQkQUUsMPpK0FOWqzvTwyFpDJv15P440F9XVrTthZX3wvpv
- I. Lasa1, J. L. (2005). *Bacterial Biofilm and Infection*. Scielo.
- Iberica, Tecnología del plástico. (2021). *Demanda biológica de oxígeno (DBO5)*. Obtenido de GRAF: <https://www.grafiberica.com/depositos-soterrados/como-recuperar-agua-de-lluvia/lexico/demanda-biologica-de-oxigeno-dbo5.html>
- IDEAM. (2002). *DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN AGUA SECADOS*. Bogotá D.C. .
- IDEAM. (2020). METODOLOGIA PARA LA EVALUACION APROXIMADA DE LA CARGA COTAMINANTE . *PNUMA, PAM* , 30.
- Insunza, M. G. (2008). Comportamiento de un reactor de biopelículas para Tratamiento de agua residual a diferentes velocidades de flujo. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* .
- Irina Salgado-Bernal, A. M.-S.-V.-A. (2012). Diversidad de las bacterias rizosféricas asociadas a plantas de *Typha domingensis* en humedales del río Almedares. *Red de Revista*

Científicas de América Latina, 8. Obtenido de
<https://www.redalyc.org/pdf/1812/181226874003.pdf>

- Javier, M. R. (2013). *Desarrollo de tratamientos aerobios en medio fijo*. Ciudad de México: CINAM (Colegio de Ingenieros ambientales de Mexico A.C. Obtenido de https://www.cmic.org.mx/comisiones/sectoriales/infraestructurahidraulica/noticias_principales/GREENEXPO/Water%20Mex/Miercoles/tratamientos%20de%20AR/mix2-IngEJavierManrique.pdf
- L, E. G. (2013). TÉCNICAS Y MÉTODOS DE USO DE LAS BIOPELÍCULAS EN LA BÚSQUEDA DE PROCESOS DE BIORREMEDIACIÓN. *Scientific international journal*. Obtenido de https://www.mendeley.com/catalogue/3a162e9f-c764-3bdb-8f78-3ad39db46d92/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.4&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B718a9cfc-14db-4d14-8780-26479638605c%7D
- L, N. T. (2012). Bioincrustación de membranas de tratamiento de agua: una revisión de las causas subyacentes, técnicas de monitoreo y medidas de control. *MDPI*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2077-0375/2/4/804/htm>
- Linares Abner, P.-S. M.-C.-Q. (2017). TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN UNA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS NO. *Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado"*, 19. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/93512684.pdf>
- Lobo, C., & Arturi, T. (2013). *EVALUACIÓN DEL DESARROLLO DE BIOPELÍCULA PARA EL*. Argentina: CAIQ.
- López, R. R. (2018). Análisis del proceso BAS para el tratamiento. *UNIVERSIDAD DE CANTABRIA*. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14154/409380.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López-Isunza, M. G.-B. (2008). Comportamiento de un reactor de biopelículas para tratamiento de agua residual a diferentes velocidades de flujo. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*.
- Mario González-Fuentes¹, F. L. (2010). Especies de la familia Enterobacteriaceae en heces de lobo marino común, *Otaria flavescens* establecido en el río Valdivia. *Scielo Revista de biología marina y oceanografía*. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572010000200015
- Marisol Betancourth, J. E. (2004). Biopelículas: una comunidad microscópica en desarrollo. *Colombia Médica*. Obtenido de <http://uvsalud.univalle.edu.co/colombiamedica/index.php/comedica/article/view/312>

- Marquez, B. F. (2016). Reúso de Aguas Residuales Tratadas con un Reactor de Biopelículas Multietapas. *iAgua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/reuso-aguas-residuales-tratadas-reactor-biopeliculas-multietapas>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (2015). *Resolución No. 631*. MINAMBIENTE.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2019). *GESTION INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO*. Bogotá D.C. Obtenido de http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/237324/Nelson+Vargas_IDEAM.pdf
- Navarro, M. O. (2007). *DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 5 días, INCUBACIÓN*. BOGOTÁ D.C.: IDEAM. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Agua*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- O'Toole, G. K. (2010). Descripción de biofilms, desarrollo e importancia de su estudio. Impacto de las técnicas de micro nanofabricación en sistemas biológicos. *Annu Rev Microbio*, 44. Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2685/1_-_Descripci%C3%B3n_de_biofilm_desarrollo_e_importancia_de_su_estudio._Impacto_de_las_t%C3%A9cnicas_de_micro-nanofabricaci%C3%B3n_en_sistemas_biol%C3%B3gicos.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Palomino Lucano, G. R. (2007). *Aguas residuales; Tratamiento de aguas residuales; Eficiencia de remoción; Biopelícula*. Lima: Universidad nacional de Ingeniería. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1933>
- Prof.Dr. Tom Coenye, P. ., (2019). *BIOFILM*. ELSEVIER.
- RIVAS, J. P. (2017). *ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA PARA UNA PLANTA*. Santiago, Chile: UNIVERSIDAD DE CHILE. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/148239/Analisis-de-ciclo-de-vida-para-una-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rivera, M. F. (2010). Diseño y construcción de un bioreactor Batch aerobio para cultivo de bacterias biodegradadoras de petróleo. *Escuela superior politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2651/1/96T00138.pdf>
- Rodríguezm, C. H. (2007). *DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO*. Bogotá D.C.: IDEAM. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

Romero., J. A. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Diseño*. Bogotá Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Salas, D. G. (2018). *DISEÑO DE SISTEMAS DE BIOPELÍCULA, PARA TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES*.

Stood, L. e. (2019). Minimum information guideline for spectrophotometric and fluorometric methods to assess biofilm formation in microplates. *Biofilm, ScienceDirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590207519300103#!>

Torres, O. (2011). La bioprospección en Colombia. *Revista Expediño*. Obtenido de https://www.mendeley.com/catalogue/bf35fca9-e057-3ec7-9caf-c0adb64b8c5d/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.4&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7B20524126-b8bb-45e3-b9fe-052157092e96%7D

USGS. (2020). *Los efectos de la urbanización y la agricultura*. Obtenido de <https://water.usgs.gov/gotita/urbannitrogen.html#:~:text=en%20la%20calidad%20del%20agua%3A%20Nitr%C3%B3geno&text=El%20nitr%C3%B3geno%20en%20exceso%20puede,llega%20hasta%20las%20aguas%20profundas>.