

**Evaluación de la Remoción de Nutrientes y Materia Orgánica por
Microalgas y Bacterias como Alternativa de Tratamiento de Aguas
Residuales.**

María A. González Hernández y Heyllyn A. Landazábal
Castro

Escuela de ingenierías, Facultad de ingeniería
ambiental Universidad Pontificia Bolivariana,
Seccional Bucaramanga, 2022

**Evaluación de la Remoción de Nutrientes y Materia Orgánica por
Microalgas y Bacterias como Alternativa de Tratamiento de Aguas
Residuales.**

María A. González Hernández y Heyllyn A. Landazábal Castro

Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniera Ambiental

Dirigido por:

Ing. Alexandra Cerón Vivas PhD.

Escuela de ingenierías, Facultad de ingeniería
ambiental Universidad Pontificia Bolivariana,

Seccional Bucaramanga, 2022

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, 14 de febrero de 2022

Agradecemos al todo poderoso por permitirnos cumplir esta gran meta que es el comienzo de grandes proyectos. Agradecemos a todas las personas que nos apoyaron moralmente, que nos impulsaron día a día para poder cumplir nuestra meta. Gracias a ellos logramos culminar una gran etapa de nuestras vidas.

Agradecemos a la Universidad, especialmente a la facultad de Ingeniería Ambiental, profesores, personal agregado por brindarnos parte de su tiempo y conocimiento en los diferentes enfoques en el transcurso de la carrera. Agradecemos a nuestra directora de tesis, Alexandra Cerón Vivas, por el tiempo que nos prestó para poder impulsar este proyecto, porque sus observaciones y aportes nos ayudaron en gran parte para hacer todo esto posible.

María A. González Hernández, Heyllyn A. Landazábal Castro

Dedicatoria

A mi nona Fanny quien me ayudó y educó para llegar lejos y lograr todas mis metas. Por su incondicionalidad y dedicación de años de su vida para sacar lo mejor de mí.

A mi tío Orlando quien decidió creer en mi potencial y ayudarme a lograrlo todo. Su apoyo económico y emocional, como elemento clave y fundamental en mi aspiración a ser mejor persona y salir adelante desde muy pequeña. Me motivaste a mejorar cada día de mi vida escolar y universitaria.

Cami gracias por acompañarme en cada día y noche de trabajo y por apoyarme siempre. A mi tía Gloria que me alimento y también me educó para llegar más lejos en la vida.

Finalmente, muchas gracias a todos mis compañeros que fueron de gran apoyo y soporte en las materias difíciles y trabajos pesados, noches de desvelos para ser siempre los mejores. Muchas gracias, siempre estarán presentes en mi vida.

Heyllyn A. Landazábal Castro

Dedicado principalmente a Dios, por permitirme grandes oportunidades a lo largo de mi vida para poder cumplir mis metas. A mis padres, abuelos y tíos, por sus consejos, comprensión y apoyo incondicional, al amor de mi vida J.R, por su gran cariño y complicidad.

María A. González Hernández

Tabla de contenido

Evaluación de la Remoción de Nutrientes y Materia Orgánica por Microalgas y Bacterias como Alternativa de Tratamiento de Aguas Residuales.....	1
Evaluación de la Remoción de Nutrientes y Materia Orgánica por Microalgas y Bacterias como Alternativa de Tratamiento de Aguas Residuales.....	2
Nota de Aceptación.....	3
Dedicatoria	5
1. Introducción	11
2. Planteamiento del problema	13
3. Antecedentes	14
4. Justificación	19
5. Objetivos.....	21
5.1. Objetivo general.....	21
5.2. Objetivos específicos	21
6. Marco teórico.....	22
6.1. Aguas residuales.....	22
6.2. Microalgas	23
6.3. Bacterias	25
6.4. Consorcio Alga-bacteria	25
6.5. Nutrientes	26
6.5.1. Nitrógeno	26
6.5.2. Fósforo	26
6.6. Tratamiento de aguas residuales con microalgas.....	27
7. Metodología	29
7.1. Etapa 1: Búsqueda de información	29

Tabla 1	30
7.2. Etapa 2: Selección de información	31
7.3. Etapa 3: Comparación de la eficiencia de las microalgas y consorcios alga-bacteria utilizados para la remoción de nutrientes, a partir de revisión bibliográfica	32
7.4. Etapa 4: Identificar el aporte de consorcios alga-bacteria sobre la remoción de diferentes contaminantes presentes en aguas residuales.....	33
7.5. Etapa 5: Soluciones de tratamiento con consorcios alga-bacteria para la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales.....	33
8. Resultados y discusión	34
8.1. Eficiencia de microalgas y consorcios alga-bacteria utilizado para la remoción de nutrientes	36
Tabla 3.	46
8.2. Aportes de consorcios alga -bacteria sobre contaminantes en diferentes tipos de aguas residuales.....	48
Tabla 4.	53
8.3. Soluciones de tratamiento para la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales	57
Tabla 5	60
9. Conclusiones	63
10. Referencias	64

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Filtros empleados en la búsqueda bibliográfica realizada en las bases de datos

.....

30

Tabla 2. Análisis de criterios de manejo ambiental

.....

31

Tabla 3. Comparación de experiencias y la eficiencia de consorcios microbianos experimentados

.....

46

Tabla 4. Aportes de consorcios microbianos en la remoción de contaminantes

.....

52

Tabla 5. Estrategias de manejo para la mejora en los procesos de descontaminación con consorcios microbianos

.....

59



RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

- TITULO:** EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES Y MATERIA ORGÁNICA POR MICROALGAS Y BACTERIAS COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
- AUTOR(ES):** María A. González Hernández
Heyllyn A. Landazábal Castro
- PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Ambiental
- DIRECTOR(A):** Alexandra Cerón Vivas

RESUMEN

El trabajo tuvo como finalidad identificar los principales parámetros asociados con la eficiencia y el análisis de la efectividad de sistemas de biorremediación y de remoción de contaminantes orgánicos, relacionados con los consorcios microbianos, para el tratamiento de aguas residuales domésticas, industriales y pluviales. Teniendo en cuenta se revisaron aproximadamente 20 artículos en donde se lograron determinar procesos asociados. Generalmente con la utilización de consorcios microbianos en parámetros in situ y también la utilización de medios de cultivo como los denominados Bold basal modificado, el trabajo también tuvo como finalidad establecer las principales parámetros relacionados con la biorremediación y el desarrollo de trenes de descontaminación, asociando las características de la calidad de agua, para los procesos de remoción de nitrógeno, metales pesados, fósforo, y también para características relacionadas con el agua entre las que se destacan la demanda biológica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, y la composición de nitratos y sulfatos en el agua, estos aspectos son muy importantes para la generación de procesos de descontaminación y formación de construcción microbial

PALABRAS

CLAVE:

Remoción, Nutrientes, Microalgas, Tratamiento, Aguas residuales

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EVALUATION OF THE REMOVAL OF NUTRIENTS AND ORGANIC MATTER BY MICROALGAE AND BACTERIA AS AN ALTERNATIVE FOR THE TREATMENT OF WASTEWATER

AUTHOR(S): María A. González Hernández
Heyllyn A. Landazábal Castro

FACULTY: Faculty of Environmental Engineering

DIRECTOR: Alexandra Cerón Vivas

ABSTRACT

The purpose of the work was to identify the main parameters associated with the efficiency and the analysis of the efficiency of bioremediation systems and removal of organic pollutants, related to microbial consortia for the treatment of domestic, industrial and rainwater wastewater. Taking into account approximately 20 articles were reviewed where it was possible to determine processes associated Generally with the use of microbial consortia in in situ parameters and also the use of culture media such as the so-called modified basal Bold, the work also aimed to establish the main parameters related to bioremediation and the development of decontamination trains associating the characteristics of water quality, for the processes of removal of nitrogen, heavy metals, phosphorus, and also for characteristics related to water, among which biological demand stands out. of oxygen, the chemical oxygen demand, and the composition of nitrates and sulfates in the water, these aspects are very important for the generation of decontamination processes and the formation of microbial construction.

KEYWORDS:

Removal, Nutrients, Microalgae, Treatment, Sewage water

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. Introducción

El crecimiento poblacional y el aumento de los impactos ambientales generados por el uso de los recursos naturales y en especial por el aumento de su oferta, que se ha registrado a nivel global durante las últimas décadas, está asociado a la tendencia creciente en la generación de residuos, como es el caso de las aguas residuales urbanas.

El vertido de efluentes con alto contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y otros componentes resulta en el proceso de eutrofización: aumento del crecimiento de plantas y algas acuáticas, modificación de la biodiversidad natural del ecosistema, y en los casos más graves la degradación completa de los ecosistemas. (Barreiro S. N., 2019, pág. 9) Con el paso de los años se han desarrollado tecnologías orientadas a la preservación y conservación del medio ambiente, así como estrategias de reducción, reciclaje y reutilización de los residuos.

Los tratamientos de aguas residuales basados en microalgas se han estudiado desde principios de la década de los 50. Sin embargo, en los últimos años, han recibido una atención en el uso de estos tratamientos debido a la sostenibilidad de los fotobiorreactores que se están moviendo hacia la pequeña huella y el ahorro de energía.

El creciente problema del calentamiento global, el consumo energético en el sector del agua y los altos costos del exceso de lodos que se desechan, implican un cambio de paradigma en las configuraciones de las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales tanto ambiental como económicamente. (Foladori, Petrini, & Andreottola, 2018)

El uso de microalgas para mejorar la calidad del agua se presenta como un método amigable con el medio ambiente. La aplicación de estas en la industria de aguas residuales es limitada,

sin embargo, han sido usadas exitosamente para el tratamiento de aguas domésticas como industriales, es una tecnología de bajo costo, ya que el sistema recicla los nutrientes principalmente fósforo y nitrógeno, y posteriormente se eliminan, evitando riesgos de eutrofización en los efluentes aledaños al vertimiento expuesto.

Debido a estos elementos mencionados anteriormente, el objetivo de este trabajo es identificar los principales parámetros asociados con la eficiencia y el análisis de la efectividad de sistemas de biorremediación y de remoción de contaminantes orgánicos, relacionados con los consorcios microbianos para el tratamiento de aguas residuales domésticas, industriales y pluviales.

2. Planteamiento del problema

El trabajo de investigación surge como revisión bibliográfica en procesos convencionales de remoción de nutrientes y materia orgánica en aguas residuales municipales. Nutrientes como el nitrógeno y el fósforo generan impactos considerables en los cuerpos de agua, ya que pueden incidir en la estabilidad de los ecosistemas acuáticos, la eutrofización y la incorporación de niveles tóxicos que pueden afectar a las comunidades biológicas y a la salud humana, inclusive en muy bajas concentraciones. (Cárdenas & Sánchez, 2013, pág. 73)

Se ha demostrado la capacidad de las microalgas para la eliminación de nutrientes, siendo esto evidencia de estudios realizados tanto para aguas residuales sintéticas como reales. Dada su capacidad de remoción de nitrógeno y fósforo específicamente y la facilidad de asimilación de la energía solar, se identifican los cultivos de microorganismos fotosintéticos junto con bacterias para minimizar cargas orgánicas y de nutrientes de un efluente anaerobios.

3. Antecedentes

La capacidad de las microalgas para realizar remoción de nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, ha sido ampliamente investigada, así como el efecto combinado entre microalgas y bacterias, para no solo remover nutrientes, sino también materia orgánica presente en el agua residual. A continuación, se presenta una relación de algunos trabajos que reportan el uso de microalgas en consorcio con bacterias para el tratamiento de aguas residuales.

Arias et al. (2019), desarrollaron una revisión en donde se establece la fitorremediación por medio de humedales artificiales con el propósito de lograr identificar la efectividad de los humedales y la influencia de los consorcios alga bacteria, identificando procesos de fitorremediación y también los diversos tipos de humedales. Se destaca el humedal de flujo superficial y el humedal de flujo subsuperficial, los cuales fueron evaluados en fincas porcícolas teniendo en cuenta las condiciones de operación y la caracterización de los tipos de especies vegetales y consorcios microbianos que pudieron establecer la utilización del *nitrobacter* y su combinación con un medio de cultivo como la grava en estos reactores. El trabajo consistió en el diseño e implementación de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales de la unidad productiva de cerdos del Centro de los Recursos Naturales Renovables La Salada, basado en un ensayo piloto de fitorremediación. El propósito del proyecto fue evaluar la efectividad de los humedales para reducir la carga contaminante como sistemas económicos de tratamiento en las granjas porcícolas en Colombia. De los humedales de flujo superficial que fueron analizados (20), en un 15% establecieron un consorcio microbiano positivo que redujo en un 20% la relación de la demanda química de oxígeno con las cargas orgánicas presentes.

Por otro lado, Yanyan Su et al. (2011), en su estudio “*Tratamiento de aguas residuales municipales y acumulación de biomasa con un cultivo de algas- bacteria sin aguas residuales y aislables*”, utilizaron un cultivo de un consorcio algas-bacterias cultivado a partir de aguas residuales, en un fotobiorreactor de tanque agitado en condiciones de laboratorio, para eliminar el carbono y los nutrientes en las aguas residuales municipales y acumular biomasa simultáneamente. Este estudio explora una mejor comprensión de un sistema de algas-bacterias y ofrece nueva información sobre el uso posterior de la biomasa acumulada durante el tratamiento.

He et al. (2013, pág. 146), analizaron el efecto combinado de las bacterias y algas en consorcio y el efecto individual de las microalgas. La *Campilobacter vulgaris* jugó un papel dominante en la eliminación de nitrógeno y fósforo, mientras que las bacterias eliminaron la mayor parte de la materia orgánica de las aguas residuales. Al tratar las aguas residuales no esterilizadas, se encontró que las bacterias inhiben el crecimiento de algas a >231 mg/L de carbono orgánico disuelto (COD). El uso del consorcio de algas y bacterias dio lugar a la eliminación del 97% de NH_4 , 98% de fósforo y 26% de COD a un nivel total de nitrógeno (NT) de 29-174 mg/L. Los valores de las constantes de la velocidad de reacción (k) en aguas residuales esterilizadas y no esterilizadas fueron de 2,17 y 1,92 mg de $\text{NH}_4\text{-N}$ /mg de célula de algas-d), respectivamente.

Fatemeh et al. (2014), estudiaron los efectos de las microalgas/relación de lodos activados en el tratamiento cooperativo del efluente anaeróbico de las aguas residuales municipales, habla sobre la capacidad del lodo activado, el cual motiva a las microalgas a crecer y la fotosíntesis es más eficiente. Los resultados muestran que el lodo activado es el principal agente para eliminar el COD, mientras que las microalgas son altamente capaces de eliminar N-NH_4^+ .

Entre algunas aplicaciones en el sector industrial, se encuentran trabajos como el

de Hernández et al. (2012, págs. 82-85), en su investigación titulada “*Tratamiento de aguas residuales agroindustriales utilizando el consorcio de microalgas y bacterias combinado con la digestión anaerobia de la biomasa producida*”, estudiaron dos procesos combinados para producir biocombustibles de segunda generación: la producción de biomasa de microalgas y su uso posterior para producir biogás. Para este trabajo, se inocularon dos fotobiorreactores de 5 L para el tratamiento de aguas residuales de una industria procesadora de papa y de una fracción líquida tratada de estiércol de cerdo con *Chlorella sorokiniana* y bacterias aerobias a 24 ± 2.7 ° C y 6000 lux durante 12 h por día de suministro de luz. Los resultados de la digestión anaeróbica mostraron que el rendimiento de metano fue altamente influenciado por la relación sustrato/inóculo y por la concentración de lípidos de la biomasa, con un rendimiento máximo de metano de 518 ml CH₄ g DQO⁻¹ agregada, usando biomasa con un contenido de lípidos del 30% y una relación sustrato/inóculo de 0,5.

En el contexto de nacional Palencia (2017), efectuó la determinación del efecto del cultivo de *Chlorella sp*; como método de tratamiento *in vitro* en aguas residuales para la remoción de estos contaminantes. Se llevó a cabo el aislamiento de la microalga y posterior escalamiento y obtención de un cultivo monoalgal. Para el bioensayo se evaluaron 2 tratamientos: el primero compuesto por 100% agua residual (T1), mientras que el otro conformado por 75% agua residual y 25% agua purificada (T2) y un control con fertilizante foliar. El bioensayo se inició con un inóculo de 1×10^6 células/ml en un volumen de cultivo de 1,5 L. Las mayores densidades celulares se alcanzaron en los tratamientos con agua residual ($p > 0,05$) sin diferencias significativas entre ambos. Al final del estudio la remoción de nitratos fue del 64,6% en el control.

Igualmente, Foladori et al. (2018), en su estudio “Evolución del tratamiento real en fotobiorreactores y consorcios de microalgas- bacterias utilizando parámetros en

tiempo real”, implementaron estrategias operativas para eliminar altos niveles de contaminantes, utilizando tiempos de retención hidráulica para los consorcios de microalgas- bacterias en sistemas de lodos activados. En este proyecto se identificó que la influencia de los tiempos, en términos de control hidráulico y en especial el desarrollo de un aumento de tiempos, tiene incidencia en una mejorar los procesos de remoción de contaminantes, como también el manejo de los esquemas de menores tiempos en el proceso de remoción hidráulica, tiene efectos negativos en el marco de los niveles de remoción de contaminantes, en especial los asociados con el nitrógeno y el fósforo en el ámbito de la investigación.

En la UPB se han realizado varios estudios relacionados con el uso de microalgas para la remoción de nutrientes y materia orgánica. Inicialmente Serrano (2015), realizó un trabajo en el cual se evaluó el análisis experimental relacionado con 150 unidades experimentales en donde se realiza la construcción de un fotobiorreactor y se establece el módulo de iluminación de 4700 lux de lámparas fluorescentes con ello identificando que la utilización del agua residual sintética, que se realiza para efectos del análisis y del estudio tiene como objetivo establecer la modificación de nitrógeno y demanda química de oxígeno. Dando como resultado, que la variación de la concentración de demanda química de oxígeno en el tiempo obtener obtiene un 73% de la remoción al tercer día teniendo en cuenta las diversas concentraciones utilizadas con ello mostrando que no existen variaciones significativas en algunos picos de aumento que pueden estar causados por la muerte celular, en gran medida establecen unas medidas de revisión y de análisis ambiental importantes que permiten establecer la capacidad de remoción de estos consorcios microbianos utilizados en los cuales se establecieron especies de microalgas como *Chrorella*, *Ulotrix*, *Scenedesmus*.

Posteriormente, Martínez y Navarrete (2016), evaluaron la influencia de la

concentración inicial de microalgas y nutrientes sobre los metabólicos producidos, el crecimiento de la biomasa algal y la remoción de nitrógeno y ortofosfatos. Para este trabajo, se utilizó un cultivo de microalgas nativas de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. A partir de los resultados obtenidos, se logró producir metabolitos de valor agregado como proteína y clorofila, las cuales, mostraron una tendencia al aumento con el tiempo. Igualmente, se determinó que el uso de microalgas provenientes del sistema de tratamientos de aguas residuales es una buena alternativa para la biorremediación del agua residual, teniendo en cuenta que las microalgas se encuentran adaptadas a las concentraciones de nutrientes y otras sustancias presentes en el agua residual.

Finalmente, Castro y Reyes (2016), en su trabajo de grado “Remoción de nitrógeno y fósforo de un efluente anaerobio mediante la inmovilización de microalgas nativas” destacan las ventajas de la inmovilización de las microalgas como una técnica que ha sido utilizada recientemente en el tratamiento de aguas residuales para la remoción de nutrientes. Para la consecución de los objetivos propuestos, los autores evaluaron dos materiales de inmovilización polietileno de baja densidad y poliuretano rígido, con el fin de seleccionar el material con mejor desempeño. En conclusión, el proceso de inmovilización no afecta significativamente el metabolismo de microalgas, sin embargo, si se adicionan factores externos como el pH y la saturación de nutrientes, estos ocasionan bajos porcentajes de remoción de nutrientes.

4. Justificación

Las aguas residuales generan un problema de contaminación que afectan la salud humana y el entorno al que son conducidas. Nutrientes como el nitrógeno y el fósforo rompen el equilibrio ecológico de las aguas receptoras creando un estado de eutrofización. Las microalgas y las bacterias juegan un papel importante en el tratamiento de esta amenaza que en los últimos años ha incrementado su persistencia en el medio. Como se menciona anteriormente, estos microorganismos presentan la capacidad de remover un exceso de nutrientes para llegar a oxigenar estas aguas residuales, capturando el CO₂ atmosférico y llegando a aumentar su biomasa.

En este caso se expondrá un tratamiento biológico para contrarrestar la contaminación en los ecosistemas acuáticos de los efluentes en un futuro cercano. También, el uso de microalgas y bacterias son una alternativa ecológica que es sostenible y productiva para tratar dichos efluentes. Así mismo, la interacción microalga-bacteria ha tenido bastas investigaciones, ya que mejora la remoción de nutrientes y materia orgánica en comparación a su uso individual (He, et al. 2013)

“La utilización de microalgas es un aspecto fundamental debido a que logra establecer procesos de purificación de agua que están reportados como parte fundamental en proyectos de las plantas de tratamiento de aguas residuales” (Robinson, 1998).

De esta manera, es importante estudiar el comportamiento y las características morfofisiológicas de las algas y bacterias, debido a que su utilización puede consolidar el manejo de sistemas de tratamiento que permitan reducir la carga contaminante en cuerpos hídricos, teniendo en cuenta que estas cargas contaminantes pueden generar afectaciones en la calidad del agua que es tratada para consumo humano.

Con ello, la utilización de mecanismos de depuración de agua por medio de la

utilización de algas y bacterias, se presenta como una alternativa biológica que busca reducir los costos asociados con la contaminación hídrica de los afluentes de agua residuales, asimismo, la importancia de estos procesos radica fundamentalmente en la remoción de compuestos nitrogenados que impactan negativamente y comprometen la calidad de los efluentes, afectando a las comunidades biológicas aguas abajo, teniendo en cuenta que la modificación de las características físicas y químicas del agua, generan comportamientos negativos en el hábitat de especies animales y vegetales.

A causa de esto, la utilización y el desarrollo de mecanismos de depuración de aguas que tenga en cuenta componentes biológicos de bajo costo, como la utilización de algas y bacterias, es una estrategia muy importante que puede permitir y consolidar la optimización de los vertimientos generados por las aguas residuales, tanto domésticas como industriales.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Formular alternativas de tratamiento de contaminantes presentes en aguas residuales, basados en sistemas de microalgas y/o en consorcio alga-bacteria.

5.2. Objetivos específicos

- ✓ Comparar la eficiencia de las microalgas y consorcios alga-bacteria utilizados para la remoción de nutrientes, a partir de revisión bibliográfica.
- ✓ Determinar el aporte de consorcios alga-bacteria sobre la remoción de contaminantes presentes en diferentes tipos de aguas residuales.
- ✓ Proponer soluciones de tratamiento con consorcios alga-bacteria para la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales.

6. Marco teórico

6.1. Aguas residuales

Se denominan aguas residuales a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial en procesos de transformación y/o limpieza (Bernal, 2018). Las aguas residuales son producto principalmente de las actividades humanas. Para un tratamiento y disposición apropiado, se debe tener el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas y los efectos de ellas en las fuentes receptoras. El agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas. (Bermeo, 2011).

Antiguamente las aguas residuales no recibían ningún tratamiento. En su lugar eran utilizadas como fertilizante. Sin embargo, por el año de 1920 se empezó a realizar un tratamiento en las aguas residuales con el fin de disponerlas de una manera más segura en los cultivos como método de riego (Bernal, 2018).

Hoy en día el tratamiento de las aguas se presenta como algo fundamental para mantener la calidad de vida. Existen muchas técnicas para cada tipo de tratamiento existente. Muchas de estas técnicas y tecnologías, permiten la recuperación de recursos y les dan valor a los residuos generados; por ejemplo, la producción de biodiesel a partir de los lodos y recuperación de aceites y grasas para generación de energía (Shilton, Craggs, & Park, 2011).

6.2. Microalgas

Las microalgas son microorganismos unicelulares, fotosintéticos, eucarióticos y procarióticos que pueden crecer en una amplia variedad de condiciones, ya sean aguas dulces, salobres, salinas o incluso residuales.

Estos microorganismos fotosintéticos tienen una mayor eficiencia que las plantas terrestres para la captación de dióxido de carbono y el aprovechamiento de la luz solar, por lo que tienen una mayor productividad en términos de biomasa y metabolitos (Oswald, 2003), Los consorcios diseñados de microalga bacteria tienen un alto potencial de complementariedad para la remoción tanto de nitrógeno y fósforo como de compuestos orgánicos de carbono (Cuello, 2019).

Además, las microalgas pueden servir como un hábitat para las bacterias, protegiéndolas de las condiciones ambientales adversas, consiguiendo así, aumentar el crecimiento bacteriano mediante la liberación de metabolitos extracelulares (Chiquinquirá, et al. 2018)

Las microalgas son precursoras de bio-tratamientos debido a su retentiva fotosintética, se involucran en la capacidad asimilativa de convertir la energía solar en biomasa e involucrar a su metabolismo nutrientes como el fósforo y el nitrógeno, evitando la formación de materia orgánica (lodos) y el consumo de oxígeno presente. Debido a su alta tasa de reproducción y velocidad de crecimiento, tienen mayor rendimiento en biomasa por unidad de superficie que las plantas y, además, se pueden cultivar en tierras no adecuadas para la agricultura.

Las microalgas pueden metabolizar eficientemente los nutrientes de varias corrientes de efluentes (aguas residuales municipales, agrícolas e industriales) y producir numerosos compuestos valiosos como proteínas, carbohidratos y lípidos (Olguín, 2012, pág. 45).

Las microalgas también pueden aumentar el potencial de degradación en los consorcios microbianos, puesto que tienen la capacidad de crecer mixotróficamente (simultaneidad de metabolismo fotosintético y respiratorio) a bajas concentraciones de nutrientes y su tolerancia a circunstancias ambientales extremas puede ser una ventaja competitiva sobre microorganismos heterótrofos (Subashchandrabose, Ramakrishnan, Megharaj, Venkateswarlu, & RaviNaiduab, 2011, pág. 39).

“Las microalgas tienen la capacidad de crecer y hacer fotosíntesis con diferentes fuentes de nutrientes como las sales minerales, en condiciones autotróficas y sustancias orgánicas (como estiércoles y aguas residuales) en condiciones mixotróficas” (Chinnasamy S. 2010). El género *Chlorella* es cosmopolita y por tanto se adapta a diversas condiciones ambientales y nutricionales, pudiendo ser encontrada en el fitoplancton de estanques y lagos, colonizando el suelo o como simbionte en protozoos ciliados (Wehr, 2003).

Adicionalmente, algunas “microalgas pueden crecer en condiciones heterotróficas, usando carbono orgánico en ausencia de luz” (Xu, Miao, & Wu, 2006). Esta plasticidad metabólica les permite “adaptarse a diferentes ecosistemas y procesos biotecnológicos, generando biomasa que puede ser usada en la producción de alimentos, concentrados, compuestos bioactivos, biocombustibles, en la biorremediación y la producción de biofertilizantes” (Chisti, 2007). El creciente aumento en los precios de los fertilizantes inorgánicos y su impacto ambiental negativo, han tenido como consecuencia la búsqueda de fuentes alternativas de nutrientes para los organismos fotosintéticos como las microalgas (Sevrin-Reyssac, 1998).

Las microalgas en un cultivo para fitorremediación deben cumplir con 3 condiciones: alta tasa de crecimiento; alta tolerancia a la variación estacional y diurna si es un sistema abierto; y buena capacidad para formar agregados para una cosecha por

simple gravedad (Park, Craggs, & Shilton, 2011). Las especies algales predominantes dentro de un sistema abierto dependen de factores ambientales, operacionales y parámetros biológicos (McKinney, 1972). En un sistema cerrado se pueden lograr cultivos monoespecíficos aislados del medioambiente (Posten, 2011).

Según Rawat et al. (2011), los géneros “*Chlorella*, *Ankistrodesmus*, *Scenedesmus*, *Euglena*, *Chlamydomonas*, *Oscillatoria*, *Micractinium*, *Golenkinia*, *Phormidium*, *Botryococcus*, *Spirulina*, *Nitzschia*, *Navicula* y *Stigeoclonium* han sido registrados en aguas residuales desde distintas procedencias” (p. 57).

6.3. Bacterias

Las bacterias heterotróficas son capaces de consumir carbono orgánico para reducir la demanda química y bioquímica de carbono, DQO/DBO. Las microalgas fotoautotróficas son capaces de reducir el contenido de nutrientes, nitrógeno y fósforo, en aguas residuales (Cuello, 2019).

La estimulación de los microorganismos autótrofos mediante el aporte de nutrientes esenciales para incrementar su actividad microbiana (bioestimulación), y la introducción de cepas autóctonas o consorcios con las capacidades catalíticas deseadas (bioaumentación), permiten potenciar los procesos de degradación de los contaminantes (Sayara, Borrás, Caminal, Sarrá, & Sánchez, 2011).

6.4. Consorcio Alga-bacteria

Las tecnologías actuales de tratamiento biológico de aguas residuales requieren bacterias heterótrofas, nitrificantes y organismos acumuladores de fosfato (PAO) para la eliminación de materia orgánica y nutrientes. Además, se aplican condiciones aeróbicas y anaeróbicas alternativas, lo que indica que estas tecnologías son complejas en su

funcionamiento. En contraste con estas tecnologías que aplican bacterias para el tratamiento de aguas residuales, los consorcios de algas y bacterias tienen potencial para el tratamiento de aguas residuales

6.5. Nutrientes

6.5.1. Nitrógeno

El nitrógeno es el nutriente más importante para las microalgas (después del carbono) y se incorpora como nitrato (NO_3^-) o como amonio (NH_4^+) (Boivin, 2009).

El contenido en nitrógeno de la biomasa puede suponer desde un 1% hasta más del 10%, y depende de la disponibilidad y el tipo de fuente de nitrógeno. En general, las microalgas pueden tomar nitrógeno del medio en forma de urea, amonio, nitrato, nitrito, nitrógeno gas y óxidos de nitrógeno (NO_x) en algunos casos. El nitrógeno en forma de amonio, cuyo equilibrio de disociación depende de la temperatura y el pH del medio, inhibe también el crecimiento de las microalgas, ya que es en general tóxico para los organismos fotosintéticos (Ruíz, 2011)

6.5.2. Fósforo

Es otro de los macronutrientes esenciales en el crecimiento de las microalgas. Existen factores que ralentizan la toma de fosfatos por parte de las algas, como un pH excesivamente alto o bajo, o la ausencia de iones como potasio, sodio o magnesio. La cantidad necesaria de fósforo es mucho menor que la de nitrógeno para una misma cantidad de biomasa generada. Diversos autores han concluido que la relación N:P en el medio de cultivo influye en la toma de nutrientes por parte de las microalgas, de modo que cuanto más próxima esté a la composición de los microorganismos, mayor crecimiento y toma de nutrientes tendrá lugar. Sin embargo, las microalgas son capaces

de adaptarse al medio de cultivo y tomar uno de los nutrientes en una proporción mayor que la presente, en principio, en su composición celular (Ruíz, 2011, pág. 34).

Aunque el contenido en fósforo de las microalgas es menor al 1%, su deficiencia en el medio de cultivo es una de las mayores limitaciones al crecimiento. En los medios de cultivo suele incorporarse en forma de HPO_4^{2-} o HPO_4^- (Grobbelaar, 2004).

6.6. Tratamiento de aguas residuales con microalgas

El tratamiento biológico de las aguas residuales tiene como finalidad establecer la reducción de la contaminación presente en el recurso hídrico, especialmente la relacionada con la presencia de nitrógeno, fósforo, heces fecales, los cuales tienen implicaciones en las características como la demanda química de oxígeno, la demanda biológica de oxígeno que son necesarias para efectuar la depuración de las aguas residuales.

Cabe destacar que el recurso hídrico es clave para la generación de estrategias que permitan la utilización de microorganismos, debido a que este es considerado fundamental para la composición de los microorganismos, dado que se requieren para el desarrollo de procesos de digestión anaerobia y aerobia en donde este recurso cumple una función muy importante relacionada con el manejo de la gestión hídrica y también con los procesos bioquímicos que existen dentro de las células para el desarrollo de sus dinámicas metabólicas.

La presencia de componentes relacionados con el carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, hacen indispensable el desarrollo de los procesos de manejo de la biomasa en el tratamiento de las aguas, teniendo en cuenta que los procesos de digestión aerobia y anaerobia son alternativas muy importantes para la reducción de la contaminación del agua, debido a los bajos costos que tiene y también a las necesidades de establecer en el

mundo medidas de reducción de la contaminación en el recurso hídrico, e incluso de estrategias que permitan la utilización de biorreactores la mitigación de la contaminación y también a futuro la reutilización del agua.

En este contexto, la eliminación de la materia orgánica, la coagulación de sólidos sedimentables y no sedimentables, así como la estabilización de la materia orgánica, es desarrollada por medio de una variedad de microorganismos específicamente por algas y bacterias. Por lo tanto, hay algunos términos muy importantes y que son fundamentales en el marco de los protocolos de eliminación biológica de la materia orgánica y también la nitrificación en las aguas residuales generada en los procesos humanos, de esta manera la descontaminación del agua por medio de esquemas biológicos son procesos fundamentales en el manejo y desarrollo de sistemas de consorcios microbianos, debido a que estos procesos mencionados anteriormente garantizan el desarrollo del reciclaje de nutrientes en el tratamiento de aguas.

7. Metodología

La metodología realizada para alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo se dividió en tres etapas, las cuales se presentan a continuación:

7.1. Etapa 1: Búsqueda de información

Formular alternativas de tratamiento de contaminantes presentes en aguas residuales, basados en sistemas de microalgas y/o en consorcio alga-bacteria.

El rastreo inicial de la información se realizó a través de motores de búsqueda de Google y Google académico, Igualmente como bases de datos bibliográficas a las que se logró acceder a través de la colección digital de Scopus, en este caso empleando descriptores como: Eficiencia, microalgas, consorcios microbianos, aguas contaminadas, consorcios alga- bacteria.

Posteriormente se realizó una consulta más específica, en donde se utilizaron base de datos como: *Science Direct*, *Springer Link*, *ACS Publications*, *Ebsco*, *Redalyc*, *Web of Science* y *Cochrane Library*. La búsqueda se limitó a artículos con respaldo científico, tesis de pregrado, posgrado, maestría y doctorado, comprendidos entre enero de 2010 y enero de 2020. Los descriptores empleados con las bases de datos, antes mencionadas, fueron: Eficiencia, microalgas, consorcios microbianos, aguas contaminadas, consorcios alga- bacteria, descontaminación, investigación de aguas residuales, biotecnología de algas, bacterias y aguas residuales. La búsqueda fue efectuada con los criterios establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 1*Filtros empleados en la búsqueda bibliográfica realizada en las bases de datos*

Base de datos	Filtros aplicados
<i>Science Direct</i>	<p>Topic: biorremediacion con algas, consorcios microbianos, consorcio alga.</p> <p>Bacteria en aguas residuales</p> <p>Content type: Journal</p> <p>Date published: 2009-2019</p>
<i>Elsevier</i>	<p>Topic: consorcio alga bacteria-biorremediacion, aguas residuales, eficiencia de consorcios microbianos</p> <p>Content type: Journal- article</p> <p>Date published: 2009-2019</p>
<i>Springer</i>	<p>Content type: Article</p> <p>Discipline: Environment</p> <p>Sub-discipline: Pollution and remediation</p> <p>Language: English</p> <p>Date published: 2009-2019</p>

Nota: Elaboración propia

Luego de obtener los reportes con cada descriptor, se verificó a través de los resúmenes de los artículos, la correspondencia con la temática base de esta revisión.

7.2. Etapa 2: Selección de información

Con el propósito de identificar la viabilidad y la potencialidad de los artículos, comotambién sus criterios de inclusión o exclusión, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: **Tabla 2.**

Análisis de criterios de manejo ambiental

Criterios de revisión de documentos		Criterios de exclusión o inclusión de documentos	
Artículo viable	Artículo no viable	Inclusión	Exclusión
Obtención de los artículos potenciales a partir de los títulos y resúmenes elegibles y aplicar los criterios de inclusión y exclusión.	Impedimentos en relación con el idioma y publicación.	Textos académicos (artículos; tesis de pregrado, maestría y doctorado; libros; artículos de periódicos, informes institucionales).	Textos incompletos
Aborda el tema desde la visión de la eficiencia	Decidir sobre las fuentes de obtención de los estudios primarios	Publicaciones del año 2009 al 2019 (Barreiro S. N., 2019) (Martínez & Navarrete, 2016) etc.	Documentos con datos obsoletos según el filtro de tiempo
Propone alternativas de consorcios	Elaboración de los títulos y resúmenes	Artículos con respaldo científico, tesis de pregrado,	Escritos en idiomas diferentes al inglés, o español.

microbianos basado de los potenciales posgrado, maestría y
en la evidencia estudios primarios. doctorado,
científica reciente comprendidos entre
 enero de 2010 y
 enero de 2020.

Rigor en la Presentación de
 metodología y resultados de
 análisis de resultados evaluación
 en donde se compara
 el uso de consorcios
 microalga-bacteria.

Nota: Elaboración propia

Se tomó una selección de la literatura encontrada y se organizó, tanto por contribución individual de microalgas y consorcio microalga-bacteria, como por tipo de agua residual a tratar por las microalgas y bacterias. También se tuvo en cuenta los documentos de revisiones bibliográficas sobre tipos específicos de microalga para tratar las aguas residuales.

7.3. Etapa 3: Comparación de la eficiencia de las microalgas y consorcios alga-bacteria utilizados para la remoción de nutrientes, a partir de revisión bibliográfica

Se realizó un análisis comparativo asociado con los diversos esquemas de manejo de microalgas y consorcios alga bacteria que se han utilizado, el cual está basado principalmente en el manejo y la revisión de los documentos y textos asociados, por lo tanto, se busca identificar cuáles son los principales mecanismos de replicación, manejo

de áreas, y procesos experimentales que se han realizado.

Con ello, analizando los análisis efectuados para identificar los resultados, como también se desarrolla un análisis comparativo de los diversos resultados que se tienen siguiendo diversas metodologías para el manejo y la replicación de los consorcios bacterianos y de microalgas, basándose principalmente en las tasas de remoción y los resultados efectuados para el control de los nutrientes y sustancias contaminantes.

7.4. Etapa 4: Identificar el aporte de consorcios alga-bacteria sobre la remoción de diferentes contaminantes presentes en aguas residuales

Se realizó un análisis y comparación de los principales factores de manejo de los consorcios microbianos, a partir de una revisión bibliográfica relacionada con el manejo de los consorcios microbianos, para consolidar diferentes aportes concernientes con la remoción de contaminantes de aguas residuales

7.5. Etapa 5: Soluciones de tratamiento con consorcios alga-bacteria para la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales

Se determinó según los casos evidenciados en el documento, una serie de procesos que busquen la mejora u optimización de los esquemas de manejo de los consorcios microbianos con el fin de proponer soluciones que mejoren su uso, manejo y condiciones de operación en el marco del arranque de biorreactores relacionados con el manejo de las aguas residuales.

8. Resultados y discusión

En el análisis de información se identificaron 250 documentos, a los cuales se les aplicaron los criterios de selección basados en la inclusión y la exclusión, identificando específicamente el análisis de la eficiencia de la biorremediación de nutrientes y materia orgánica por medio de consorcios de microalga – bacteria en aguas residuales.

Como un resultado fundamental, en la revisión se lograron seleccionar 63 documentos, los cuales fueron incluidos en la revisión bibliográfica y analizados para establecer las conclusiones en el proyecto de identificación de estrategias de análisis para la eficiencia de los consorcios microalga-bacteria en la depuración de aguas residuales.

Según el análisis de los documentos seleccionados, se evidenció que el uso de microalgas y consorcios microbianos de alga-bacteria en remediación de aguas residuales resulta ser una alternativa eficiente, costo-efectiva y eco-amigable para mitigar el impacto ambiental que puede causar tanto la materia orgánica como el exceso de nutrientes (eutrofización) en el agua afectando la fauna y flora acuática. Esta estrategia bioremediativa que se ha estado empleando en diversos estudios tiene en cuenta i) la capacidad natural de remoción o degradación de las microalgas o microorganismos que está sujeta a la composición química de los mismos y ii) las características fisicoquímicas del medio que se desea remediar. El uso de consorcios microbianos es muy importante para el desarrollo de trenes de descontaminación de aguas residuales. Por lo tanto, el uso y el análisis de la eficiencia de estos esquemas logra identificar las principales estrategias de utilización de consorcios microbianos que pueden establecerse según las necesidades de remoción de nutrientes en los procesos de depuración de aguas residuales, sumado a esto la identificación de las características de las aguas residuales y de los parámetros asociados con la contaminación, como la

utilización del suelo y la generación de diversos tipos de actividades industriales en áreas en donde se establecen medidas de impacto ambiental hacen que el desarrollo e implantaciones de los consorcios alga-bacteria sean esquemas idóneos para reducir los procesos ambientales negativos en los ecosistemas acuáticos como lo son la eutrofización y los procesos de sedimentación y colmatación de cuerpos hídricos.

Este trabajo tiene como objetivo aportar significativamente al lector a través de los análisis de los documentos seleccionados en términos de la eficiencia y eficacia de los procesos de biorremediación utilizados por cada autor, teniendo en cuenta la forma en que se llevó a cabo cada estudio: procedimientos experimentales y procedimiento de datos a través de análisis estadísticos y químicos. Cada estudio tiene como fin la disminución del impacto ambiental en el desarrollo de los escenarios asociados principalmente con la reducción de las tasas de contaminación hídrica debido a la generación de vertimientos y altas cargas orgánicas en los cuerpos hídricos en el país (Beltrán-Rocha, 2017).

8.1. Eficiencia de microalgas y consorcios alga-bacteria utilizado para la remoción de nutrientes

Los consorcios de bacterias y algas son muy importantes en los ecosistemas acuáticos y en especial en los procesos de reciclaje de nutrientes y de materia orgánica.

Uno de los procesos desarrollados se titula: "Monocultivos y consorcios bacterianos con aplicación en la asimilación de nutrientes de interés ambiental" por Pérez et al. (2021), endonde se ha podido determinar la importancia de los procesos de vertimientos de aguas residuales domésticas que tienen elevados niveles de contaminación. Se identificó en el trabajo que los problemas asociados al uso inadecuado de los recursos hídricos por el ser humano están relacionados con los vertimientos de aguas y también con la degradación de las aguas, debido a la alta contaminación orgánica. Establecieron que las tecnologías que aplican actualmente procesos biológicos, físicos y químicos tienen altos costos que hacen que los procesos de implementación tengan diversas limitantes en términos económicos y de planeación, esto ha logrado identificar en el contexto de la investigación, que la utilización para la remoción de materia orgánica el nitrógeno y el fósforo monocultivos y consorcios bacterianos a través de su interacción con el agua residual doméstica, en su proceso de implementación se emplearon tres cepas bacterianas *Bacillus subtilis* (AL-25), *Bacillus cereus* (AL-30) y *Micrococcus* sp. (AL-138). Con ellos logrando determinar por el medio del proceso de investigación y basado en la utilización de sistemas mixtos denominados CMB3 y CMB4, con los cuales se logró demostrar específicamente que la utilización de estos monocultivos y mixtos, presentan elevados porcentajes de remoción basados en la demanda química de oxígeno y fosfatos también el desarrollo de procesos con la mezcla entre *Bacillus cereus* (AL-30) y *Micrococcus* sp. (AL-138). determinó en un 80% la tasa de remoción de contaminación asociada con nitrógeno y fósforo.

Igualmente, el uso de las microalgas se ha consolidado en diversos procesos industriales de la depuración de las aguas, de un aumento desde la utilización de este tipo de procesos, debido a los bajos costos que pueden tener, haciendo indispensable que el manejo y la implementación de estas estrategias, logré consolidar que la tecnología aplicada a las microalgas para tratamiento de residuos industriales, persigue generar procesos sostenibles y económicos además que garanticen la eficiencia en la depuración de los vertidos de agua bajo los parámetros estandarizados que permitan preservar el medio ambiente y la calidad de vida, por ello la utilización y la experimentación con lagunas algales de alta tasa representa un beneficio económico al tratar efluentes contaminados y aprovechar la biomasa generada por este tipo de consorcio microbianos, en el estudio titulado "Microalgas para el manejo de aguas residuales, actualidad y perspectivas" por Ramírez (2020), logró identificar y mencionar el uso de estos procesos debido a las necesidades que consolida el manejo y la utilización de los consorcios microbianos a la depuración de aguas residuales teniendo en cuenta que en este proceso se identificó los análisis de la reducción del nitrógeno removido sin reciclaje y su conversión a nitrógeno atmosférico, igualmente el análisis y la adición de cationes como calcio para el proceso de canalización en el manejo de los consorcios microbianos analizados. En este escenario, el proyecto logró identificar que la utilización de microalgas sea utilizada para el tratamiento de aguas residuales por suspensión y por ser una inmovilizada en términos de toxicidad cinética de estos nutrientes en el desarrollo de los consorcios microbianos, además se definió que el tratamiento de las aguas residuales, puede volverse más eficiente teniendo en cuenta el uso de piscinas de microalgas que pueden aumentar en un 20% según los casos analizados el manejo y la implementación de estrategias de depuración en términos de la depuración, y la reducción de contaminación

en los vertimientos de agua.

Igualmente el consorcio alga-bacterias, se ha utilizado para la transformación de las aguas residuales especialmente asociadas con el tratamiento de porcinos, por ello evidenciando la alta adaptación que pueden tener estos elementos en el manejo y la consolidación de estrategias que permitan la implementación de tecnologías para el manejo y la oxidación del dióxido de carbono, el azufre y el nitrógeno por medio de la utilización simbiótica de microalgas y bacterias que se propone como una alternativa para la eliminación del carbono y el ácido sulfhídrico que tienen un alto impacto ambiental en los recursos hídricos,

Por lo tanto, en la investigación, se desarrolló un manejo relacionado del uso de consorcios microbianos que fueron utilizados por medio del tratamiento o purificación biológicos en términos generales es un proceso en el cual los gases contaminados son tratados al hacerlos entrar en contacto con un medio biológicamente activo. Los procesos biológicos enfocados a la purificación de gases son generalmente de oxidación, dando como resultado CO_2 , agua, sulfato (SO_4^{-2}) y nitrato (NO_3^-). Identificando y conectando que las tasas de depuración analizadas en el desarrollo de los análisis muestrales en los pilotos de los biodigestores, determinó que las aguas residuales generadas a diferencia del blanco analizado pueden establecer una reducción aproximada de un 60% en la depuración de las aguas, siendo evidente que la reducción en los niveles de nitrógeno, la disminución en los niveles de azufre y fósforo se consolidaron como una de las principales estrategias para la reducción y la disminución de las sustancias contaminantes.

Igualmente determinó esta solución ingenieria, que la utilización del Nitrobacter, microorganismos eficientes, por medio de tratamientos denominados "High Rate Algal Ponds" establece un nivel de eficiencia en la remoción de sustancias contaminantes y

depuración de los procesos de biodigestión en un 80%, debido a que la implementación de esta estrategia permite la alta utilización de algas y también la preservación de condiciones anaerobias en donde se desarrollan este tipo de seres vivos. Teniendo en cuenta que los procesos de minimización de la afectación ambiental se hicieron por medio de la utilización de *Las Pseudomonas*, las cuales tuvieron en cuenta el desarrollo y el uso de cepas y algas de diversas especies para consolidar el metabolismo de hidratos de carbono hidrocarburos lineales y especialmente de compuestos aromáticos en condiciones de baja temperatura.

El estudio relacionado "*Pseudomonas putida* y *Penicillium Sp.* para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos" determinó que la presencia de consorcio microbiano en los procesos de biorremediación son fundamentales para la depuración de sustancias químicas en suelos contaminados de Samame (2020) logró desarrollar en el trabajo investigativo tomando un gramo de sólo para el desarrollo de análisis químicos y determinar los posibles sustancias químicas contaminantes, igualmente en este proceso se logró a través de una técnica de biorremediación identificar la contaminación de ecosistemas terrestres y su relación con los procesos de contaminación del suelo y el agua con ello identificando específicamente las variaciones de acidez que se dieron en un nivel bajo en los consorcios microbianos esto determinó que el consorcio tuvo un 26% de remoción dando como resultado final que los microorganismos obtenidos del suelo no siempre actúan como biorremediadores y elementos idóneos para los consorcios, haciendo necesario que se logran establecer medidas de agregación y también medidas de manejo que sean más idóneas en la reducción de sustancias contaminantes y también teniendo en cuenta que el porcentaje de remoción con *Penicillium sp.* (*Penicillium chrysogenum*) fue de 53% a comparación de los otros

tratamientos con microorganismos, haciendo evidente que los consorcios microbianos en el recurso suelo y el recurso agua requiere de diversas condiciones de manejo que permitan una eficiencia mayor.

En el proyecto titulado "Diagnóstico de la contaminación por hidrocarburos en playas de Veracruz y biorreactores airlift como propuesta de remediación" logró establecer por medio de la identificación de estrategias muestreando playas aledañas al Puerto de Veracruz a los meses de mayo y Julio del 2018 identificando un chico sano y el benzopireno como sustancias que determinaron la presencia de hidrocarburos con ello Estableciendo por medio de un proceso éxito la utilización de un reactor airlift que contenía agua de mar y también nitrito de sodio como fuente de nitrógeno y una concentración inicial de diesel de 1.5 el consorcio conformado por *Xanthomonas* sp. *Acinetobacter bouvetii*, *Shewanella* sp. y *DeFluvibacter lusatiensis* fue usado como inóculo (0.8 g/ L). Dando como resultado que el aumento de los sólidos suspendidos aumentarán en 0.02 y que la concentración del diesel se redujo en un 98% con ello definiendo que la actividad emulsificante aumentó la tasa de remediación y también el cultivo fue llevado en ausencia de nitrógeno para conocer el consumo de nitrógeno y los efectos en la reducción de la sustancia contaminante de diesel identificando que los niveles denitrógeno son fundamentales en este tipo de consorcios microbianos para la reacción y también el uso de los reactores para determinar condiciones operativas importantes asociadas con la presencia o ausencia de nitrógeno en un proceso de biorremediación usando un consorcio microbiano.

El desarrollo del proyecto "Caracterización de los consorcios microalgas-bacterias en el tratamiento de agua residual urbana" por Barreiro (2019) determinó estudiar la depuración de las aguas residuales urbanas empleando consorcios formados por microbios bacterias centrándose fundamentalmente en las relaciones que existen

entre los dos grupos de microorganismos, en los ensayos se emplearon inóculos de microalgas una mezcla de *Chlorellavulgaris* y *Scenedesmus obliquus* y como inóculo bacteriano fango activo de la depuradora de Castellón de la Plana.

Teniendo en cuenta que este proyecto obtuvo como resultado la reducción de la concentración del nitrógeno amoniacal entre un 53 y 58% y la materia orgánica entre un 86% no se observaron diferencias al utilizar inóculos con diferentes proporciones de microalga bacteria.

Igualmente se definió y detectó la producción de sustancias poliméricas extracelulares siendo como consecuencia los resultados obtenidos que el empleo de sistemas mixtos formados por microalgas y bacterias permite depurar las aguas residuales de manera efectiva viéndose el fluyente que cumplen con los parámetros de vertido requeridos por la legislación más restrictiva en aguas residuales tratadas a nivel mundial de igual manera la correcta depuraciones los sistemas de cultivos deben establecerse desde condiciones adecuadas para el desarrollo de consorcios y también para los compuestos de foto foto oxigénicos como heterótrofos anaerobios que permiten no solamente el desarrollo de un consorcio microbiano.

El trabajo titulado "*Descifrando el Contenido Microbiano de Bioinsumos Comerciales para el Diseño de un Consorcio con Potencial Biofertilizante*" de O'Connor (2019), en donde este proyecto determina la necesidad de desarrollar una caracterización microbiológica y molecular de la microbiota de 4 insumos comerciales provenientes de Nicaragua con el propósito de establecer 22 bacterias de forma bacilar que fueron identificadas en este proyecto y también hongos por medio de un proceso de extracción y secuenciación del ADN (gen ADNr 16S para bacterias y región ITS1-ITS4 para hongos filamentosos).

Igualmente, significado de las muestras las siguientes composiciones: muestra TS: 5 bacterias (*Bacillus pumilus*, *Bacillus thuringiensis*, 2 *Bacillus* sp. y *Stenotrophomonas* sp.) y 3 hongos filamentosos (*Monascus pupureus*, *Neosartorya glabra* y *Aspergillus flavus*- reportado como patógeno para cultivos); muestra LS: 6 bacterias (*Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus* sp., 2 *Stenotrophomonas* sp. y *Paenibacillus* sp.); muestra LL: 3 bacterias (*Bacillus Megaterium*, *Staphylococcus succinus* y *Bacillus* sp.) y 2 hongos filamentosos (*Byssochlamys nívea* – reportado como contaminante en fruta procesada y uno no secuenciado). Zona de occidente, muestra DCL: 9 bacterias (2 *Lysinibacillus macroides*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus flexus*, *Bacillus cereus* – patógeno para ser humano, *Agrobacterium tumefaciens*, 2 *Bacillus* sp. y una *Stenotrophomonas* sp.) y 1 hongo levaduriforme - no secuenciado. Se observó que el 75% de los bioinsumos analizados contienen al menos una cepa contaminante y solo un 25% están libres de patógenos, esto muestra gran diversidad microbiana y falta de calidad evidenciada por la presencia de patógenos en los bioinsumos que son perjudiciales para la planta y el ser humano

En el proyecto titulado “*Evaluación In Vitro De Cepas De Bacillus Sp, Aislados de la Antártida, como Promotoras de Crecimiento En Zea Mays L*” por Guzmán (2021, pág. 22) en este caso los procesos de manejo ambiental se han efectuado desde el contexto del manejo de los esquemas de En el desarrollo de la investigación se logró determinar un total de 83 cepas se logró determinar un total de 3 cepas de catalasa y hemólisis con el propósito de consolidar y mantener el desarrollo de la base Investigativa por medio de semillas que permiten el crecimiento vegetal las cuales se inocularon en una serie de sustratos, (a. Arcilla y b. Compost + Arcilla) esterilizados y depositados en vasos de vidrio (200 cc), en cada vaso se colocó una semilla de maíz variedad Trueno, a los 15 días de germinadas se midió: altura de plántula (AT) longitud de raíz (LR) y diámetro del

talluelo (DT). En la interacción de los factores en estudio y el efecto simple de las cepas de *Bacillus* sp no se encontró diferencias estadísticas en las variables evaluadas; los promedios generales fueron de 15,28 cm (AP), 12,84 cm (LR) y 2,26 cm (DT). El sustrato Compost + Arcilla incidió estadísticamente a favor de LR y DT con promedios de 14,44 y 2,38 cm, respectivamente. Se concluye que los resultados alcanzados son prometedores y resulta necesario continuar validando los microorganismos seleccionados, en ambientes productivos. Con estos resultados se logró detener que el análisis de los consorcios microbianos es fundamental en el contexto de los sustratos para poder mejorar y optimizar el crecimiento de una planta de maíz.

El cultivo de camarón requiere de una serie de manejos ambientales asociados con la depuración de las aguas, debido a las altas cargas orgánicas que tiene este proceso de aprovechamiento pecuario.

En el desarrollo experimental de los procesos de manejo relacionados con el tratamiento de efluentes del camarón se puede definir que principalmente se logró establecer en una camaronera ubicada en el sector de Cabello en Ecuador el análisis de los sólidos suspendidos, fosfatos y amonio, que representan la carga orgánica de los procesos de efluentes en la producción de este tipo de camarones, con el propósito de reducir las afectaciones relacionadas por la contaminación del agua en este contexto se utilizó un diseño completamente al azar con un factor y 4 niveles, se realizaron 4 tratamientos: T1= denominado consorcio bacteriano con una dosis de 1,5 ml/dm³ conformado por: *Bacillus subtilis* ($7,8 \times 10^7$ UFC/ml) *Saccharomyces cerevisiae* ($4,32 \times 10^8$ UFC/ml), *Lactobacillus plantarum* ($10,6 \times 10^8$ UFC/ml) *Lactobacillus acidophilus* ($1,848 \times 10^9$ UFC/ml); T2= denominado consorcio microalgal con una dosis de 1,5 ml/dm³ compuesto por: *Chlamydomonas* sp ($4,59 \times 10^5$ cel/ml), *Chlorella* sp ($3,73 \times 10^6$ cel/ml) y *Scenedesmus* sp ($6,2 \times 10^5$ cel/ml); T3= denominado consorcio de hongos

compuesto por el tratamiento T2 más el hongo *Trichoderma harzianum* (1×10^8 cel/ml).

Dando como resultado la identificación de que la aplicación de los consorcios microbianos autóctonos permite establecer parámetros analizados que se ajustarán a criterios de calidad de agua para el uso agrícola y pecuario con ello determinando que los tratamientos específicamente el tratamiento 2 en donde se utilizaron microalgas es fundamental para el desarrollo de los procesos de reducción debido a la significancia estadística y la alta eficiencia en la remoción de fosfato de amonio como también la mitigación de la generación de impactos asociados con las coliformes totales siendo esto específico en la reducción de la afectación y el impacto negativo que pueden generar este tipo de procesos al no tener un sistema de tratamiento por consorcio microbiano que es de bajo costo que permita la reducción de los impactos.

Una de las estrategias identificadas como mecanismos de manejo de consorcios microbianos para la reducción de contaminación por aguas residuales en cuerpos hídricos se evidencia en el trabajo titulado “La biorremediación con microalgas (*Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque, Colombia”. Los autores utilizaron un tratamiento biológico en la laguna de Ubaque en Cundinamarca, Colombia, por medio de la biorremediación con cepas de microalgas como las *Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*, logrando establecer unos parámetros de biorremediación importantes para reducir la eutrofización determinando que la biorremediación con microalgas es una alternativa viable para disminuir la eutrofización, teniendo en cuenta que en el país se vierten aproximadamente 11.7000 toneladas y 29.000 toneladas de fósforo a los sistemas hídricos que repercute gravemente en los cuerpos hídricos y también la productividad de estos ecosistemas (Posten, Design principles of photobioreactors for cultivation of microalgae, 2009).

Los métodos desarrollados en este estudio para medir la eficiencia se realizaron por medio de un cultivo de adaptación y un estudio cualitativo en donde también se efectuó la caracterización del agua de la laguna de estudio y se realizó un proceso de biorremediación, teniendo en cuenta la actuación de las microalgas y el proceso de biorreactor para la degradación de los nutrientes. Además, se efectuó un análisis porcentual y un análisis de optimización numérico para establecer cuáles eran los indicadores del diseño experimental y los tiempos de duración los cuales se efectuaron en un promedio de 15 días. (Bermeo, 2011).

Dentro de los resultados y conclusiones se puede destacar que la cepa más apta para la aplicación del proyecto fue la *Chlorella vulgaris*, la cual demostró una mayor capacidad de adaptación a las condiciones de la laguna y presentó una remoción superior de los nutrientes. Se recomienda que, en el proceso de biorremediación, la cepa de *Chlorella vulgaris*, sea cultivada a una concentración de V/V de 12.89% en un tiempo de retención de 3.13 días, con el fin de obtener resultados de remoción eficientes y eficaces. Por otro lado, se observó que el manejo idóneo de las cepas y el análisis de las características fisicoquímicas del agua son fundamentales para definir las interacciones de los consorcios alga- bacterias en la laguna. Además, se obtuvieron porcentajes de remoción de 88% para fósforo y 70% para nitrógeno, los cuales se consideran resultados idóneos para un proceso de biorremediación de este tipo de nutrientes en cuerpos hídricos.

En otro estudio realizado por la universidad complutense de Madrid, se caracterizaron consorcios de microalgas y bacterias como las especies *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus* para el tratamiento de las aguas residuales urbanas, estas especies han sido ampliamente utilizadas en otros estudios y se han definido por su alta resistencia a las condiciones de evaluación por un lapso de diez días. Cabe destacar que

en las primeras 24 horas, los cultivos que contienen bacterias de un fango activo y también en condiciones de consorcio de microalgas y bacterias, alcanzan porcentajes de reducción entre el 77% y el 88.5%. De igual manera, se determinaron parámetros de calidad de agua como la demanda química de oxígeno (DQO), cuyo valor obtenido alcanza un 32.2 % en un día de manejo ambiental por parte de un proceso de descontaminación de consorcios microbiales (Blanch, 2017).

Por lo tanto, en la tabla 3 se puede observar una comparación de algunos estudios científicos en donde se plasma los porcentajes de remoción (%) de diferentes sustancias o compuestos químicos como: nitrógeno amoniacal, fósforo, DQO y materia orgánica utilizando consorcios microbianos.

Tabla 3.

Comparación de experiencias y la eficiencia de consorcios microbianos experimentados

Experiencia revisada	Porcentaje de remoción registrados	Sustancias químicas removidas
Martínez, 2016	50%	Nitrógeno amoniacal en aguas residuales
Castro y reyes, 2016	77%	Concentración de nitrógeno amoniacal
	88.5%	Concentración de fósforo
Ramírez, 2020	60% - 80%	Dióxido de carbono el azufre y el nitrógeno
Barreiro, 2019	53 y 58%	nitrógeno amoniacal
	86%	Materia orgánica
Posten, 2009	88%	Fósforo
	70%	Nitrógeno
Blanch, 2017	77% y el 88.5%	Fosforo y nitrógeno
	32.2%	DQO

Nota: Elaboración propia

Los procesos experimentales se efectuaron por medio de los ensayos tipo Batch, en donde se inoculó una mezcla homogénea algas y aguas residuales sin esterilizar en donde se determinó que la eliminación de la materia orgánica se da principalmente en condiciones de intensidad lumínica, lo cual es un factor importante para establecer las condiciones ambientales para el desarrollo de los consorcios microbianos y determinar el nivel de eficiencia que pueden tener.

También se logró identificar en este trabajo que la eliminación del nitrógeno amoniacal se da principalmente de una manera incompleta debido a la poca asimilación directa por parte de los microorganismos que es causado por la descompensación en la relación carbono nitrógeno debido a que las aguas residuales no tienen niveles de carbono idóneos para poder establecer esta relación y poder garantizar el manejo de la reducción de los amonios de una manera adecuada, por lo tanto se obtuvieron porcentajes de remoción de amonio de un 5% (Martínez L. , 2008).

En conclusión, los cálculos de la eficiencia de los procesos mencionados anteriormente en la tabla 3. pueden describir que el desarrollo de medio de cultivo es un escenario importante, para la determinación de las diferencias en los diversos procesos de investigación aplicada a los escenarios de biorremediación, y consorcios microbianos efectuados con el propósito de reducir las tasas y niveles de contaminación de las aguas residuales en términos de contaminación orgánica.

En este escenario se pudieron evidenciar que los aspectos asociados con la eficiencia de las microalgas y los consorcios bacterianos en la remoción de nutrientes en donde se caracterizan que los factores relevantes en el manejo de los consorcios microbianos tienen una influencia asociada a los medios de cultivos, sistemas bióticos, y en conclusión la efectividad de las tasas de formación de biomasa de los consorcios microbianos, todos estos son aspectos relevantes para determinar los esquemas más

importantes y cuáles son las diferencias que se dan en estos trenes de descontaminación (Ruíz, 2011)

8.2. Aportes de consorcios alga -bacteria sobre contaminantes en diferentes tipos de aguasresiduales.

Los aportes efectuados por medio de los mecanismos de consorcios microbianos y los procesos de descontaminación para la remoción de los nutrientes se pueden definir, cómo los principales procesos de control de la contaminación que, por medio del a utilización de biotecnologías de bajo impacto ambiental, pueden lograr el cumplimiento de metas de remoción de contaminantes que sean idóneas en el cumplimiento de la ley y también en el desarrollo de procesos industriales que necesitan de estos mecanismos para el control de sus vertimientos, así mismo es una estrategia de preservación y reducción de cargas contaminantesque llegan a establecerse en los ecosistemas acuáticos (Amaral, 2016).

Uno de los procesos que tiene mayor relevancia, se relaciona principalmente con la implementación de estrategias en el tratamiento biológico de las aguas contaminadas por mediode consorcios microbianos autóctonos donde se aprovechan las potencialidades metabólicas de grupos diferentes de microorganismos degradan y remueven una diversa variedad de compuestos, utilizando mecanismos como la bioestimulación y la bioaumentación, que logran, descifrar que el manejo y la consolidación de las estrategias que se han utilizado en la experiencia de tratamientos de aguas contaminadas con petróleo en la isla de toas, por medio del consorcio microbiano autóctono (*Chlorella* spp.-bacterias se utilice para el tratamiento específicamente relacionado con las aguas contaminadas con petróleo y sus derivados, demostrado así, tener una ruta metabólica común para el catabolismo de hidrocarburos en donde la oxidación del grupo metilo se

ha consolidado como una de las principales herramientas de manejo.

Estas técnicas que fueron reveladas en el estudio titulado: "Consortio microbiano autóctono para el tratamiento de aguas contaminadas con gasoil del puerto de isla de Toas (Venezuela)" determinó según sus autores Díaz et al. (2018), que el desarrollo de estrategias de remediación que han utilizado principalmente la presencia y la producción de pigmentos fotosintéticos, precisa que estas concentraciones en cultivos contaminados reportan una disminución de biomasa y contenido de clorofila, pero específicamente da espacio al aumento de sustancias vivas en los consorcios, teniendo como resultado un manejo adecuado para el desarrollo de los procesos de biorremediación relacionados con derrames de petróleo de alta cantidad.

También se ve evidenciado en el artículo "Degradación del fenol en aguas residuales de baños químicos portátiles del sector construcción mediante *Pseudomonas aeruginosa*" es un trabajo presentado, por Supo (2020, pág. 46), en el cual se determinó por medio de un proceso experimental sobre el aislamiento y la identificación de *Pseudomonas aeruginosa*, en la degradación de los fenoles de las aguas residuales de baños químicos portátiles, debido a que la utilización de estas sustancias químicas no solamente considera una sustancia contaminante en términos de emisiones, igualmente los fenoles tienen una alta carga contaminante los recursos hídricos y en la destrucción de los ecosistemas acuáticos, teniendo en cuenta también que estas sustancias químicas tienen facilidades para la bioacumulación de los recursos bióticos en los ecosistemas hídricos.

Igualmente teniendo en cuenta que las condiciones degradativas del fenol permiten consolidar y establecer la degradación del compuesto aromático sin la presencia de oxígeno. Igualmente debe tenerse en cuenta que este compuesto se incorpora al metabolismo celular por medio de la transformación en intermediarios y por medio de

bioacumulación implicando con ello la interferencia en el sistema de transporte a través de la membrana plasmática y la hidroxilación y escisión del anillo aromático en la sustancia química, con ello logrando establecer una concentración de biomasa y un encapsulamiento por medio de un alginato en los cuales se denominan a las sales y derivados del ácido algínico, el cual se presenta por medio de los procesos de encapsulamiento de la pseudomona para poder establecer la reducción de la contaminación por medio de esta sustancia química existente

Con ello, se logró identificar en el experimento, en dónde se obtuvo 5 unidades muestrales que determinaron en conclusión que la actuación de las bacterias se desarrolló de forma gradual con incrementos de dosificación de fenol debido a que químicamente las concentraciones de 7, 35, 70, 350, 700, 1050, y 1400 mg/L en un medio mineral, determinan acciones relacionadas con la concentración y el cultivo de las cepas teniendo en cuenta una eficiencia del 20% de remoción igualmente identificando que las concentraciones iniciales de sustancias de fenol para el proceso de bioacumulación se desarrollaron en una inmovilización, de geles que han permitido establecer concentraciones de alginato de calcio de 91.4, 0.34, 0.18 y 0.21 mg/L de fenol con remociones del 75.2, 93.2, 96.4 y 95.8 %, respectivamente.

Muchos de estos efectos son importantes para poder determinar la utilidad y la necesidad de establecer estos consorcios microbianos en el desarrollo de estrategias de remediación y también de descontaminación del recurso hídrico (Barreiro S. N., 2019).

Los aportes que se han identificado en el marco de los procesos de gestión de manejo de aguas residuales han tenido una importante relevancia en la depuración de las aguas debido a que estos incluyen: manejo adecuado del recurso hídrico y de regulación de los procesos biológicos, teniendo en cuenta los diversos escenarios en donde se realizan los procesos de descontaminación (Barrantes & Pittman, 2018).

En la revisión bibliográfica realizada, se han logrado definir las siguientes aguas residuales que son claves para definir los aportes que pueden realizarse desde los consorcios microbianos en la remoción de sustancias químicas contaminantes teniendo en cuenta: que las aguas blancas se denominan aguas pluviales, las cuales son uno de los principales esquemas de fotobiorreactores y de esquemas de limpieza de aguas. Cabe destacar que muchos procesos ajenos a vertimientos, por ejemplo, estas aguas residuales que provienen de las lluvias generalmente están contaminadas con cargas orgánicas y también con sólidos suspendidos totales, estos sólidos se caracterizan por ser principalmente arena y suelo que se agrega al recurso hídrico por parte de procesos de erosión (Blanch, 2017)

Al igual entre los componentes comunes de las aguas blancas contaminadas se destacan papeles, colillas de tabaco y excrementos de animales.

La identificación de estos recursos hídricos es muy importante debido a que no solamente se logró establecer los principales parámetros de las aguas que se utilizan en los procesos de manejo de aguas residuales en el desarrollo de proyectos de consorcios microbianos. Por lo tanto el aporte de estos procesos es indispensable para la identificación de los esquemas y tipo de agua en este caso desde el contexto pluvial, sea muy importante para la determinación de los esquemas de descontaminación, aunque son muy importantes en el ámbito ingenieril, también existen aguas negras que se refieren a las aguas residuales urbanas entre las que se encuentran microorganismos en su composición, y también urea, almidones, fosfatos, nitritos y sales (Hernandez, 2013).

La identificación de este tipo de recurso hídrico, es fundamental para el desarrollo de consorcios microbianos y de trenes microbianos relacionados con el manejo de las aguas residuales domésticas que confluyen en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, en donde no solamente la composición es fundamental

para el desarrollo de consorcios microbianos ideales que permitan la utilización de reactores anaerobios de flujo, que son considerados como uno de los principales sistemas para el desarrollo de comunidades bacterianas que sean eficientes según las necesidades de degradación de la urea y también de los fosfatos, con ello siendo indispensable que la caracterización de estas aguas sea uno de los aportes más importantes en el manejo de los consorcios microbianos, con el fin de optimizar y reducir los esquemas asociados con la degradación de los contaminantes generados por parte de las aguas residuales domésticas (García Salazar, 2019).

Otro tipo de recursos o de aguas residuales que son generadas, se denominan aguas residuales industriales que provienen de los procesos de fabricación de tipo industrial asociados con la producción, transformación o manipulación en donde se utilice el agua. Cabe destacar que el sector de la industria es fundamental, sin embargo, altas cargas contaminantes se vierten de forma desmesurada. Las aguas industriales pueden considerarse en algunos casos como aguas residuales urbanas, y en otras como aguas residuales especiales debido a las composiciones de sustancias contaminantes y también de metales que pueden existir en estos procesos (Ruiz, 2011).

Por lo tanto, puede definirse que, la utilización de las aguas residuales y la clasificación de estas para el desarrollo de estrategias de depuración es uno de los principales aportes para el desarrollo de tecnologías y también de estrategias que hayan permitido el control de la contaminación y el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales que conciben manejos adecuados como los que se presentan a continuación:

Tabla 4.*Aportes de consorcios microbianos en la remoción de contaminantes*

Proceso de uso de consorcios	Tipo de agua tratada	Elementos removidos
Bold modificado	Aguas residuales domesticas	Fósforo, DBO,DQO,Nitratos, Sulfatos, Solidos suspendidos, Urea
Bold basal	Aguas residuales domesticas	Fósforo, DBO,DQO,Nitratos, Sulfatos, Solidos suspendidos,
Biorremediación in situ	Aguas residuales industriales	Fenoles, fosfatos,Nitratos,Metales pesados
Cultivo exsitu	Aguas residuales domésticas y pluviales	Solidos suspendidos, Nitratos, Nitritos,Sulfatos,Carbono

Lagunas de degradación	Aguas residuales industriales	Metales pesados, Niquel
-------------------------------	----------------------------------	-------------------------

Nota: Elaboración propia

En la identificación de algunas estrategias y aportes que se realizan desde los consorcios alga bacteria se ha logrado identificar principalmente los procesos y elementos removidos los cuales se consideran como aportes importantes para la descontaminación del recurso hídrico.

Se identificó que el uso de algunas tecnologías ha podido establecer principalmente eficiencias en aguas residuales domésticas teniendo en cuenta que las principales características de estos procedimientos se relacionan con la demanda biológica de oxígeno y la remoción de sólidos suspendidos disueltos del recurso hídrico, teniendo en cuenta que estos parámetros son evidentes en las aguas residuales domésticas en donde los diversos vertimientos que se hacen están principalmente asociados con cargas orgánicas de elementos sanitarios, y también con los aportes que se pueden realizar por aguas pluviales. Igualmente las deposiciones y también las cargas orgánicas generadas presentan altos niveles de urea y fósforo los cuales son elementos muy importantes para la utilización de medios de cultivo en donde se puedan establecer la remoción del fósforo y el aumento de la biomasa de una manera significativa (Garzón, 2017).

Igualmente, en la revisión bibliográfica de los aportes se logra definir también que han existido una serie de procesos de biorremediación in situ y de lagunas de degradación que en el manejo de aguas residuales industriales han tenido en el caso específico de la biorremediación un manejo especializado en los fenoles y el retiro de sólidos suspendidos disueltos, entonces se caracteriza también la remoción de metales

pesados, cabe destacar que estos medios de cultivo se han modificado, para poder cumplir con los parámetros de remoción de estas sustancias contaminantes de una manera segura, teniendo en cuenta que la utilización de factores en los aportes que pueden realizar estos esquemas, sumamente importantes para poder consolidar el manejo de las sustancias químicas contaminantes que se generan y que son tratadas por este tipo de biotratamientos (Cárdenas & Sánchez, 2013).

Debe mencionarse también que otro de los grandes aportes que se han realizado en el contexto la utilización de consorcios microbianos se ha referido en la experimentación para el manejo de las microalgas teniendo en cuenta que estos sistemas de cultivos cerrados son importantes para el manejo ingenieril y de experimentación que permiten establecer un manejo adecuado de sistemas de control de la contaminación, cabe destacar que la facilidad en el manejo experimental y de bajo nivel es importante para pequeñas escalas de producción con esto generando en los sistemas industriales pequeños e incluso en los sistemas domésticos, sistema de gestión de la contaminación que permiten de una manera sencilla poder reducir la capacidad contaminante de una industria (Rawat, Kumar, Mutanda, & Bux, 2011).

Igualmente, los desarrollos de estrategias relacionadas con controles de luz son especialmente estrictos y cuentan aproximadamente con regulaciones que van entre los 2000 y los 4000 lux, así como también la regulación de la temperatura permite establecer diversos consorcios microbianos asociados con algas que permiten consolidar el desarrollo de una diversidad de bacterias y algas que permiten un manejo idóneo y adecuado para las especificaciones de temperatura.

Otro de los esquemas generados, se relaciona principalmente con el manejo de los fotobiorreactores que tienen la función de forzar las condiciones necesarias para el crecimiento óptimo de las microalgas estos biorreactores son muy importantes para el

desarrollo de tecnologías debido a que no solamente contribuyen al manejo idóneo de los procesos controlados, también permiten establecer diversas formas de operación entre las que se destacan tubulares verticales e inclinados en donde se pueden establecer líneas de reacción de microalgas que permiten el manejo de las microalgas en los trenes de descontaminación, el manejo de estas condiciones muy importantes para lograr el establecimiento de canales de descontaminación eficientes y de bajo costo (Castro J, 2016).

Además de otro de los aportes que se ha realizado con estos experimentos y manejos se debe que el surgimiento de sistemas hídricos que mezclan pasos de sistema de fotobiorreactores y de lagunas abiertas o estanques han permitido desarrollar programas de biorremediación que permitan generar una mayor producción de biomasa por medio de biorreactores o fotobiorreactores que permiten en el contexto ambiental reducir la contaminación a niveles bajos, esto no solamente ha permitido que la diversificación de las cepas y los consorcios bacterianos sean exitosos debido a las facilidades que pueden tener para identificar sus deficiencias y también para poder establecer procesos de una elevada división celular que por consiguiente generan un crecimiento más acelerado de las microalgas y cuando el sistema llega a niveles deseados permite establecer la adquisición de nutrientes de manera más eficaz, teniendo esto como representación tasas de deficiencia que pueden llegar a un 70%, que son muy exitosas para la especialización de procesos de tratamiento de aguas residuales en algunos sectores industriales (Cuello, 2019).

8.3. Soluciones de tratamiento para la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales

El desarrollo de las estrategias de manejo relacionadas con los consorcios microbianos para la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales, es importante para poder consolidar mecanismo de mejora que permitan ampliar el espectro de remoción de contaminantes en las aguas y también establecer esquemas que permitan la optimización de los procesos científicos y también de gestión ambiental relacionados con la descontaminación del recurso hídrico, en especial en la remoción de sustancias químicas y también en la eliminación de sustancias tóxicas que pueden estar presentes en el recurso hídrico debido a las diversas actividades industriales que se desarrollan (Candela Orduz, 2018).

La identificación de los factores como un proceso de mejora en el ámbito del uso de microalgas para la depuración de las aguas residuales urbanas es un factor muy importante que debe ser mejorado así como también la utilización de los sistemas de cultivo y la definición de factores de bioseguridad que no solamente permitan el crecimiento de estas algas en condiciones controladas, también es necesario que se desarrollen alternativas relacionadas con la identificación de esquema de desarrollo sostenible y gestión ambiental que permitan desde el contexto de la operación de sistemas de biorremediación y de manejo de cultivos en consorcios microbianos que logran contener el desarrollo de procesos de contaminación y también la translocación de la contaminación, cuál es uno de los principales retos en el desarrollo de los consorcios alga-bacteria, para la remoción de contaminantes (Grobbelaar, 2004).

Se identificaron los siguientes escenarios de gestión asociada con los consorcios microbianos, los cuales son muy importantes para optimizar las estrategias, entre los cuales se destacan las siguientes acciones que deben ser empleadas según el contexto de

la revisión bibliográfica:

- a) Se requiere de un escenario de manejo relacionado con la adaptación y con la revisión de las condiciones ambientales asociadas a los consorcios alca bacteria que se manejan in-situ, debido a que éstos hacen necesario la identificación de factores ambientales y ecuaciones de calidad de agua que permita el crecimiento y aumento de la biomasa de una manera significativa como también la garantía de poder mantener una población sana y que permita establecer una función ecológica adecuada según las necesidades de descontaminación del recurso hídrico en el cual se está incrementando este tipo de elemento.
- b) Es indispensable consolidar las condiciones ecológicas del recurso hídrico como también el régimen de flujo debido a que éstos influyen de una manera negativa o positiva según las condiciones necesarias para el consorcio microbiano en el marco de un proceso de degradación que pueden ser oxigénicos o anoxigénicos, y que de estos requieren una diversidad de modificaciones que permitan y que consoliden el crecimiento de un consorcio microbiano o la funcionalidad de este según un proceso de oxidación o de digestión anaerobia, voy a ser muy importantes para poder consolidar un esquema eficiente en la degradación de sustancias contaminantes (Barreiro S. N., 2019).
- c) La presencia de núcleos bacterianos es importante tanto en su caracterización como también en la identificación de estos debido a que no solamente la presencia de bacterias puede consolidar la remoción de sustancias químicas o de metales pesados, también estas condiciones en especial asociadas con

las algas y la presencia de estas, metal para desarrollar la captación de nutrientes y la translocación de nutrientes en sistemas energéticos o flujos de energía que pueden establecerse en un consorcio alga -bacteria.

A pesar de que la importancia de esta identificación es muy estratégica en el desarrollo de consorcios microbianos, puede establecerse que la identificación de factores de población, identificación de características de los medios de cultivo, y también las características de los vertimientos En dónde se van a establecer estos elementos de degradación y depuración de aguas residuales de tipo biológico, es fundamental conocer los para establecer lineamientos de mejora o también el análisis de los factores ambientales, debido aquí la verificación de estos aspectos desde el punto de vista científico, son necesarios para poder consolidar el manejo adecuado y las mejoras relacionadas con los consorcios microbianos (Shilton, Craggs, & Park, 2011).

Igualmente la identificación de estos parámetros, se hace fundamental para poder evaluar la eficiencia y la eficacia que puede tener un consorcio microbiano en específico la presencia de núcleos bacterianos debido a que esto puede ser un indicador de eficiencia y también de sensibilidad hacia ciertos elementos químicos contaminantes que deben ser tratados y que requieren de una atención importante en términos de la optimización. Igualmente destacándose que la identificación de procesos biológicos en donde se genere biogás, requiere de una revisión de las tasas de productividad que pueden tener específicamente durante el proceso de digestión anaerobia al igual que las variaciones de la demanda química de oxígeno debido a que estas son fundamentales para consolidar la optimización o la generación de sustancias contaminantes, o la eficiencia de un proceso de depuración y de formación de gases, que puede ser aprovechados energéticamente (Lopez Ponte, 2019).

A continuación, se enumeran y mencionan una serie de estrategias que pueden utilizarse para la mejora en los consorcios microbianos esto con la finalidad de poder optimizar los procesos de depuración de las aguas residuales.

Tabla 5

Estrategias de manejo para la mejora en los procesos de descontaminación con consorcios microbianos

Estrategias	Tipo de manejo	Objetivo de manejo	Bibliografía
Manejo de cultivos de adaptación	Medios de cultivo	Establecer un proceso de inoculación y manejo de consorcio microbiano	(Bermeo, 2011)
Manejo de toxico cinética para consorcios microbianos	Manejo de eficiencia	Establecer la eficiencia en términos de remoción de contaminación	(Chinnasamy S, 2010)
Manejo de identificación y caracterización de consorcios microbianos	Montaje de consorcios	Definir condiciones de manejo estandarizadas y también de procesos de remoción de sustancias contaminantes que sean puntuales en ciertas sustancias contaminantes	(Barreiro S. N., 2019) (Boivin, 2009)

Nota: Elaboración propia

En el manejo de alternativas técnicas, en el manejo de los consorcios microbianos una serie de alternativas que pueden permitir o de estrategias que pueden consolidar unos

de medios de cultivo y manejo de la eficiencia como también, en el desarrollo de las alternativas de descontaminación del recurso hídrico se pueden consolidar medidas de manejo de consorcios que logran establecer condiciones estandarizadas de cultivo, con ello no solamente mejorando las condiciones de cultivo de los consorcios microbianos, también en estos elementos se pueden consolidar y establecer medidas de gestión ambiental que permitan la degradación óptima de ciertas sustancias químicas (Barrantes & Pittman, 2018).

Como alternativas en la revisión bibliográfica se proponen principalmente el manejo actuación de método de cultivo cabe destacar que a pesar de que existen métodos como bold modificado y las experiencias de cultivos de consorcios microbianos de tipo *ex situ*, por medio de la revisión de las condiciones y el manejo a la actuación de cultivos se puede establecer protocolos que mejoren y consolida en el desarrollo de los factores de siembra que pueden necesitarse para la evolución de los consorcios de microalgas y bacterias esto se puede hacer por medio de procedimientos asociados principalmente a tecnologías como fango activo, en dónde se pueden controlar acciones relacionadas con el control químico y físico químico de las condiciones de operación y adaptación de los consorcios (Arturi, 2018).

Igualmente en esta revisión de mejoras una de las que se propone es el manejo de la toxico cinética para los consorcios microbianos, esto es fundamental para establecer y consolidar un manejo adecuado, que se relaciona principalmente con los biotratamientos bien con el uso de microalgas como agentes depuradores de nitrógeno y fósforo esto es fundamental para el desarrollo de esquemas de tratamientos primarios y secundarios en el contexto de la reducción de la contaminación del agua, y de igual manera como un insumo muy importante para establecer medidas de remediación que permitan remover fenoles por medio de técnicas como el carbón activado y también la

ozonificación (Chinnasamy S, 2010).

Por lo tanto la revisión de la toxico cinética y de la dinámica de los sustancias químicas que se establecen en el manejo de estos componentes es fundamental porque también permite establecer soluciones de medio que permitan generar una incubadora adecuada para los cultivos teniendo en cuenta que la solución es fosfato y las sales cumplen un papel muy importante en la identificación de estos cinética, debido a que conllevan a establecer procesos de crecimiento o de atenuación de los procesos de generación de biomasa (Bermeo, 2011).

Otro de los esquemas identificados en el manejo se relaciona con la caracterización de los consorcios microbianos, eso es importante para poder identificar las condiciones y los sistemas de cultivo que pueden facilitar se en el manejo de estos igualmente puede identificar las características y la eficiencia de estas especies que se utilizan, siendo muy importante establecer su ecología y sus hábitats para consolidar un manejo y envío tratamiento que permita la captación de dióxido de carbono y también tenía en cuenta otros factores del cultivo como la temperatura la acidez horas luz y la biomasa inicial de microalgas del consorcio microbiano, 106 características muy importantes para poder consolidar los factores del cultivo y también para asociar factores como el grado de solubilidad en las fases iniciales de los cultivos (Boivin, 2009).

9. Conclusiones

La biorremediación con microalgas es una alternativa efectiva para remover los nutrientes, NO_3^- , NO_2^- y PO_4^{3-} en los procesos de investigación analizados y revisados; la cepa más apta para la aplicación del proyecto es la *Chlorella vulgaris*, la cual demostró una mayor capacidad de adaptación a las condiciones de los ecosistemas intervenidos y en los vertimientos y presentó una remoción superior de los nutrientes.

Las técnicas de cultivo relacionadas con el manejo en el laboratorio de los consorcios microbianos tuvo en cuenta Qué sistemas para el uso de los consorcios como el Bold modificado y el Bold basal, son experiencias muy importantes para la gestión de la investigación en términos de identificar la eficiencia y eficacia de los consorcios microbianos, igualmente otras técnicas relacionadas específicamente con cultivos en ambientes controlados de tipo éxito son importantes para el manejo de las aguas domésticas y pluviales debido a que también pueden establecerse trenes de biorremediación por medio de la identificación de biotecnologías asociadas con los ecosistemas hídricos, con ello generando alternativas para el manejo asociado del control de la contaminación y de los vertimientos que puede negarse a nivel industrial.

A nivel de eficiencia, se logró identificar que los consorcios microbianos relacionados principalmente con *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus*, tienen una alta eficiencia. Igualmente se destaca que la implementación de estos mecanismos es muy importante para poder consolidar el manejo ambiental relacionado en las 24 horas, identificando que también la necesidad de establecer alternativas como el fango activo para consolidar un Plus microbiano que mantenga una resistencia y pueda establecer relaciones simbióticas con las algas es totalmente prescindible para mejorar las condiciones de optimización específicamente en la remoción de fósforo.

10. Referencias

- Amaral, M. M. (2016). *Tratamiento de aguas residuales con microalgas en reactores abiertos*. Arias, S., Betancur, F., Gómez, G., Salazar, J., & Hernández, M. (10 de Octubre de 2019). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Revista SENA*, 74, 10. Obtenido de Revista SENA: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/5/5
- Arturi, T. S. (2018). *Remoción del disruptor endocrino nonilfenol polietoxilado de aguas residuales empleando sistemas combinados*.
- Barrantes, E., & Pittman, R. (2018). *Efecto de la microalga Botryococcus sp. en la remoción de nitrato y fosfato en aguas residuales, en la empresa municipal de agua y alcantarillado de Coronel Portillo-Ucayali*.
- Barreiro, S. N. (2019). *Caracterización de los consorcios microalgas-bacterias en el tratamiento de agua residual urbana*. Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).
- Barreiro, S. N. (2019). *Caracterización de los consorcios microalgas-bacterias en el tratamiento de agua residual urbana*. Recuperado el 2021, de eprints.ucm: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/58187/1/T41559.pdf>
- Beltrán-Rocha, J. C.-B.-Q.-C. (2017). *Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del pH, nutrientes (C, N y P) y enriquecimiento con CO₂*. *Revista de biología marina y oceanografía*, 52(3), 417-427.
- Bermeo, L. (2011). *Estudio del cosechado de cultivos de microalgas en agua residual mediante técnicas de centrifugado*. Universidad de Cádiz. Cádiz, España.

- Bernal, A. N. (2018). *Caracterización cinética de un consorcio microalga-bacteria con potencial de degradación de fenol en aguas residuales.*
- Blanch, D. C. (2017). *Biorremediación a través de dos diferentes especies de microalgas, a partir de la presencia de ciertos metales pesados.*
- Boivin, A. N. (2009). A review of biogas purification processes. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining* , 3: 42-71.
- Candela Orduz, R. D. (2018). *Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica.*
- Cárdenas, G., & Sánchez, I. (7 de Junio de 2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 15(1), 72-88. Recuperado el 2021, de Revista Científica Scielo: <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v15n1/v15n1a07.pdf>
- Castro J, R. p. (2016). *remocion de nitrogeno y fosforo por medio de algas nativas.*
- Castro, Y., & Reyes, P. (2016). *Remoción de nitrógeno y fósforo de un efluente anaerobio mediante la inmovilización de microalgas nativas.* Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado el 2021
- Chinnasamy S, B. A. (2010). Microalgae cultivation in a wastewater dominated by carpet milleffluents. *Bioresource Technology*, 101:3097-3105.
- Chiquinquirá, L., Marín, J. C., Alburgue, D. A., Carrasquero, S. J., & Morales, E. D. (2018). CONSORCIO MICROBIANO AUTÓCTONO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON GASOIL DEL PUERTO DE ISLA DE TOAS (VENEZUELA). *Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Universidad Militar Nueva Granada*, vol. 28, núm 2.
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25: 294-306.

Cuello, I. Q. (17 de 10 de 2019). Evaluar la biorremediación de efluentes industriales/municipales con consorcios de microalgas-bacterias promotoras del crecimiento, aprovechando la biomasa generada para producir compuestos orgánicos de alto valor agregado. cordoba, Argentina.

Díaz, L., Marín, J., Alburgue, D., Carrasquero, S., & Morales, E. (2018). *CONSORCIO MICROBIANO AUTÓCTONO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON GASOIL DEL PUERTO DE ISLA DE TOAS (VENEZUELA)*.

Obtenido de

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/911/91158463001/html/index.html> Foladori, P.,

Petrini, S., & Andreottola, G. (2018). Evolution of real municipal wastewater treatment in photobioreactors and microalgae-bacteria consortia using real-time parameters. *Chemical Engineering Journal*, 507-516.

García Salazar, M. S. (2019). *Evaluación de la producción de metano mediante digester anaerobio tipo batch en aguas residuales agroindustriales de destilería (vinaza)*.

Garzón, J. M. (2017). *Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible*. Universidad y salud, 19(2), 309-318.

Grobbelaar, J. (2004). Algal nutrition: mineral nutrition. In: Richmond A (ed). Handbook of microalgal culture. *Biotechnology and applied phycology*, 97-115.

Guzman, Á. (2021). *Evaluación in vitro de cepas de Bacillus sp, aislados de la Antártida, como promotoras de crecimiento en Zea mays L*. Obtenido de <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1440>

He, P., Mao, B., Lu, F., Shao, L., Lee, D., & Chang, J. (Octubre de 2013). *The combined*

- effect of bacteria and Chlorella vulgaris on the treatment of municipal wastewaters.* (N. L. Medicine, Ed.) doi:10.1016/j.biortech.2013.07.111
- Hernández Reyes , B., Rodriguez, P., Lozano Ramirez, C., & Castilla Hernandez, P. (2012). Tratamiento de aguas residuales agroindustriales utilizando el consorcio de microalgas y bacterias combinado con la digestión anaerobia de la biomasa producida. *Revista Latinoamericana Biotecnología Ambiental Algal*, 80-94. Recuperado el 2021
- Hernandez, D. R.-G. (2013). *Treatment of agroindustrial wastewater using microalgae–bacteria consortium combined with anaerobic digestion of the produced biomass.*
- Lopez Ponte, W. M. (2019). *Evaluacion de dos especies de microalgas para determinar la eficiencia de remocion de nutrientes de aguas residuales de la PTAR taboada del Callao.*
- Martínez, F., & Navarrete, S. (2016). *Influencia de la concentración inicial de microalgas y nutrientes sobre la remoción de nitrógeno, fósforo y metabólicos producidos por un cultivo de microalgas nativas.* Bucaramanga. Recuperado el 2021
- Martínez, L. (2008). *Eliminación de CO2 con microalgas autóctonas.* Tesis Doctoral, Instituto de Recursos Naturales, Universidad de León.
- McKinney, M. J. (1972). The removal of nutrients and organics by activated algae. *Water Research*, 6: 1155-1164.
- O'Connor, J. L. (2019). *Descifrando el contenido microbiano de bioinsumos comerciales para el diseño de un consorcio con potencial biofertilizante.* Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/12693/>
- Olgún, E. J. (2012). "Dual purpose microalgae-bacteria-based systems that treat wastewater and produce biodiesel and chemical products within a Biorefinery.

- Biotechnology Advances*, 30(5): 1031-1046.
- Oswald, W. J. (2003). "My sixty years in applied algology. *Journal of Applied Phycology*, 15(2-3): 99-106.
- Park, J. B., Craggs, J., & Shilton, A. (2011). *Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852410011636>
- Pérez, L., Carballo, M., Sardiñas, J., Sardiñas, A., & Cruz, M. (2021). *Monocultivos y consorcios bacterianos con aplicación en la asimilación de nutrientes de interés ambiental*. Obtenido de <http://www.rccb.uh.cu/index.php/RCCB/article/view/291>
- Posten, C. (2009). Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae. *Engineering in Life Science*, 9(3):165-177.
- Posten, C. (2011). Design principles of photo-bioreactors for cultivation of microalgae. *Engineering in Life Science*, 9(3):165-177.
- Ramírez, L. (2020). *Microalgas para el manejo de aguas residuales, actualidad y perspectivas*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/342293648_Microalgas_para_el_manejo_de_aguas_residuales_actualidad_y_perspectivas
- Rawat, I., Kumar, R., Mutanda, T., & Bux, F. (2011). Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Applied Energy*, 88: 3411-3424.

Ruiz, A. (2011). *Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente*. valencia.

Ruíz, A. (2011). *Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente*. valencia. Samame, I. S. (2020). *Pseudomonas putida Y*

Penicillium Sp. para la biorremediación desuelos contaminados por hidrocarburos. Obtenido de

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55512>

Sayara, T., Borrás, E., Caminal, G., Sarrá, M., & Sánchez, A. (2011). Bioremediation of PAHs-contaminated soil through composting: Influence of bioaugmentation and biostimulation on contaminant biodegradation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 65, pp. 859-865.

Sevrin-Reyssac, J. (1998). Biotreatment of swine manure by production of aquatic valuable biomasses. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 68:177-186.

Shilton, A., Craggs, R., & Park, J. (2011). Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bioresource Technology*, 102: 35-42.

Subashchandrabose, S., Ramakrishnan, B., Megharaj, M., Venkateswarlu, K., & RaviNaiduab. (2011). Consortia of cyanobacteria/ microalgae and bacteria. *Biotechnology Advances*, vol. 29, pp. 896-907.

Supo, L. (2020). *DEGRADACIÓN DEL FENOL EN AGUAS RESIDUALES DE BAÑOS QUÍMICOS PORTÁTILES DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN MEDIANTE Pseudomonas aeruginosa*. Obtenido

De <http://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/2405>

Wehr, J. (2003). Freshwater algae of North America: Ecology. *Academic Press, San*.

Xu, H., Miao, X., & Wu, Q. (2006). High quality biodiesel production from a microalga

Chlorella protothecoides by heterotrophic growth in fermenters. *Journal of Biotechnology*, 126: 499–507.

Yanyan Su, Artur Mennerich, & Brigitte Urban. (23 de Marzo de 2011). Municipal wastewatertreatment and biomass accumulation with a wastewater-born and settleable algal- bacterial culture. *Investigación del Agua*, 45(11), 3351-3358.

Recuperado el 2021, de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135411001643>