



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL

Evaluación del uso de microalgas en la reducción de la demanda
bioquímica de oxígeno en aguas residuales

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Cruz Calderón, Ximena (ORCID: 0000-0003-3761-1318)

Gonzales Rubio, Royer Alexander (ORCID: 0000-0001-9828-7502)

ASESOR:

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (ORCID: 0000-0001-9146-7615)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

TRUJILLO – PERÚ

2021

Dedicatoria

El presente trabajo investigativo se lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y nuestra fortaleza para continuar con este proceso de obtener uno de los más anhelados logros a nivel académico.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio a lo largo de este tiempo, gracias a quienes hemos podido lograr llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Es un orgullo y privilegio ser sus hijos.

A nuestros hermanos(as) por estar siempre presentes, acompañándonos al igual que el apoyo incondicional, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.



Agradecimiento

Agradecemos a Dios por bendecirnos en la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Cesar Vallejo, por haber compartido sus conocimientos a lo largo nuestra preparación profesional, de manera especial al Dr. Cruz Monzón José Alfredo, tutor de nuestro proyecto de investigación quien nos ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.

Índice

| | |
|--|-----------|
| Dedicatoria..... | II |
| Agradecimiento..... | III |
| Índice de tablas..... | V |
| Índice de figuras..... | VI |
| Resumen..... | VII |
| Abstract..... | VIII |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 12 |
| III. METODOLOGÍA..... | 17 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación..... | 17 |
| 3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización..... | 17 |
| 3.3. Escenario de estudio:..... | 17 |
| 3.4. Participantes:..... | 17 |
| 3.6. Procedimiento..... | 18 |
| 3.7. Rigor científico..... | 21 |
| 3.8. Método de análisis de datos..... | 21 |
| 3.9. Aspectos éticos..... | 21 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 22 |
| V. CONCLUSIONES..... | 33 |
| VI. RECOMENDACIONES..... | 34 |
| REFERENCIAS..... | 35 |
| ANEXOS..... | 43 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla N°01: Criterios aplicados en la búsqueda de artículos. | 19 |
| Tabla N°02: Palabras claves en la búsqueda primaria de artículos..... | 20 |
| Tabla N°03: Artículos identificados en las bases de datos por años..... | 20 |
| Tabla N°04: Microalgas y valores de remoción de DBO5 | 23 |
| Tabla N°05: Niveles de DBO ₅ en aguas residuales..... | 25 |
| Tabla N°06: Tipo de agua residual tratada según los artículos | 27 |
| Tabla N°07: Tipos de cultivos de microalgas. | 30 |
| Tabla N°08: Matriz de consistencia | 44 |
| Tabla N°09: Matriz de recopilación de datos..... | 48 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura N°01: Diagrama de flujo de búsqueda de artículos | 18 |
| Figura N°02: Artículos indexados en las bases de datos por años. | 22 |
| Figura N°03: Artículos aplicados los criterios inclusión y exclusión..... | 22 |
| Figura N°04: Porcentaje de remoción de las microalgas según referencias | 26 |
| Figura N°05: Tipo de aguas residuales donde se aplicaron los estudios. | 29 |
| Figura N°06: Tipo de sistema aplicado según el medio de cultivo | 32 |

Resumen

Actualmente una de las grandes problemáticas mundiales son aquellos efluentes resultado de distintas actividades tanto domésticas como industriales, las mismas que dan como resultado al ser vertidas en distintos cuerpos hídricos un aumento significativo en el nivel de contaminación de los mismos. Esta investigación busca indagar por medio de una revisión sistemática de la literatura encontrada en las distintas bases de datos de acceso libre como: ProQuest, Scielo, Dialnet Redalyc, Pubmed, Nature y Mendeley para identificar y clasificar aquellos tipos de microalgas que tienen el máximo potencial para la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Por lo que, tras la calificación de los artículos, se seleccionaron 20 de ellos tomados entre los años 2016 – 2020, donde se determinó que es la *Scenedesmus sp* a la que corresponde un porcentaje máximo de remoción del 98.70% de la DBO₅ aquella que mostro efectos positivos en los parámetros físicos, químicos y biológicos de los diferentes tipos de efluentes analizados y la que se puede encontrar con gran facilidad dentro del territorio peruano, esta microalga fue aplicada en una total de 3 artículos donde se evidenció que su uso principalmente se dio en efluentes industriales y su aplicación en un sistema abierto.

Palabras claves: microalgas, agua residual, demanda bioquímica de oxígeno.

Abstract

Currently one of the great global problems are those effluents resulting from different domestic and industrial activities, which result in a significant increase in the level of contamination of the same when being discharged into different bodies of water. This research seeks to investigate through a systematic review of the literature found in the different open access databases such as: ProQuest, Scielo, Dialnet Redalyc, Pubmed, Nature and Mendeley to identify and classify those types of microalgae that have the maximum potential for the reduction of the biochemical oxygen demand (DBO₅). Therefore, after the qualification of the articles, 20 of them were selected taken between the years 2016 - 2020, where it was determined that it is *Scenedesmus sp* to which corresponds a maximum removal percentage of 98.70% of the DBO₅ that showed positive effects on the physical, chemical and biological parameters of the different types of effluents analyzed and the one that can be found with great ease within the Peruvian territory, this microalgae was applied in a total of 3 articles where it was evidenced that its use was mainly given in industrial effluents and their application in an open system.

Key words: microalgae, wastewater, biochemical oxygen demand.



I. INTRODUCCIÓN

Latinoamérica se encuentra dotada de recursos hídricos, estos a su vez cuentan con un alto riesgo asociado a su calidad y disponibilidad. Mayormente en los países de esta región se cuenta entre 80% y 90% de sistemas de alcantarillado que corresponden a viviendas y un 70% que corresponden a actividades industriales las cuales son vertidas sin tratamientos adecuados a las aguas superficiales (Manzollilo, Bartolomé, 2020, p.11).

Según Candela (2016) manifiesta que en las últimas décadas el uso de microalgas se ha vuelto en una nueva alternativa de solución en la reducción de diferentes contaminantes ya sea industrial o municipal, por lo que las investigaciones al respecto se han impulsado, en cambio Hernández y Labbé (2014) indica que las microalgas tienen una competencia fitorremediadoras que se basa en la supresión o biotransformación de contaminantes de un entorno acuoso o fluido. La recolecta de la biomasa algal es el expediente más complicado e insufrible en la floricultura de microalgas, creando así varios métodos que son muy eficientes y también muy complejos.

En la misma región, se llega a tratar el 34% de las aguas residuales, para ello se hacen uso de sistemas de remoción de baja carga para la eliminación de los contaminantes; los cuales son de bajo costo para su construcción y mantenimiento. Para mantener este requerimiento económico cuentan con aditivos químicos que se encargan de trabajar con los parámetros físico – químicos del agua, más no regularizan aquellos que hacen referencia a la parte orgánica (Sagasta, Javier, 2017, p. 15).

El aguas residuales es la fuente de contaminación que el cuerpo hídrico recepciona, para saber la cantidad de contaminación se debe tomar en cuenta el modelo de movimiento económico que se lleva a cabo en los alrededores del mismo, como en las curtiembres que representa un gran peligro para la salud pública y también a los ecosistema, debido a que tiene una alta carga de contaminantes, y el uso de agentes químicos en la producción, además tiene la capacidad de mejorar dichos parámetros que son dañinos para el ecosistema y

su uso tiene la capacidad de alterar el medio de manera irremediable a largo plazo (Rosales, et al, 2018, p.11).

La principal fuente de contaminación por nutrientes al medio hídrico es producto de las escorrentías. La depuración de las aguas, es económicamente viable solo si se hace uso de tecnologías extensivas, por lo que normalmente se hacen uso de tecnologías de carácter intensivo para la eliminación de nutrientes, pero de igual forma estas representan un costo muy alto con respecto a otras (Domínguez, et al, 2020, p. 3-5).

En la industria textil, ha empezado a recibir una mayor atención debido a la cantidad de residuos que está genera, específicamente en los cuerpos líquidos ya que estos contienen una alta cantidad de metales, es decir efluentes contaminados. Este tipo de efluentes contienen sustancias que generan impactos negativos los cuales inciden en los parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y carbono total (COT), es decir, en los parámetros orgánicos. Los compuestos eliminados por esta actividad en el medio tienen la capacidad de inhibir la fotosíntesis acuática, agotar el oxígeno para generar una alta toxicidad en la flora Vacca, et al. (2017, p.1-7).

El uso de agentes naturales frente a compuestos químicos tiene un efecto positivo en su totalidad, el inconveniente de este tipo de método es que requiere periodos de adaptación mucho más prolongados frente al uso de otras tecnologías o fuentes de remediación que son aplicadas de igual manera, este tipo de método necesita una mayor cantidad de material.

La finalidad de esta investigación fue evaluar la capacidad que poseen las microalgas en la reducción de la carga orgánica presente en las aguas residuales en función DBO_5 , así como las ventajas que presenta frente a otro tipo de tecnologías.

Académicamente nos permitirá recopilar datos que posteriormente sirvan de base para nuevos estudios, los cuales podrán adaptarse a la generación de soluciones para las problemáticas que se encuentren vigentes. En donde también para los análisis se debe contar con conocimientos previos que nos ayuden en la recopilación y apreciación de los mismos.

Bajo el punto de vista social la presente investigación permitirá reducir los impactos ambientales y de tal manera que se facilite la recuperación del cuerpo de agua e indirectamente enriquecer la calidad de vida del ser humano quienes utilizan estos recursos hídricos para su uso cotidiano.

El desarrollo de la investigación nace a raíz de la problemática ya mencionada, pero con la siguiente incógnita en particular ¿Qué efecto genera el uso de microalgas en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas residuales?, esta incógnita se formula en base a: ¿Qué especies de microalgas son más efectivas en el tratamiento de aguas residuales para la reducción de la DBO_5 ?, ¿En qué tipo de agua residual las microalgas tienen un mayor efecto en la reducción de la DBO_5 ? y ¿Cuáles son los sistemas de cultivo de microalgas que tienen una mayor capacidad de reducción de la DBO_5 ?

Así mismo se propuso como objetivo general: **Evaluar la eficiencia que muestra el uso de las microalgas en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) en aguas residuales.** Asimismo, se plantearon como objetivos específicos: **Evaluar la efectividad según la especie de microalga utilizada en la reducción de la DBO_5 presente en aguas residuales, evaluar la efectividad del uso de microalgas según el tipo de agua residual y evaluar los sistemas de aplicación de microalgas más eficientes en la remoción de DBO_5 .**

II. MARCO TEÓRICO

El agua residual genera una gran fuente de contaminación al cuerpo que lo recepciona, pero mucha depende de la actividad que se realiza para poder medir el grado de contaminación.

Según Cartagena y Malo (2017) en su investigación “*Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la PTAR el salitre a nivel laboratorio*”, se realizó con el objetivo de conocer el nivel de remoción de la materia orgánica, donde utilizó una metodología de corte experimental que consistía en cuatro etapas, la primera fue en la revisión bibliográfica sobre la microalga a estudiar, en la segunda se realizó la prueba pre- experimental para ver el crecimiento, la tercera consistió en escoger la cantidad a usar para el biotratamiento y por último realizar el análisis del agua residual a tratar. Obteniendo como resultado que la mayor remoción fue en el 10% de volumen de microalga, así mismo logro remover materia orgánica por SST y DQO de 89,91% y 81,8% pero el Salitre estuvo en 35,3% de DQO y 57,51% de SST.

Ávila et al. (2018) en su investigación “*Nitrate and phosphate removal by free and immobilized native strains of *Chlorella* sp. (*Chlorellaceae*) and *Chlamydomonas* sp. (*Chlamydomonadaceae*) in municipal wastewaters*”, manifestó que la remoción del nutriente inorgánico en aguas residuales usando microalgas tiende hacer un sistema productivo y eficiente, la finalidad del trabajo fue determinar la remoción de fosfatos (PO_4^{-3}) y nitratos (NO_3^-) en el agua residual municipal por cultivos inmovilizados y libres de *Chlamydomonas* sp. y *Chlorella* sp. las cuales fueron colocadas en agua por 10 días. Demostrándose que la *Chlorella* sp. es más eficaz en la remoción de fosfatos y nitratos a diferencia del *Chlamydomonas* sp. concluyendo de esta manera que la remoción del fosfatos y nitratos en agua residual es eficaz empleando la *Chlorella* sp. y *Chlamydomonas* sp.

Para Olarte y Valencia (2016) en su investigación “*Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas residuales industriales (vinazas)*”, tuvo como fin conocer la eficacia en la purificación en aguas residuales industriales, donde se utilizó una metodología de corte experimental donde hizo uso de la *Chlorella vulgaris* a nivel de laboratorio, utilizando reactores

cilíndricos con 2 Litros de volumen de cultivo y una aireación de 600 mL/min , demostrando una alta remoción en DQO, DBO₅, Fósforo y Nitrógeno de 84,93%, 30,92% y 75,7%, obteniendo una alta eficacia en la purificación en agua residual industrial.

Para Baldiris, et, al. (2019), en el Caribe Colombiano se estimó una disposición de biodegradación de la *Chlorella vulgaris* en las industrias acuícolas, los cuales fueron encontrados en los vertimientos, donde se trabajaron con cuatro combinaciones de rango desde el 10% al 70%, obteniendo que la concentración al 10% fue la más eficaz con 57.7% en la remoción del DBO y se concluyó que la microalga ayuda en la reducción del DQO en el agua residual con alta carga de nutrientes

Vacca, et al. (2017) en su investigación “*Using the microalgae Chlorella sp. live suspended in decoloration wastewater from a textile factory*”, manifiesta que la *Chlorella sp.* fue evaluada con la finalidad de quitar el color de los efluentes de empresa textil, el agua residual fue tratada haciendo uso de tres concentraciones de microalgas que fueron 0,10, 0,20 y 0,30 unidades de absorbancia, además cada una tenía su control. Teniendo como resultados a la absorbancia con 0,30, que eliminó el 97,2% del colorante, la DQO bajo a 94,6% y la DBO₅ en un 95,4, demostrando así la eficiencia del tratamiento.

El uso de la *Chlorella vulgaris* tiene una alta eficiencia en la remoción de nutrientes disueltos, esta evaluación se realizó en un efluente generado por la producción de *Seriola lalandi*, dicha evaluación fue realizada por un periodo de 8 días por medio de diferentes concentraciones, para lo cual se aplicó la metodología indoor y outdoor, finalmente este proceso demostró que esta microalga puede ser usada en procesos depurativos en aguas industriales (Ramos y Pizarro, 2018, p.75).

Para Devia. et al, (2017, p. 05) en su investigación “*Use of microalgae of Chlorophyta division in the biological treatment of acid drains of coal mines*”, se aplicó un tratamiento biológico, donde se usó las microalgas *Chlorophyta* con la finalidad de remover la carga contaminante de la mina; tras la aplicación se obtuvo que dicho tratamiento tiene la capacidad de remover hasta en 95.1% la demanda química de oxígeno.

Para Macedo (2018, p.15) en su trabajo de investigación “*Evaluación de la capacidad de remoción de nitratos y fosfatos de la microalga, Desmodesmus asymmetricus, en aguas residuales de Petartaboada Callao*”, utilizó una metodología experimental, donde se determinó que el uso de las microalgas es muy importante como biosistema, para ello utilizó dos sistemas de tratamientos, el T4 (agua residual + inóculo) y T5 (agua residual + inóculo estresado) con tres replicas cada uno, para ello se usó 50 Litros de agua residual y se mantuvo en reposo por 7 días. Transcurrido el tiempo se llenó en envases de 7 Litros de acuerdo a los tratamientos y replicas con sus respectivas aireaciones constantes para cada una de ellas. Una vez finalizado el procedimiento se pasó a analizar los resultados obtenidos teniendo en cuenta que no existe una variación significativa entre los dos grupos experimentales, pero la mayor tasa de remoción lo presentó el T5 para fosfatos (PO_4^{-3}) y nitratos (NO_3^-) en el segundo día experimental y al tercer día presentó una absorción del 90% de concentración. Siendo así la *Desmodesmus asymmetricus* una microalga eficiente para remediación de aguas residuales domésticas.

Según Ibañez, et, al. (2016, p. 05) en la investigación “*Tratamiento de aguas eutrofizadas de la bahía interior de Puno, Perú, con el uso de dos Macrófitas*”, en su tratamiento se utilizó dos macrófitas *Elodea Canadensis Michx* y *Myriophyllum Quitensis Kunth* por un periodo de 60 días; donde se determinó que la *Elodea Canadensis Michx* tiene la capacidad de eliminar el fósforo total en 29 días con remoción y 37 días sin remoción, y la *Myriophyllum Quitensis* es eficaz en el nitrógeno total en 35 días.

Para Lopez (2019, p.96-121) en su investigación “*Evaluación de dos especies de microalgas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes de aguas residuales de la Petartaboada del Callao, Perú*”, utilizó el *Desmodesmus sp.* y *Chlorella sp.* la en la cual se evaluó los crecimientos de dichas microalgas en un reactor, en el cual, por medio de un sistema de lotes, para medir dicho crecimiento se midió la longitud de onda y la densidad celular; teniendo que el *Desmodesmus sp* fue el más eficaz en el consumo de fosfatos y nitratos.

Bazán y Nureña (2019,) en su investigación “*Efecto del tiempo y dosis de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales de las pozas de*

oxidación de Covicorti – Trujillo”, manifiesta que en la actualidad el mundo ha iniciado a tener mucha preocupación, por eso se está analizando y empleando muchos tratamientos para minimizar la problemática que está vinculado con las disposiciones del agua residual, por ello este estudio tuvo como objetivo ver el efecto en el tiempo para aplicar la dosis de microorganismos adecuado ante la actuación del DBO₅, Coliformes termotolerantes y turbidez presentes en el agua residual en la PTAR de Covicorti – Trujillo. Se realizó 3 mediciones con 3 reiteraciones, basados en diferentes dosis, por 33 días y se evaluó cada 11 días, teniendo como conclusión la reducción en los Coliformes termotolerantes, Turbidez y DBO₅, aun a los 33 días de haber empezado el estudio, siendo el de 10 ml de microorganismos eficaces el más óptimo, obteniendo porcentajes de disminución de 84.75% de CTT, 99.12% de Turbidez y 86.12% mg/L en la DBO₅, alcanzando lo propuesto por el límite máximo permisible.

Carhuancho y Salazar (2015) en su investigación “*Estudio del efecto de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales Covicorti en la Ciudad de Trujillo - La Libertad*”, evaluó las aguas residuales provenientes de los distritos Víctor Larco, Trujillo y el Porvenir y partes de la Esperanza, para ello el monitoreo se realizó en la entrada a la PTAR, luego se llevó para hacer el análisis y así validar su eficiencia utilizando electrodos, obteniendo como resultados, en la turbidez 93,56%, remoción 97,32% de Color, DBO₅ 58,24%, STT 96,48% y DQO 90,95%.

Centeno et, al. (2019) en su investigación “*Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales, Trujillo, Perú*”, que se planteó como finalidad hacer una evaluación mediante un consorcio microbiano que estaba compuesta por *Schizosaccharomyces pombe*, bacterias rojas no sulfurosas y *Lactobacillus sp.*, por eso se realizó tres tratamientos (9 x 10⁸, 1,8 x 10⁹ y 3 x 10⁸ UFC/ml) y otro sin el consorcio, para la preparación del inóculo se utilizó 5% del consorcio, 90% de agua destilada y 5% de melaza, obteniendo que el tratamiento 1,8 x 10⁹ UFC/ml, fue el más eficiente al reducir 132,1 mgO/L, de esta manera se asegura el retorno de las aguas residuales al medio ambiente.

Para Muñiz (2020) en su informe “*Los fotobiorreactores de microalgas: Un recurso para el tratamiento terciario de aguas residuales*”, indica que mediante

un fotobiorreactor se puede producir microorganismos fotosintéticos ya que es un dispositivo cerrado, además tiene la capacidad de reducir la contaminación del agua residual proveniente de fuentes industriales y urbanas, así obteniendo ventajas sobre un sistema abierto.

La fitorremediación de aguas residuales es una de las tecnologías aplicadas en el tratamiento y eliminación de materia orgánica y nutrientes; para la aplicación de esta tecnología se hacen uso de diferentes organismos vegetales, además de representar una medida económica viable (Domínguez, et al, 2020).

Según la revisión realizada indica que las microalgas tienen muchas influencias en el factor dependiente, este análisis resalta las importancias de monitorear en condiciones críticas, para así saber qué tipo de método biológico usar, dentro de los diferentes cultivos de microalgas, ya que son tecnología viable en lo que se refiere al reciclaje y a la valoración de los recursos (Beltrán, et, al. 2017, p.05).

Las algas son consideradas como seres autótrofos que mayormente son pluricelulares y unicelulares. Estos seres pueden ser encontrados tanto en ecosistemas de agua dulce o salada, contribuyen al ecosistema como una fuente de alimentación primaria (Tenorio, 2018, p.84).

Se denomina microalgas al conjunto de microorganismos que poseen la capacidad de hacer por sí mismo la fotosíntesis, se pueden encontrar diferentes tipos como las cianobacterias (algas verdeazuladas) o las eucariotas (algas rojas, verdes y doradas). Algunas especies tienen la capacidad de usar materia orgánica para originar su propia energía (Lopez, 2019, p. 29).

Estos seres vivos hacen uso para generar su propia energía (heterótrofas o autótrofas) o pueden enmohecer compuestos orgánicos para generar la misma (quimioautótrofas), transformándolos en almidón o lípidos (López, 2017, p. 21).

Las aguas residuales es el resultado de acciones en el ambiente, aparecen por procesos de escorrentía, domésticos e industriales. Poseen una composición variada lo que permite la proliferación de microorganismos que son los causantes de riesgo a la salud pública, esta característica permite la proliferación de organismos fototróficos causantes de la eutrofización del agua (Ramirez, 2020, p. 32).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación de acuerdo a su propósito se reconoce como básica porque su desarrollo se basa en otras investigaciones, en base a la profundidad o nivel es de tipo descriptivo, según su naturaleza de los datos y las diferentes informaciones recogidas es de tipo cualitativa, por el medio de obtención de los datos es documental tipo revisión sistemática, en cuanto al diseño es no experimental de corte longitudinal porque hay una observación de los participantes en diferentes tiempos e intervalos y además ofrece a los investigadores ver la causa y efecto.

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización

Para realizar esta matriz se tomaron en cuenta los tipos, las características y las condiciones que deben tener las microalgas para el estudio, después de encontrar estas categorías fueron divididos en las subcategorías que van acorde a las áreas de interés de la investigación finalmente se diseñó la matriz acorde al estudio, para ello ver la tabla N° 08: Matriz de consistencia.

3.3. Escenario de estudio:

El proyecto está conformado por los artículos recuperados en las diferentes bases de datos, como ProQuest, Scielo, Dialnet Redalyc, Pubmed, Nature y Mendeley que guardan relación con el tema a investigar. Dentro de los cuales se recopiló información referente al uso de organismos vegetales, específicamente las microalgas en el tratamiento del agua residual industrial, donde las publicaciones son internacionales y nacionales.

3.4. Participantes:

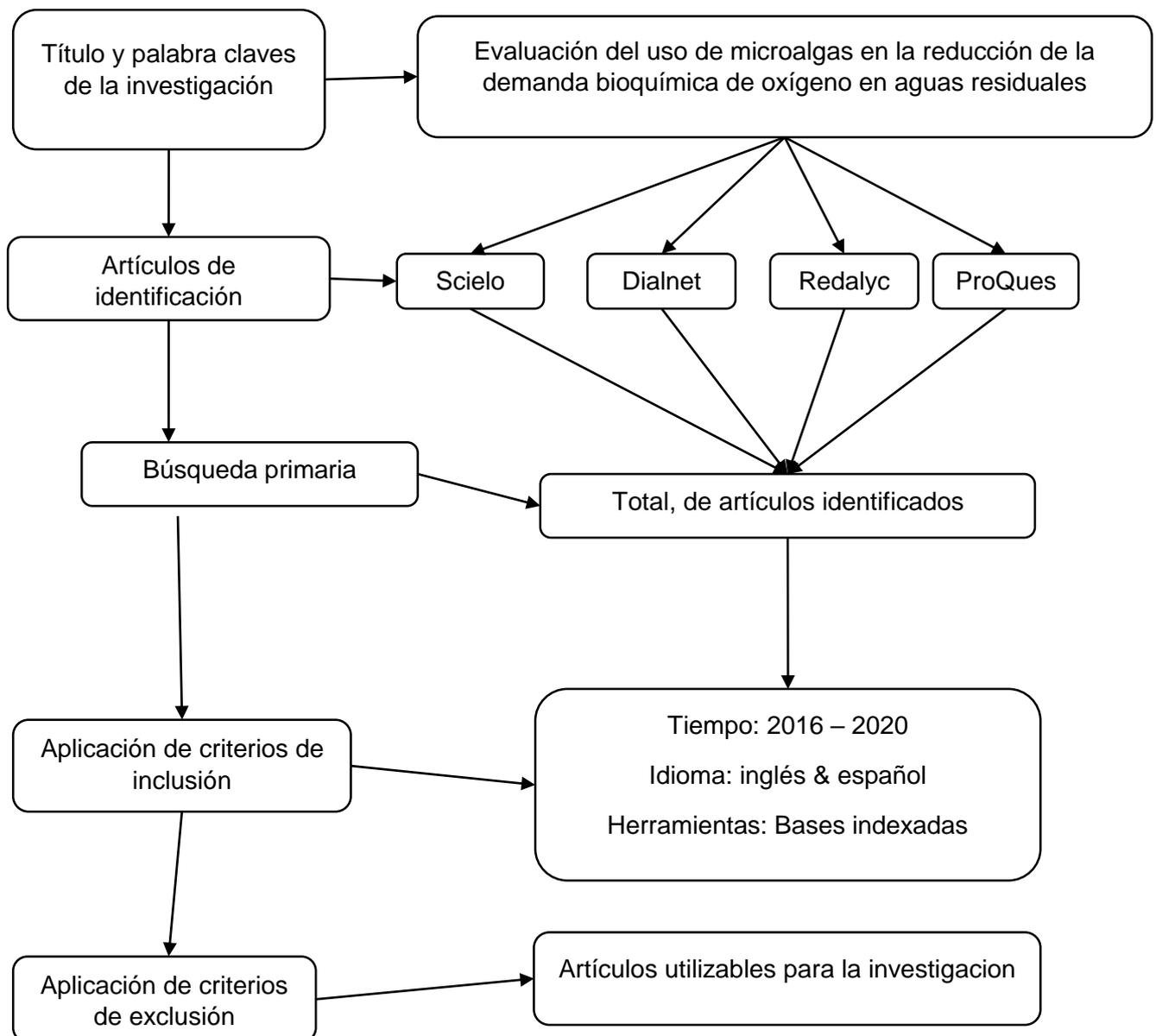
Está conformado por los diferentes artículos que fueron identificados en las principales plataformas especializadas de búsqueda bibliográfica por medio de palabras claves, donde se identificó 65 artículos, luego se procedió a la selección de acuerdo al criterio de inclusión establecido, quedando así 20 artículos con los cuales se desarrolló la investigación.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

La técnica realizada fue el análisis documental porque se hizo en base a los artículos que se recopilieron de las bases de datos indexadas, la recopilación de la información se hizo mediante las fichas de registros de datos

3.6. Procedimiento

Figura N°01: Diagrama de flujo de búsqueda de artículos



Fuente: Elaboración propia

Para la selección de artículos se siguió el esquema de búsqueda (Fig. N°01) tomando en cuenta como parte inicial, para ello se hizo uso de las palabras clave

referentes al tema de interés y las fuentes (revistas indexadas, artículos científicos, etc.) en las que fueron aplicadas.

Para su realización de búsqueda de artículos se ingresó a las bases de datos de las diferentes revistas indexadas: ProQuest, Scielo, Dialnet Redalyc, Pubmed, Nature y Mendeley de allí se aplicó el criterio de inclusión establecido.

Tabla N°01: Criterios aplicados en la búsqueda de artículos.

| Ítem | Criterios de búsqueda |
|------------------------|--|
| Tipo de acceso | Acceso libre |
| Tipo de literatura | Artículos científicos |
| Idioma | <ul style="list-style-type: none"> · Español · Ingles |
| Periodo de publicación | 2016 - 2020 |
| Tipo de agua residual | <ul style="list-style-type: none"> · Industrial · Municipal |
| Tipo de investigación | <ul style="list-style-type: none"> · Cuantitativa · Experimental y/o cuasiexperimental |

Fuente: Elaboración propia

Para la búsqueda se usaron diferentes palabras claves:

Tabla N°02: Palabras claves en la búsqueda primaria de artículos.

| Base de datos | Palabras claves |
|---------------|--|
| ProQuest | “microalgae”, “biochemical oxygen Demand”, “residual water” |
| Scielo | “microalgae”, “residual water” |
| Dialnet | “demanda bioquímica de oxígeno”, “microalga” y “agua residual” |
| Redalyc | “demanda bioquímica de oxígeno”, “microalga” y “agua residual” |
| Pubmed | microalgae, residual water |
| Nature | microalgae, biochemical oxygen Demand |
| Mendeley | microalgae, biochemical oxygen Demand |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°03: Artículos identificados en las bases de datos por años

| Años | ProQuest | Scielo | Dialnet | Redalyc | Pubmed | Nature | Mendeley | Total |
|-------|----------|--------|---------|---------|--------|--------|----------|-------|
| 2016 | 49 | 2 | 1 | 297 | 4 | 2 | 6 | 361 |
| 2017 | 80 | 2 | 6 | 292 | 5 | 5 | 6 | 396 |
| 2018 | 95 | 1 | 6 | 304 | 7 | 3 | 10 | 426 |
| 2019 | 106 | 1 | 4 | 300 | 7 | 12 | 17 | 447 |
| 2020 | 123 | 1 | 2 | 200 | 12 | 14 | 15 | 367 |
| 2021 | 59 | 1 | 0 | 0 | 8 | 5 | 8 | 367 |
| Total | 512 | 8 | 19 | 1393 | 43 | 41 | 62 | 2078 |

Fuente: Elaboración propia

Después de hacer la recopilación de artículos en la base de datos se hizo la selección, los cuales se aplicaron los diferentes filtros para que así nos permita la facilidad en el análisis de la información.

Dentro de lo cual fueron necesario para su selección contar con el siguiente análisis de cada uno de los artículos seleccionados, agrupando aquellos que guarden la relación según su palabra clave en relación con los criterios de exclusión e inclusión.

Después de haber pasado por el procedimiento de análisis fueron clasificados según el tipo de microalga y la forma de aplicación de acuerdo a lo especificado en el artículo de análisis.

3.7. Rigor científico

La presente investigación se basó por utilizar únicamente artículos que se encuentren en las bases de datos indexadas para así poder garantizar el rigor científico y la confianza, asimismo, se considerarán artículos que estén en el primer y segundo cuartil lo que garantiza la rigurosidad y veracidad de los datos que serán utilizados en la presente investigación.

3.8. Método de análisis de datos

El método que se utilizó en la presente tesis de investigación es la ficha de recolección de datos. Asimismo, se realizó una previa evaluación para que haya una caracterización similar en data como el tipo de diseño utilizado, el tipo de microalga, los niveles de concentración de DBO y DQO en el agua residual y en base a ello se realizó el análisis de los datos para las obtenciones de las conclusiones.

3.9. Aspectos éticos

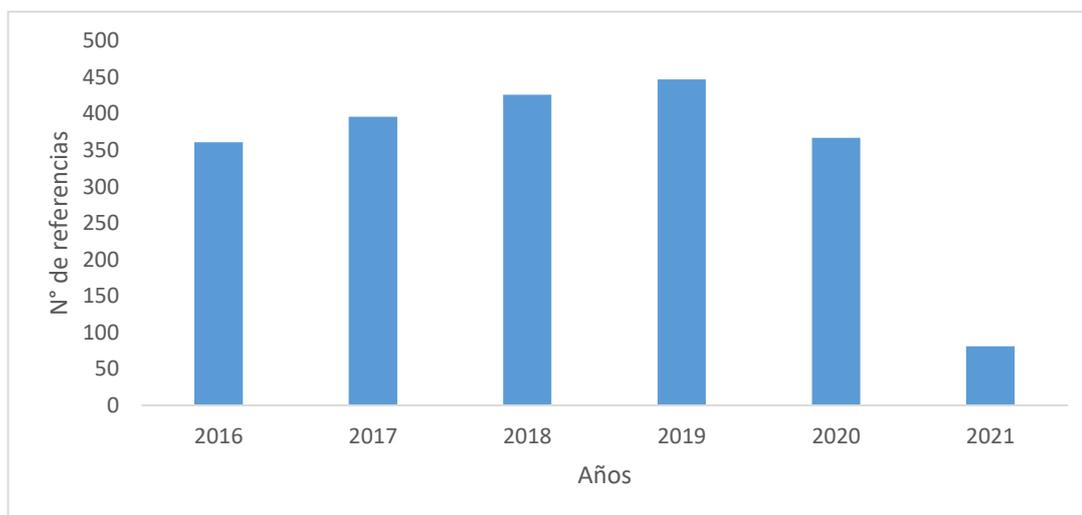
En la presente tesis se garantiza la honestidad en el manejo de la tabulación de los datos, así mismo las conclusiones se realizó de forma objetiva respetando el derecho de autoría de cada uno de las publicaciones que serán seleccionadas y que formarán parte de la investigación.

Para los aspectos éticos nos estamos basando en COPE (2016) porque propone la autenticidad y veracidad en los datos y las citas claras para así no potenciar el auto plagio en las investigaciones. También se propone a hacer una cita correcta de la bibliografía utilizada por la norma de referenciación ISO 690 implantada por la universidad, además se garantiza la objetividad de las conclusiones para así evitar el problema de autenticidad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestra el resultado de la búsqueda primaria en las bases de datos ProQuest, Scielo, Dialnet, Redalyc, Pubmed, Nature y Mendeley, tal como se muestran en el siguiente gráfico:

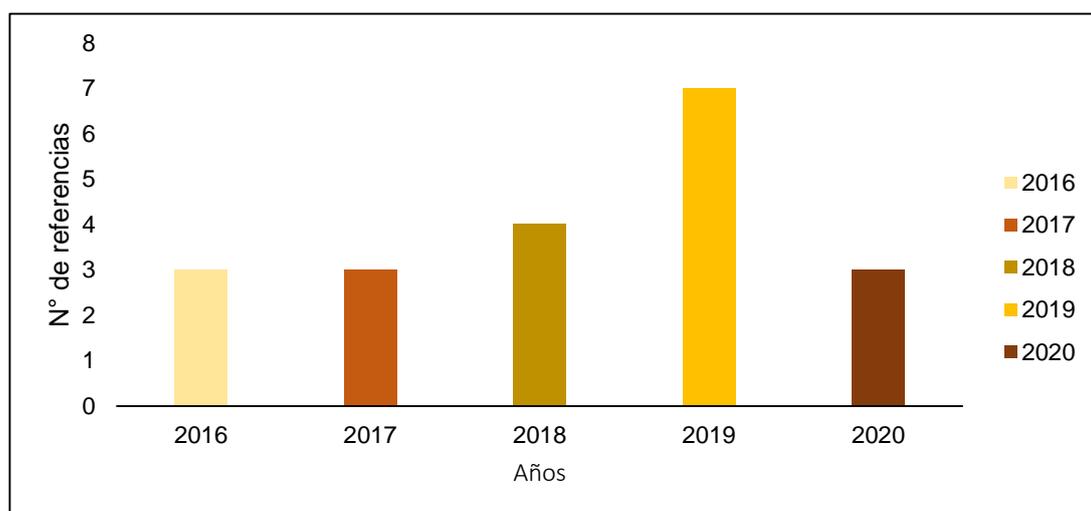
Figura N°02: Artículos indexados en las bases de datos por años



Fuente: Elaboración propia

En la (Figura N° 03), se muestran los artículos seleccionados después de haber aplicado el criterio de exclusión e inclusión teniendo un total de 20 artículos tal como se muestra en la figura.

Figura N°03: Artículos aplicados los criterios inclusión y exclusión



Fuente: Elaboración propia

De los artículos seleccionados se toma en cuenta, aquellas especies que cuentan con la mayor capacidad de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), de acuerdo al mayor porcentaje de remoción y el menor según las investigaciones referidas, tal como se muestra a continuación:

Tabla N°04: Microalgas y valores de remoción de DBO₅

| N° | Año | Autor | Tipo de microalga | Remoción DBO ₅ (%) |
|----|------|---------------------------------|--|-------------------------------------|
| 1 | 2016 | Ballén, Miguel, [et. al]. | <i>Scenedesmus sp.</i> | T2: 88.00 |
| 2 | 2018 | Rosales, Ana, [et. al]. | <i>Scenedesmus sp.</i> | T1: 98.70 T2: 89.02 |
| 3 | 2016 | Hernández, Isaías, [et. al]. | <i>Scenedesmus obliquus</i> <i>Chlorella vulgaris</i> | T1: 98.10 T2: 97.70 T3: 93.50 |
| 4 | 2020 | Torres, Alessandra. | <i>Eleocharis palustris</i> <i>Lemna minor</i> | T1: 64.30 T2: 54.40 |
| 5 | 2017 | Angulo, Edgardo, [et. al]. | <i>Chlorella sp.</i> <i>Phormidium sp.</i> | T3: 78.00 |
| 6 | 2020 | Campuzano, Jerson, [et, al] | <i>Chorella spirulina</i> | Reactor N°04: 97.65 T3: 76.10 |
| 7 | 2019 | Arroyo, Bruno. | <i>Chlorophyta</i> | T4: 83.10 T5: 25.90 T6: 50.40 |
| 8 | 2016 | Romero, Margiht. | <i>Chlorella sp</i> <i>Franceia sp</i> | T1: 86.80 T2: 86.00 |
| 9 | 2019 | Aranda, Gloria y Pinchi, Xiome. | <i>Pistia stratiotes</i> <i>Eichhornia crassipes</i> | T1: 11.20 T2: 40.35 |

| | | | | |
|----|------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|
| 10 | 2018 | Castro, Yira, [et. al]. | <i>Zantedeschia aethiopica</i> | 50.00 |
| 11 | 2017 | Arias, Jimena, [et. al]. | <i>Eichhornia crassipes</i> | 55.00 |
| 12 | 2019 | Enriquez, Ingrid. | <i>Eichhornia crassipes</i> <i>Lemna minor</i> | T1: 98.00 T2: 98.00 |
| 13 | 2018 | Rosas, Jean. | <i>Typha Latifolia</i> <i>Phragmites Australis</i> | T1: 96.78 T2: 97.32 |
| 14 | 2019 | Bustamante, Elva y Pérez, Tatiana. | <i>Typha sp</i> <i>Chrysopogon zizanioides</i> | T1: 78.00 T2: 89.00 |
| 15 | 2019 | Mendoza Bobadilla. | <i>Chlorella vulgaris</i> | T2: 91.00 |
| 16 | 2019 | Ocaña, Melanie. | <i>Chlorophyta</i> | T4: 83.10 |
| 17 | 2018 | Das, Cindrella, [et. al]. | <i>Chlorella sp.</i> <i>Phormidium sp.</i> | T1: >90.00 T2: >90.00 |
| 18 | 2017 | Serrano, María. | <i>Botryococcus sp.</i> | 59.90 |
| 19 | 2019 | Anh, Thi, [et. al]. | <i>Chlorella vulgaris</i> | T1: 81.00 T2: 74.00 T0: 75.00 |
| 20 | 2020 | Vargas, Rosita | <i>Scenedesmus sp.</i> | T1: 97.02 T2: 97.02 T3: 96.85 |

Fuente: Elaboración propia

Por lo que la selección se basó en aquellas especies de microalgas que fueron aplicadas con mayor continuidad tomando el mínimo y el máximo porcentaje de remoción según esos artículos, tal como se muestra a continuación:

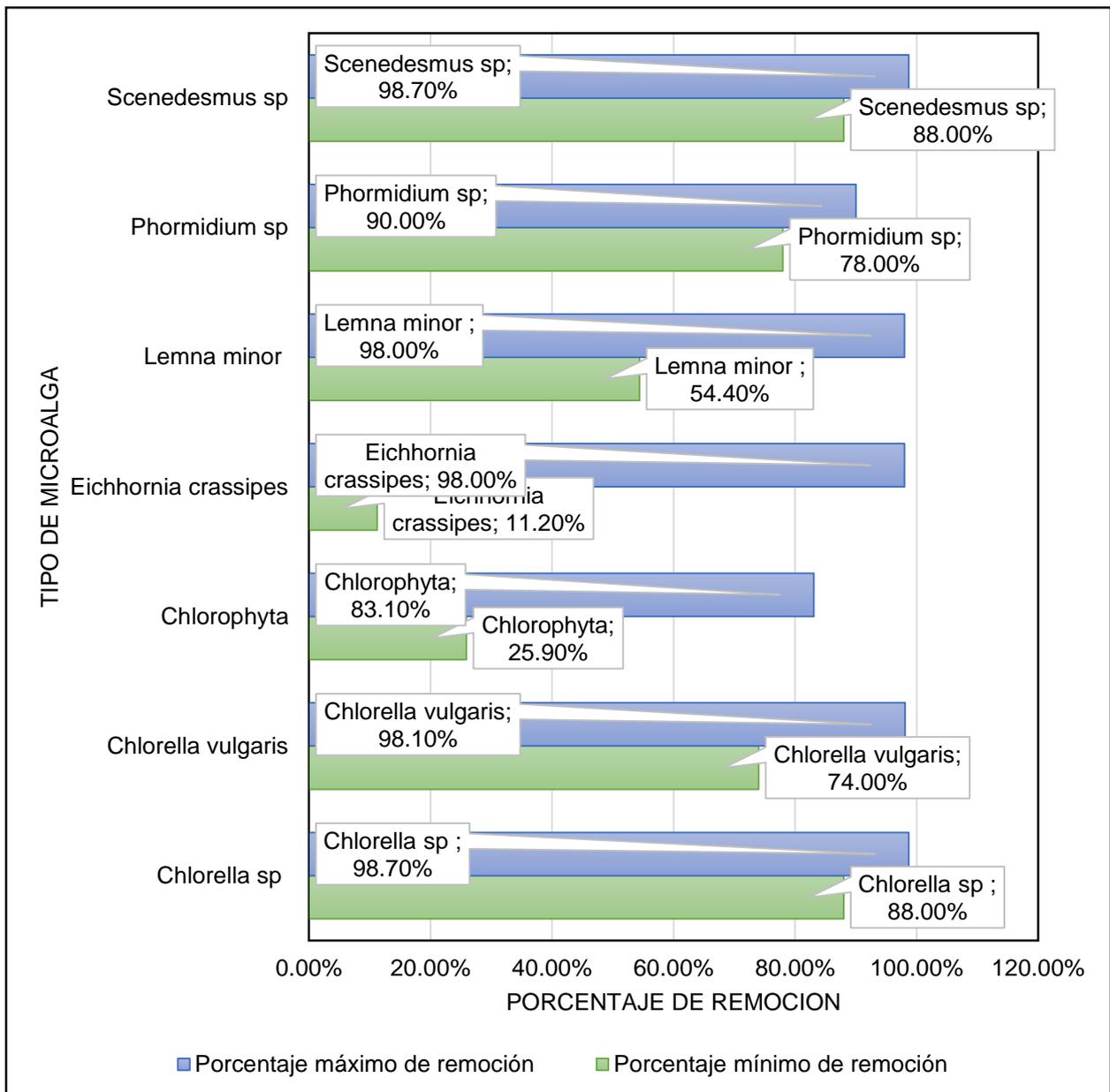
Tabla N°05: Niveles de DBO₅ en aguas residuales.

| Especie | Autor | Porcentaje mínimo de remoción | Autor | Porcentaje máximo de remoción |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Chlorella sp | Angulo, Edgardo, [et. al]. | 88.00 | Das, Cindrella, [et. al]. | 98.70 |
| Chlorella vulgaris | Anh, Thi, [et. al]. | 74.00 | Hernández, Isaías, [et. al]. | 98.10 |
| Chlorophyta | Arroyo, Bruno. | 25.90 | Ocaña, Melanie. | 83.10 |
| Eichhornia crassipes | Aranda, Gloria y Pinchi, Xiome. | 11.20 | Enriquez, Ingrid | 98.00 |
| Lemna minor | Torres, Alessandra. | 54.40 | Enriquez, Ingrid. | 98.00 |
| Phormidium sp | Angulo, Edgardo, [et. al]. | 78.00 | Das, Cindrella, [et. al]. | 90.00 |
| Scenedesmus sp | Ballén, Miguel, [et. al]. | 88.00 | Rosales, Ana, [et. al]. | 98.70 |

Fuente: Elaboración propia

Por lo cual dentro del análisis respectivo es la microalga *Scenedesmus sp* es una de las más efectivas con un porcentaje máximo de remoción de 98.70% tal como lo muestra la tabla N°05, en contraste con *Eichhornia crassipes* con un porcentaje de 11.20% como valor mínimo, los valores obtenidos pueden variar según el tratamiento aplicado. Los resultados obtenidos se pueden ver representados en el siguiente gráfico:

Figura N°04: Porcentaje de remoción de las microalgas según referencias



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la microalga *Chlorella vulgaris* en conjunto con diversos métodos de desinfección como: la irradiación UV, aplicación de hipoclorito de sodio y ácido peracéticos tiene efectos positivos en la remoción de la materia orgánica, nitratos y fosfatos, debido a que según su evaluación por al menos 13 días esta microalga tuvo una remoción de los nutrientes entre el 89.00% y 97.00% superando a los valores encontrados en el agua sin tratar (Aguirre, A. et al, 2021, p.1824).

La mayor cantidad de estudios, su aplicación de agua residual se dio en la categoría de “efluentes industriales” provenientes de curtiembres dando un total de 20%, de igual manera los efluentes municipales que representan un total del 35% de las investigaciones, que en teoría no representa un alto impacto frente a las investigaciones se muestra como una mejora posterior en los cuerpos de agua donde son eliminados los efluentes tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N°06: Tipo de agua residual tratada según los artículos

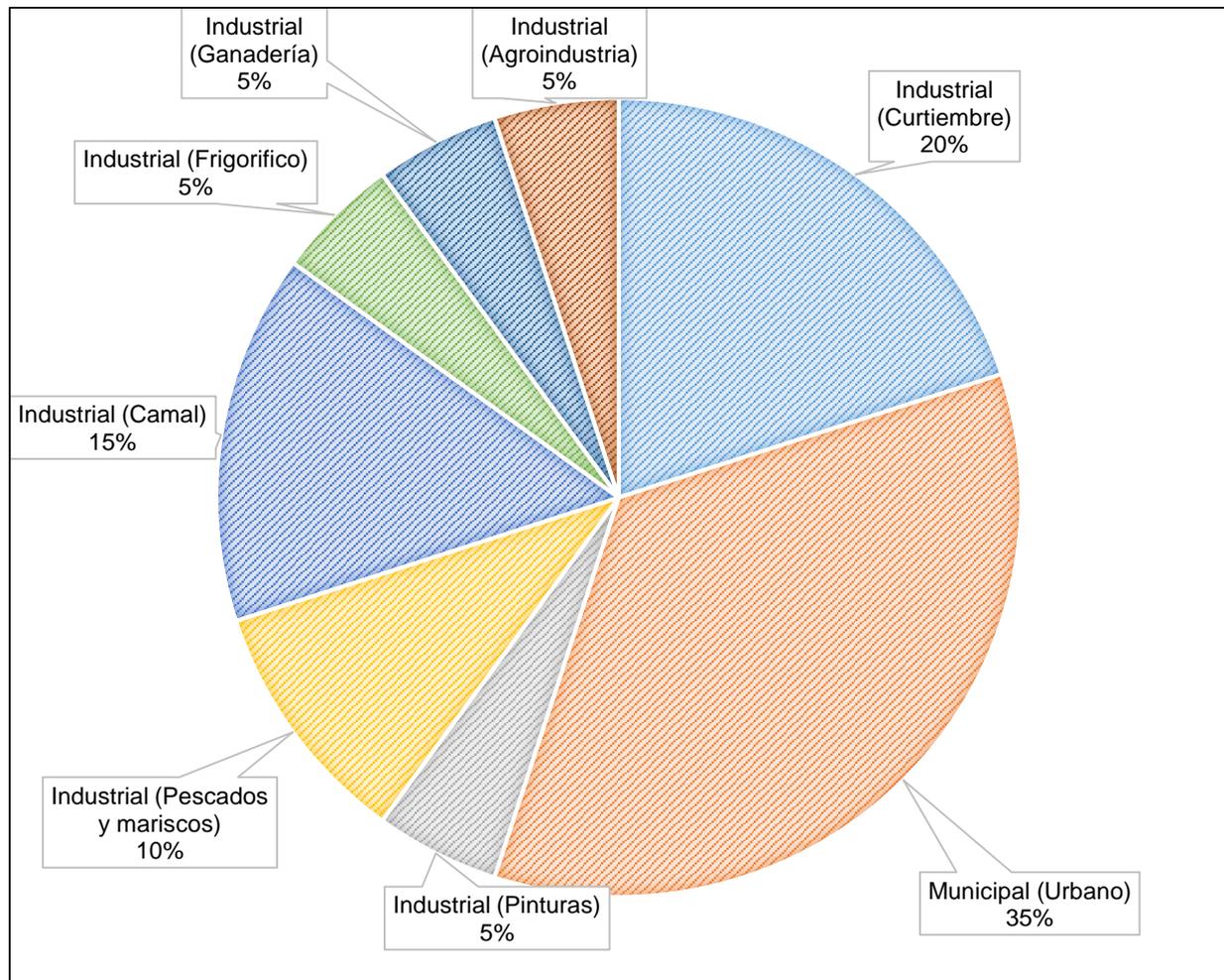
| N° | Año | Autor | Tipo de agua residual | Tipo de microalga | Remoción DBO5 (%) |
|----|------|--|--------------------------------|---|-------------------|
| 1 | 2019 | Enriquez, Ingrid. | Industrial (Agroindustrial) | <i>Eichhornia crassipes</i> <i>Lemna minor</i> | T1: 98.00 |
| | | | | | T2: 98.00 |
| | | | | | T3: 76.10 |
| | | | | | T4: 83.10 |
| 2 | 2019 | Arroyo, Bruno. | Industrial (Camal) | <i>Chlorophyta</i> | T5: 25.90 |
| | | | | | T6: 50.40 |
| | | | | | |
| 3 | 2018 | Rosas, Jean. | Industrial (Camal) | <i>Typha Latifolia</i> <i>Phragmites Australis</i> | T1: 96.78 |
| | | | | | T2: 97.32 |
| 4 | 2019 | Ocaña, Melanie. | Industrial L (Camal) | <i>Chlorophyta</i> | T4: 83.10 |
| 5 | 2016 | Ballén, Miguel, [et. al]. | Industrial (Curtiembre) | <i>Scenedesmus sp.</i> | T: 88.00 |
| 6 | 2018 | Rosales, Ana, [et. al]. | Industrial (Curtiembre) | <i>Scenedesmus sp.</i> | T1: 98.70 |
| | | | | | T2: 89.02 |
| 7 | 2019 | Bustamante, Elva y Pérez, Tatiana. | Industrial (Curtiembre) | <i>Chlorella vulgaris</i> | T2: 91.00 |
| 8 | 2018 | Das, Cindrella, [et. al]. | Industrial (Curtiembre) | <i>Chlorella sp.</i> <i>Phormidium sp.</i> | T1: >90.00 |
| | | | | | T2: >90.00 |

| | | | | | |
|----|------|--|--|---|--|
| 9 | 2016 | Romero, Margiht. | Industrial (Frigorífico) | <i>Chlorella sp</i> <i>Franceia sp</i> | T1: 86.80 T2: 86.00 |
| 10 | 2019 | Aranda, Gloria y Pinchi, Xiome. | Industrial (Ganadería) | <i>Pistia stratiotes</i> <i>Eichhornia crassipes</i> | T1: 11.20 T2: 40.35 |
| 11 | 2020 | Campuzano, Jerson, [et, al] | Industrial (Pescados y mariscos) | <i>Chorella spirulina</i> | Reactor N°04: 97.65 |
| 12 | 2019 | Anh, Thi, [et. al]. | Industrial (Pescados y mariscos) | <i>Chlorella vulgaris</i> | T1: 81.00 T2: 74.00 |
| 13 | 2017 | Angulo, Edgardo, [et. al]. | Industrial (Pinturas) | <i>Chlorella sp.</i> <i>Phormidium sp.</i> | T: 78.00 |
| 14 | 2016 | Hernández, Isaías, [et. al]. | Municipal (Urbano) | <i>Scenedesmus obliquus</i> <i>Chlorella vulgaris</i> | T1: 98.10 T2: 97.70 T3: 93.50 |
| 15 | 2020 | Torres, Alessandra. | Municipal (Urbano) | <i>Eleocharis palustris</i> <i>Lemna minor</i> | T1: 64.30 T2: 54.40 |
| 16 | 2018 | Castro, Yira, [et. al]. | Municipal (Urbano) | <i>Zantedeschia</i> <i>aethiopica</i> | 50.00 |
| 17 | 2017 | Arias, Jimena, [et. al]. | Municipal (Urbano) | <i>Eichhornia crassipes</i> | 55.00 |
| 18 | 2019 | Bustamante, Elva y Pérez, Tatiana. | Municipal (Urbano) | <i>Typha sp</i> <i>Chrysopogon</i> <i>zizanioides</i> | T1: 78.00 T2: 89.00 |
| 19 | 2017 | Serrano, María. | Municipal (Urbano) | <i>Botryococcus sp.</i> | 59.90 |
| 20 | 2020 | Vargas, Rosita. | Municipal (Urbano) | <i>Scenedesmus sp.</i> | T0: 75.00 T1: 97.02 T2: 97.02 T3: 96.85 |

Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la figura N°05 donde es el agua residual de tipo industrial aquella que cobertura la mayor cantidad de referencias en cuanto a las referencias analizadas

Figura N°05: Tipo de aguas residuales donde se aplicaron los estudios.



Fuente: Elaboración propia

La aplicación de las microalgas en el tratamiento de diversos procesos industriales, debido a la alta capacidad metabólica que poseen. Los residuos industriales contienen una alta cantidad de materia orgánica, nitrógeno y fosforo. Por lo que los tratamientos en este tipo de aguas se dan en tres niveles: Primario (Eliminación de sólidos), secundario (consumo de materia orgánica) y terciario (tratamiento avanzado), el tratamiento biológico de las aguas residuales industriales proporciona ventajas económicas y ambientales, debido a que las microalgas liberan oxígeno que pueden ser usados para producir aeración mecánica (Mérida L., 2020, p. 30) Los tratamiento generan la biomasa algal

tienden a producir lo denominado como biocombustibles por medio de la fracción lipídica o digestión anaeróbica (Salas, J. 2021)

En el caso de aguas residuales municipales, se refiere a que este tratamiento es aplicado en poblaciones menores a los 2000 habitantes tomando en cuenta dicho estándar la fitorremediación por medio de microalgas no es tan efectiva en comparación con el de aguas urbanas, debido a que su alcance es focalizado por lo que se determina que en zonas donde la población no supera el estándar ya mencionado este tipo de tratamiento representa una solución económica viable. (Domínguez, et al, 2020, p.3)

Para lo cual en muchos de los estudios recopilados se indica que el mejor sistema aplicado en estos estudios son los abiertos, porque tienen efectos positivos en parámetros físicos, químicos y biológicos. Los cuales tiene una gran influencia sobre los efluentes, este tipo de sistema tienen a mostrar resultados por sí solos sin requerir mucho control por parte del personal.

Tabla N°07: Tipos de cultivos de microalgas.

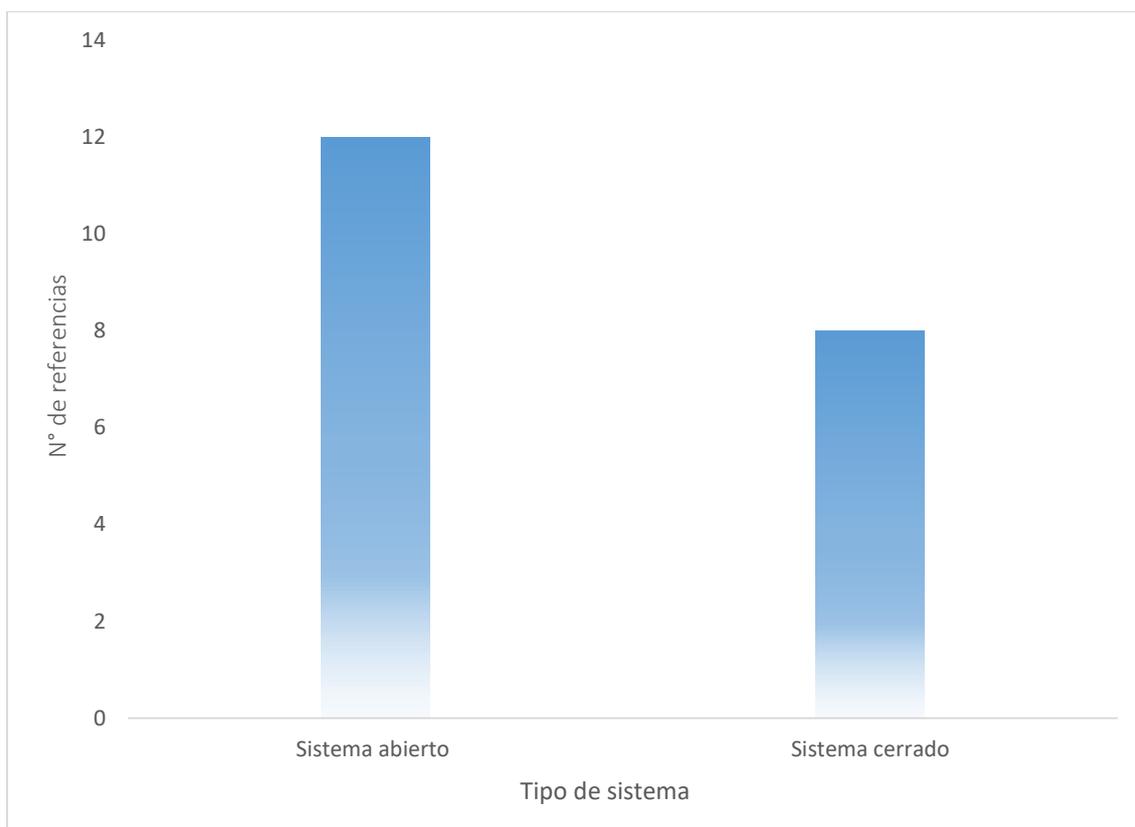
| N° | Año | Autor | Tipo de microalga | Coloración de la microalga | Sistema del medio de cultivo |
|----|------|------------------------------------|---|----------------------------|------------------------------|
| 1 | 2019 | Enriquez, Ingrid. | <i>Eichhornia crassipes</i> <i>Lemna minor</i> | Rojo | Sistema cerrado |
| 2 | 2019 | Arroyo, Bruno. | <i>Chlorophyta</i> | Verde | Sistema cerrado |
| 3 | 2018 | Rosas, Jean. | <i>Typha Latifolia</i> <i>Phragmites Australis</i> | Rojo Marrón | Sistema abierto |
| 4 | 2019 | Ocaña, Melanie | <i>Chlorophyta</i> | Verde | Sistema cerrado |
| 5 | 2016 | Ballén, Miguel, [et. al]. | <i>Scenedesmus sp.</i> | Verde | Sistema abierto |
| 6 | 2018 | Rosales, Ana, [et. al]. | <i>Scenedesmus sp.</i> | Verde | Sistema abierto |
| 7 | 2019 | Bustamante, Elva y Pérez, Tatiana. | <i>Chlorella vulgaris</i> | Verde | Sistema abierto |

| | | | | | |
|----|------|------------------------------------|--|-----------------|-----------------|
| 8 | 2018 | Das, Cindrella, [et. al]. | <i>Chlorella sp.</i> <i>Phormidium sp.</i> | Verde | Sistema cerrado |
| 9 | 2016 | Romero, Margiht. | <i>Chlorella sp</i> <i>Franceia sp</i> | Verde | Sistema abierto |
| 10 | 2019 | Aranda, Gloria y Pinchi, Xiome. | <i>Pistia stratiotes</i> <i>Eichhornia crassipes</i> | Verde | Sistema abierto |
| 11 | 2020 | Campuzano, Jerson, [et, al] | <i>Chorella spirulina</i> | Verde | Sistema abierto |
| 12 | 2019 | Anh, Thi, [et. al]. | <i>Chlorella vulgaris</i> | Verde | Sistema abierto |
| 13 | 2017 | Angulo, Edgardo, [et. al]. | <i>Chlorella sp.</i> <i>Phormidium sp.</i> | Verde Marrón | Sistema abierto |
| 14 | 2016 | Hernández, Isaías, [et. al]. | <i>Scenedesmus obliquus</i> <i>Chlorella vulgaris</i> | Verde | Sistema abierto |
| 15 | 2020 | Torres, Alessandra | <i>Eleocharis palustris</i> <i>Lemna minor</i> | Rojo | Sistema cerrado |
| 16 | 2018 | Castro, Yira, [et. al]. | <i>Zantedeschia aethiopica</i> | Rojo | Sistema abierto |
| 17 | 2017 | Arias, Jimena, [et. al]. | <i>Eichhornia crassipes</i> | Rojo | Sistema abierto |
| 18 | 2019 | Bustamante, Elva y Pérez, Tatiana. | <i>Typha sp</i> <i>Chrysopogon zizanioides</i> | Rojo Verde | Sistema abierto |
| 19 | 2017 | Serrano, María. | <i>Botryococcus sp.</i> | Rojo | Sistema cerrado |
| 20 | 2020 | Vargas, Rosita. | <i>Scenedesmus sp.</i> | Verde | Sistema cerrado |

Fuente: Elaboración propia

Esto responde a los representado en la figura N°06, tal como se muestra a continuación:

Figura N°06: Tipo de sistema aplicado según el medio de cultivo



Fuente: Elaboración propia

Las microalgas son consideradas “autótrofas” porque tiene la capacidad de tomar aquellos nutrientes no necesarios en un medio para así fortalecer su crecimiento al igual que la producción de energías limpias necesarias para la purificación o limpieza de los efluentes, lo que corresponde a un sistema “abierto”. Este sistema representa un bajo costo y su desarrollo se da de manera in - situ, debido que este tipo de microalgas no cuentan con características específicas para su crecimiento, en contraste con las microalgas “heterótrofas” que pueden proliferar en cualquier ambiente, porque no necesitan de la luz solar para su crecimiento y pueden aplicarse en cualquier ambiente ya que no requieren mayor cuidado, por lo que su crecimiento se da en un sistema “cerrado” o “abierto”; pero es el primer sistema aquel que demuestra una clara desventaja ya que requiere se tenga un mecanismo de control exhaustivo y contar con agentes químicos para maximizar sus (Hidalgo, D.et al, 2018, p. 2).



V. CONCLUSIONES

Entre las microalgas de mayores valores de remoción de DBO_5 reportadas se tiene a la *Chlorella sp* (98.70%), *Chlorella vulgaris* (98.10%), *Chlorophyta* (83.10%), *Eichhornia crassipes* (98.00%), *Lemna minor* (98.00%), *Phormidium sp* (98.00%), *Scenedesmus sp* (98.70%), las cuales presentan además amplia adaptabilidad en distintos medios.

Dentro de todas las microalgas reportadas, la *Scenedesmus sp* cuyo valor de remoción máximo de DBO_5 fue del 98.70% es la que mostró efectos positivos en los parámetros físicos, químicos y biológicos de los diferentes tipos de efluentes evaluados.

Los cuerpos de agua reportados que muestran mayor facilidad de tratamiento con microalgas son las aguas residuales industriales que corresponden al 65% de los estudios analizados, y entre ellas, son las aguas residuales de curtiembre las que mostraron mayor efecto positivo tras el uso de las microalgas.

El sistema que muestra mayor eficiencia en la remoción de la DBO_5 corresponde a los sistemas abiertos que corresponden al 60% de los estudios analizados tomando en cuenta que dichos sistemas no requieren un control por parte del personal, adicionalmente este tipo de sistemas no requiere de condiciones específicas para el crecimiento y/o desarrollo de las microalgas.

VI. RECOMENDACIONES

En las próximas investigaciones indagar sobre el uso de otros agentes vegetales en el tratamiento de las aguas residuales, así mismo evaluar si su uso requiere de la aplicación de otros agentes químicos para obtener el máximo efecto positivo.

Se sugiere indagar en las investigaciones por medio de familias o en todo caso con aquellas algas que cuentan con una mayor accesibilidad dentro del territorio peruano.

Realizar de manera posterior un análisis correlacional en cuanto a las microalgas de mayor aplicación contrastando zonas de aplicación, sistemas y/o concentraciones en búsqueda de una medida estándar para los tratamientos de agua, es decir contar con una técnica unificada.

REFERENCIAS

ROSALES, A. G.; RODRÍGUEZ, C. D.; BALLEEN-SEGURA, M. Pollutant. Remotion and Growth of *Scenedesmus sp.* on Wastewater from Tannery. A Comparison Between Free and Immobilized Cells. Ingeniería y Ciencia, [en línea]. 2018, vol. 14, no 28, p. 11-34. Disponible en: <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/14366>

MANZOLILLO, Bartolomé. Uso de tecnologías limpias para el tratamiento de aguas residuales urbanas. Tekhné: Revista de la Facultad de Ingeniería. [en línea] 2020, Vol. N°23, p. 11 – 20. Disponible en: <http://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/temas/index.php/tekhne/article/view/4660/3887>

SAGASTA, Javier. Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe Estado, principios y necesidades. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Santiago de Chile, 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i7748s.pdf>

DOMÍNGUEZ, Manuel, RUIZ, Jesús, GARRIDO, Carmen y VARGAS, José. Phytoremediation of urban wastewater of small municipalities with microalgae. Revista Científica: Ecoeficiencia. [en línea]. 2020. Vol. N°07, N°02, p. 01 – 27. Disponible en: <http://3.14.189.95/index.php/ecociencia/article/view/347/262>

VACCA, Víctor, ANGULO, Edgardo, PUENTES, Diana, TORRES, José y PLAZA, Martin. Using the microalgae *Chlorella sp.* live suspended in decoloration wastewater from a textile factory. Perspectiva. [en línea]. 2017, Vol. N°15, N°01. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v15n1/1692-8261-prosp-15-01-00093.pdf>

CARTAGENA Arévalo, Julián y MALO Malo, Brian. Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la PTAR el salitre a nivel laboratorio. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Fundación Universidad de América. Programa de Ingenierías. Bogota D.C, 2017. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6035/1/6112734-2017-I-IQ.pdf>

ÁVILA, José, LAOS, Andrea y VERANO, Rosa. Nitrate and phosphate removal by free and immobilized native strains of *Chlorella* sp. (Chlorellaceae) and *Chlamydomonas* sp. (Chlamydomonadaceae) in municipal wastewaters. *Arnaldoa* [en línea]. 2018, Vol. N°25, N°02, Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v25n2/a10v25n2.pdf>

OLARTE, Edward y VALENCIA, Mónica. Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas residuales industriales (vinazas). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrarias Pecuarias y del Medio Ambiente. Ingeniería Ambiental.

Disponible:

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/5882/91535665.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

BALDIRIS, Ildefonso, TORRES, Martha y SÁNCHEZ, Jorge. Evaluation of the use of the microalgae *Chlorella vulgaris* as a biorremediator of discharges from the Aquaculture Industry in the Colombian Caribbean. *Teknos*. [en línea] 2019, Vol. N°19, N°01, p. 10 – 15. Disponible en: <https://revistas-tecnologico.comfenalco.info/index.php/teknos/article/view/988/852>

RAMOS, Roberto y PIZARRO, Roberto. Crecimiento y capacidad de biorremediación de *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) cultivada en aguas residuales generadas en el cultivo del pez dorado *Seriola lalandi* (Perciformes: Carangidae). *Rev. Biología Marina Oceanográfica* [en línea]. 2018, Vol N° 53, N° 01, p.75-86. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-19572018000100075&script=sci_arttext

DEVIA, Darkys, CÁCERES, Sindy, ALBA, Lucia, SUÁREZ, Jonh y URBINA, Néstor. Use of microalgae of *Chlorophyta* division in the biological treatment of acid drains of coal mines. *Rev. Colombiana de Biotecnología* [en línea] 2017, Vol N° 19, N°02, p. 1-10. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/70429/pdf>

MACEDO, Andrea. Evaluación de la capacidad de remoción de nitratos y fosfatos de la microalga, *Desmodesmus asymmetricus*, en aguas residuales de

Petartaboada Callao, Perú (Tesis para optar el Título Profesional de Licenciada en Biología). Universidad Ricardo Palma, 2018 Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1675>

IBAÑEZ, Vladimiro, JAHUIRA, Faustino y JIMENEZ, Luis. Tratamiento de aguas eutrofizadas de la bahía interior de Puno, Perú, con el uso de dos Macrófitas. Revista de Investigación Altoandinas. [en línea] 2016, Vol N^a 18, N^o04, p.403 - 410. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v18n4/a03v18n4.pdf>

LOPEZ, Wilder. Evaluación de dos especies de microalgas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes de aguas residuales de la PTAR Taboada del Callao, Perú. Tesis (Título profesional d Ingeniero Ambiental). Universidad Nacional Federico Villarreal. 2019. Disponible en: <http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2705/LOPEZ%20PONTE%20WILDER%20MICHEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

BAZÁN, Mauri y NUREÑA, Jheyson. Efecto del tiempo y dosis de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales de las pozas de oxidación de Covicorti - Trujillo, Perú (Título profesional de Ingeniero Ambiental). Universidad Cesar Vallejo, 2019. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/44314>

CARHUANCHO, Hans y SALAZAR, Jorge. Estudio del efecto de la electrocoagulación en el tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales Covicorti en la ciudad de Trujillo - la libertad, Perú (Título profesional d Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Trujillo.2015.

Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3590>

CENTENO, Luis, LOPEZ, Fiorella y QUINTANA, Aníbal. Effect of a microbial consortium on the effectiveness of wastewater treatment, Trujillo, Perú. Arnaldoa. [en línea] 2019, Vol. N^o 26, N^o 01. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992019000100023

MUÑIZ, Rafael. Los fotobiorreactores de microalgas: Un recurso para el tratamiento terciario de aguas residuales. Tekhné: Revista de la Facultad de

Ingeniería. [en línea] 2019, Vol. N° 22, N° 03, p. 13 – 25. Disponible en: <http://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/temas/index.php/tekhne/article/view/4062/3403>

BELTRÁN, Julio, GUAJARDO, Claudio, BARCELÓ, Icela y LÓPEZ, Ulrico. Biotreatment of secondary municipal effluents using microalgae: Effect of pH, nutrients (C, N and P) and CO₂ enrichment. [En línea] 2017, Vol. 52, N° 3:. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/revbiolmar/v52n3/art01.pdf>

TENORIO, Paola. Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Centro de Investigación Biológicas del Noroeste, S.C. Tesis (Grado de Doctor en Ciencias). La Paz, Baja California Sur, febrero 2018. Disponible en: https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/949/1/tenorio_p.pdf

LÓPEZ, Alan. Potencial de cepas de microalgas aisladas de la Costa de Yucatán para la Producción de Biodiesel. Tesis (Maestro en Ciencias en Energía Renovable). Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. 2017. Disponible en: https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/424/1/PCER_M_Tesis_2017_L%C3%B3pez_Alan.pdf

RAMIREZ, Luis. Agrobiología. Una visión general y sus aplicaciones [en línea]. Merida: Publisher, 2020. [Fecha de consulta: 30 de septiembre del 2020]. Capítulo 2. Microalgas para el manejo de aguas residuales, actualidad y perspectivas. Disponible en: <https://www.meridapublishers.com/libro1/AGROBIOLOGIA-CAP2.pdf>

COPE. La ética de las publicaciones y COPE. Revista Biomédica Revisada Por Pares. 2016. [Fecha de consulta: Septiembre de mayo del 2020] Disponible en: <https://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Perspectivas/Editorial/6456.act>

CANDELA, Ruben. Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica. Universidad Nacional Abierta y a Distancia Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. (2016). Disponible en:

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/12170/91541023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HERNÁNDEZ, Alexis y LABBÉ, José. Microalgas, cultivo y beneficios. Revista de Biología Marina y Oceanografía Vol. 49, Nº2: 157-173. Disponible en: (2014).
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/revbiolmar/v49n2/art01.pdf>

BALLÉN Miguel, et al. Using Scenedesmus sp. for the Phycoremediation of Tannery Wastewater. Tecciencia, [en línea]. 2016, vol. 11, no 21, pág. 69-75. Disponible en:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-36672016000200011

HERNÁNDEZ, Isaías López; ARROYO, Jesús Vásquez; REYNA, Vicente de Paul Álvarez. Remoción biológica de nutrientes en aguas residuales urbanas con fotobiorreactores utilizando microalgas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, [en línea]. 2016, no 17, p. 3569-3580. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/pdf/2631/263149506015.pdf>

TORRES, Alessandra Gisvel. Tratamiento de aguas residual doméstica mediante sistemas de depuración con macrófitas (*Iemna minor* y *eleacharis palustris*) en la Universidad Nacional de Ucayali octubre 2018 - setiembre 2018. [en línea]. 2020. Disponible en:
<http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2394>

ANGULO, Edgardo, et al. Discoloration of wastewater from a paint industry by the microalgae *Chlorella* sp. Revista MVZ Córdoba, [en línea]. 2017, vol. 22, no 1, p. 5706-5717. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-02682017000105706&script=sci_arttext&tlng=en

CAMPUZANO, Jerson Fernando; ZAMBRANO, Dayana Yenevith. Remoción de contaminante de un efluente de una empacadora utilizando una mezcla microalgas (*Chlorella spirulina*) y microorganismo (lodos activados). [en línea]. 2020. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química. Disponible en:
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/50389/1/BINGQ-IQ-20P02.pdf>

OCAÑA MEJÍA, Melanie Estefanía. Evaluación de la capacidad de algas *chlorophyta* para remover materia orgánica en aguas residuales del Camal Municipal del cantón Shushufindi. 2019. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11160>

ROMERO, Margiht. Biorremediación del efluente de un frigorífico utilizando microalgas nativas en fotobiorreactores a escala piloto. 2016. Disponible en: https://www.ina.gov.ar/ifrh-2016/trabajos/IFRH_2016_paper_104.pdf

ARANDA SABOYA, Gloria Sol y PINCHI GREENWICH, Xiome. Eficiencia de las macrófitas Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y repollo de agua (*Pistia stratiotes*) en la remoción de nutrientes en las aguas contaminadas de la laguna Ricuricocha por los efluentes de la ganadería del Águila. –Morales-San Martín, 2019. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/3120>

CASTRO, Yira; et al. Eficiencia de tratamiento de las aguas domésticas mediante HAFSV con la especie *Zantedeschia aethiopica* en Viquez – Lurigancho (Perú). Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo. [en línea] 2018, Vol. N°04, N° 02, pp. 16 - 28. Disponible en: https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1094

ARIAS, Jimena; et al. Eficiencia de la especie macrófita *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental. Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo. [en línea] 2017, Vol. N°03, N° 01, pp. 79 - 93. Disponible en: https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/650

ENRIQUEZ, Ingrid. Comparación de la eficiencia de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* para mejorar la calidad del agua residual de una planta agroindustrial. [en línea]. 2019. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3224167>

ROSAS, Jean. Tratamiento del agua del canal de regadío para remoción de DBO₅, DQO, Escherichia coli y coliformes termotolerantes con *Typha latifolia* y *Phragmites australis* en humedales artificiales en el vivero municipal de Los Olivos, 2018. Universidad César Vallejo. [en línea] 2018. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/52664>

BUSTAMANTE, Elva y PÉREZ, Tatiana. Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies junco *typha sp* y *vetiver chrysopogon zizanioides* en el distrito de Saposoa. Universidad Peruana Unión. [en línea] 2019. Disponible en: <https://1library.co/document/zgwpe18y-evaluacion-artificiales-tratamiento-residuales-municipales-utilizando-chrysopogon-zizanioides.html>

MENDOZA Bobadilla. Influencia de la intensidad de luz y pH en la remoción de materia orgánica (DBO₅), de efluentes de remojo de curtiembre, utilizando microalga *Chlorella vulgaris*, a nivel laboratorio. [en línea] 2019. Disponible en: <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/2985/MENDOZA%20BOBADILLA%20JORGE%20LUIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DAS, Cindrella; et al. Efficient bioremediation of tannery wastewater by monostrains and consortium of marine *Chlorella sp.* and *Phormidium sp.* International Journal of Phytoremediation [en línea] Vol. N°20, N° 03, pp. 248 - 292. Disponible: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15226514.2017.1374338?scroll=top&needAccess=true>

SERRANO, María. Extracción de hidrocarburos de la biomasa de microalgas verdes de agua dulce (*Botryococcus sp.*) después de la fitorremediación de aguas residuales domésticas. Centro de Investigación Científica de Yucatán. [en línea] 2017. Disponible en: https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/470/1/PCER_M_Tesis_2017_Serrano_Maria.pdf

ANH, Thi; et al. Auto-flocculation through cultivation of *Chlorella vulgaris* in seafood wastewater discharge: Influence of culture conditions on microalgae growth and nutrient removal. *Journal of Bioscience and Bioengineering* [en línea] 2019, Vol. N°127, N° 04, pp. 492-498. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389172318306868>

VARGAS, Rosita. Biorremediación de aguas residuales domésticas aplicando la microalga *Scenedesmus* sp. Universidad César Vallejo. [en línea] 2020. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48526>

AGUIRRE, Alberto. et al. Uso de aguas residuales de porcicultura y faenamiento para el crecimiento y obtención de biomasa algal de *Chlorella vulgaris*. *Revista Bionatura*. [en línea] 6(3), p. 1824 – 1830. 2021. Disponible en: <http://revistabionatura.com/files/2021.06.02.24.pdf>

MÉRIDA, Luis. Microalgas para el manejo de aguas residuales, actualidad y perspectivas. *AGROBIOLOGÍA*, 2020, p. 30. Disponible en: <https://www.meridapublishers.com/libro1/AGROBIOLOGIA-CAP2.pdf>

SALAS, Juan José. Lagunaje 2.0: Cosechando microalgas/depurando aguas residuales (I). 2021. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/lagunaje-20-cosechando-microalgasdepurando-aguas-residuales-y-ii>

HIDALGO, D.et al. Nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria del procesado de frutas y verduras con microalgas heterótrofas y energías renovables. *Rumbo* 20.30 [en línea] 2018. Disponible en: <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2018/CT%202018/1222224732.pdf>

ARROYO, Bruno. Utilización de residuos sólidos y líquidos de un sistema biofloc como medio de cultivo para la producción de *Chlorophyta*. Tesis para Optar el Grado de Magister SCIENTIAE en Acuicultura. 2016. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2775/M12-A77-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



ANEXOS

Tabla N°08: Matriz de consistencia

| ÁMBITO TEMÁTICO | PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN | PREGUNTAS DEL PROBLEMA | OBJETIVO GENERAL | OBJETIVO ESPECIFICO | CATEGORÍA | SUBCATEGORÍA | |
|---|--|--|---|--|---|------------------------|--------------------------|
| Evaluar la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) de aguas residuales por medio del uso de microalgas a través de las revisiones sistemáticas de la literatura científica de acceso libre. | ¿Qué efecto genera el uso de microalgas en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas residuales? | ¿Qué especies de microalgas son más efectivas en el tratamiento de aguas residuales para la reducción de la DBO ₅ ? | Evaluar la eficiencia que muestra el uso de las microalgas en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) en aguas residuales. | Evaluar la efectividad según la especie de microalga utilizada en la reducción de la DBO ₅ presente en aguas residuales | Especies de microalgas | Chlorellaceae | |
| | | Chlorophyta | | | | | |
| | | Alismatales | | | | | |
| | Phormidium | | | | | | |
| | Commelinales | | | | | | |
| | Scenedesmus | | | | | | |
| | ¿En qué tipo de agua residual las microalgas tienen un mayor efecto en la reducción de la DBO ₅ ? | ¿Cuáles son los sistemas de cultivo | | | Evaluar la efectividad del uso de microalgas según el tipo de agua residual | Tipo de agua residual | Agua Residual Industrial |
| | | | | | | | Agua Residual Urbana |
| | | | | | | Sistemas de aplicación | Sistemas abiertos |

| | | | |
|--|--|--|-------------------|
| | de microalgas que tienen una mayor capacidad de reducción de la DBO ₅ ? | aplicación de microalgas más eficientes en la remoción de DBO ₅ | Sistemas cerrados |
|--|--|--|-------------------|

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°09: Matriz de recopilación de datos

| N° | Año | Autor | Título | Tipo de investigación | Tipo de diseño | Tipo de agua residual | Tipo de microalga | Coloración de la microalga | Medio microalga | Sistema del medio de cultivo | Remoción DBO5 (%) | Resultados | Conclusiones |
|----|------|------------------------------|--|-----------------------|--------------------|-------------------------|--|----------------------------|--|------------------------------|--|--|--|
| 1 | 2016 | BALLÉN, Miguel, [et. al]. | Using <i>Scenedesmus</i> sp. for the Phycoremediation of Tannery Wastewater. | Cuantitativa | Cuasi Experimental | Industrial (curtiembre) | <i>Scenedesmus</i> sp. | Verde | T1: Dilución al 20% de agua residual T2: Dilución al 50% de agua residual T3: Dilución al 100% de agua residual | Sistema abierto | T2: 88.00% | Tratamiento N°02: Nitratos: > 90% Cromo total: > 98% Fosfatos: > 99% Nitritos: > 98% Sulfatos: > 92% | La microalga usan los efluentes residuales como un sustrato de crecimiento, así lo ayuda a mejorar mediante el método de fitorremediación. |
| 2 | 2018 | ROSALES, Ana, [et. al]. | Remoción de contaminantes y crecimiento del alga <i>Scenedesmus</i> sp. en aguas residuales de curtiembres, comparación entre células libres e inmovilizadas | Cuantitativa | Experimental | Industrial (curtiembre) | <i>Scenedesmus</i> sp. | Verde | T1: <i>Scenedesmus</i> sp. en forma de células libres. T2: <i>Scenedesmus</i> sp. en forma de células inmovilizadas. | Sistema abierto | T1: 98.70% T2: 89.02% | Tratamiento N°02: Nitratos: > 90% Cromo total: > 90% Nitritos: > 90% | El <i>Scenedesmus</i> sp. se desarrolló usando el agua residual de curtiembre como fuente primaria, encontrándose de formas libres. |
| 3 | 2016 | HERNÁNDEZ, Isaías, [et. al]. | Remoción biológica de nutrientes en aguas residuales urbanas con fotobiorreactores utilizando microalgas. | Cuantitativa | Experimental | Municipal (urbano) | <i>Scenedesmus obliquus</i> <i>Chlorella vulgaris</i> | Verde | T1: Agua residual (80%) + Mezcla de microalgas (20%) T2: Agua residual (75%) + Mezcla de microalgas (20%) + Lodos activos (5%) T3: Control | Sistema abierto | T1: 98.10% T2: 97.70% T3: 93.50% | Tratamiento N°02: DQO: > 90% Nitratos y fosfatos: > 75% Conductividad Eléctrica: > 10% | Los fotobiorreactores generaron al final del experimento: agua para reusó y biomasa con importante contenido de proteína. |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|-----------------------------|--|--------------|--------------|----------------------------------|---|-----------------|---|-----------------|--------------------------|--|--|
| 4 | 2020 | Torres, Alessandra. | Tratamiento de aguas residual doméstica mediante sistemas de depuración con macrófitas (<i>lemna minor</i> y <i>eleocharis palustris</i>) en la Universidad Nacional de Ucayali en el año 2018 | Cuantitativa | Experimental | Municipal (urbano) | <i>Eleocharis palustris</i> <i>Lemna minor</i> | Rojo | T1: Lenteja de agua T2: Junco de agua T3: Control con grava | Sistema cerrado | T1: 64.30% T2: 54.40% | Lenteja de agua DQO: 63.00% Coliformes Termofecales: 99.20% Nitratos: 49.70% Junco de agua: DQO: 55.00% Coliformes Termofecales: 98.90% Nitratos: 43.10% | El uso de estas microalgas fueron eficientes en el tratamiento del agua residual. |
| 5 | 2017 | ANGULO, Edgardo; et al. | Discoloration of wastewater from a paint industry by the microalgae <i>Chlorella</i> sp. | Cuantitativa | Experimental | Industrial (pinturas) | <i>Chlorella</i> sp. <i>Phormidium</i> sp. | Verde Marrón | T1: Biorreactor con 0.10 de absorbancia T2: Biorreactor con 0.20 de absorbancia T3: Biorreactor con 0.30 de absorbancia | Sistema abierto | T3: 78.00% | Tratamiento N°03: DBO5:78.00% DQO: 84.80% | La <i>Chlorella</i> sp. es muy eficiente para la decoloración de aguas residuales. |
| 6 | 2020 | CAMPUZANO, Jerson, [et, al] | Remoción de contaminante de un efluente de una empacadora utilizando una mezcla microalgas (<i>Chlorella spirulina</i>) y microorganismo (lodos activados). | Cuantitativa | Experimental | Industrial (pescados y mariscos) | <i>Chlorella spirulina</i> | Verde | Reactor N°01: Efluente pesquero (85%) + Microalgas (15%) Reactor N°02: Efluente pesquero (85%) + Microorganismos (15%) Reactor N°03: Efluente pesquero (85%) + Microalgas (5%) + Microorganismos (10%) Reactor N°04: Efluente pesquero (85%) + Microalgas (10%) + Microorganismos (5%) | Sistema abierto | Reactor N°04: 97.65% | pH: T1:7.76 T2:7.91 T3:8.1 T4:8 DQO: T1:86.7% T2:93.99% T3:89.69% T4:90.15% Carga contaminante: T1:91.8% T2:90.8% T3:92.04% T4:92.37% | Se determinó la dosificación óptima en el reactor N°04 (Efluente pesquero (85%) + Microalgas (10%) + Microorganismos (5%)) obteniendo una reducción de sus parámetros contaminantes. |



| | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------------------|---|--------------|--------------|--------------------------|---|-------|--|-----------------|--|---|---|
| 7 | 2019 | ARROYO, Bruno. | Utilización de residuos sólidos y líquidos de un sistema biofloc como medio de cultivo para la producción de <i>Chlorophyta</i> . | Cuantitativa | Experimental | Industrial (camal) | <i>Chlorophyta</i> | Verde | T1: Nitrofaska + Algas T2: Nitrofaska + Algas + Aireación T3: Agua residual + Algas T4: Agua residual + Algas + Aireación T5: Agua residual sin aireación T6: Agua residual con aireación | Sistema cerrado | T3: 76.10% T4: 83.10% T5: 25.90% T6: 50.40% | Tratamiento N°04: pH: 6.78 Conductividad: 20.65% DBO: 83.1% Nitrógeno: 63.1% Fosfatos: 58.9% Sulfatos: 47.8% | Los tratamientos con aireación demuestran ser más eficientes para el crecimiento de las algas debido a que esta introduce a medio el CO2 necesario para la respiración celular y homogeniza tanto los nutrientes, esto permite un mayor crecimiento de biomasa y como consecuencia una mayor reducción de materia orgánica. |
| 8 | 2016 | ROMERO, Margiht. | Biorremediación del efluente de un frigorífico utilizando microalgas nativas en fotobiorreactores a escala piloto. | Cuantitativa | Experimental | Industrial (frigorífico) | <i>Chlorella sp</i> <i>Franceia sp</i> | Verde | T1: Fitorreactor Plano T2: Fitorreactor Raceway | Sistema abierto | T1: 86.80% T2: 86.00% | Nitratos: T1: 27.80% T2: 36.40% Fosfatos: T1: 99.90% T2: 89.30% DQO: T1: 48.50% T2: 42.50% | El fitorreactor plano operado en modo semicontinuo fue el que presentó mayor productividad en biomasa. El tratamiento de efluentes a partir de microalgas permite la obtención de biomasa algal con potencial valor agregado. |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|--------------------------------|---|--------------|--------------|------------------------|---|-------|--|-----------------|--------------------------|--|---|
| 9 | 2019 | Aranda, Gloria y Pinchi, Xiome | Eficiencia de las macrófitas Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>) y repollo de agua (<i>Pistia stratiotes</i>) en la remoción de nutrientes en las aguas contaminadas de la laguna Ricuricocha por los efluentes de la ganadería del Águila. | Cuantitativa | Experimental | Industrial (ganadería) | <i>Pistia stratiotes</i> <i>Eichhornia crassipes</i> | Verde | T1: Jacinto de agua T2: Repollo de agua | Sistema abierto | T1: 11.20% T2: 40.35% | Nitrógeno: T1: 12.30% T2: 5.50% Fosforo: T1: 9.10% T2: 3.60% pH: T1: 26.80% T2: 26.80% Turbidez: T1: 20.80% T2: 12.80% DQO: T1: 17.60% T2: 22.20% | Existe una mayor eficiencia de remoción por parte del Jacinto de agua en comparación al repollo de agua, en los parámetros de Coliformes fecales, DBO, DQO, color, fosforo, nitrógeno y turbidez. |
| 10 | 2018 | Castro, Yira, [et. al]. | Eficiencia de tratamiento de las aguas domésticas mediante HAFSV con la especie <i>Zantedeschia aethiopica</i> en Viquez – Lurigancho (Perú). | Cuantitativa | Experimental | Municipal (urbano) | <i>Zantedeschia aethiopica</i> | Rojo | Humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSV) | Sistema abierto | 50.00% | pH: 7.1 Turbidez: 97.85% Fosfatos: 18.18% Nitratos: 60.62% DQO: 54.55% Coliformes totales: 92.82% | Los humedales son eficaces en la reducción de demanda bioquímica de oxígeno hasta un 90% |
| 11 | 2017 | Arias, Jimena, [et. al]. | Eficiencia de la especie macrófita <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adopción al medio en una laguna experimental. | Cuantitativa | Experimental | Municipal (urbano) | <i>Eichhornia crassipes</i> | Rojo | Sistemas flotantes | Sistema abierto | 55.00% | pH: 8.2 Turbidez: 58% DQO: 50% Sulfato: 63% | El trabajo de investigación obtuvo una eficiencia de 31% en la remoción de parámetros físico químicos y plomo total. |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------------------------------------|--|--------------|--------------|-----------------------------|---|----------------|--|-----------------|--------------------------------|---|--|
| 12 | 2019 | Enriquez, Ingrid | Comparación de la eficiencia de <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna minor</i> para mejorar la calidad del agua residual de una planta agroindustrial. | Cuantitativa | Experimental | Industrial (agroindustrial) | <i>Eichhornia crassipes</i> <i>Lemna minor</i> | Rojo | Humedales artificiales de flujo superficial o libre | Sistema cerrado | T1: 98.00% T2: 98.00% | Turbidez: T1: 90.00% T2: 92.00% Carga contaminante T1: 86.00% T2: 58.00% DQO: T1: 100.00% T2: 100.00% | Ambas plantas son eficientes en la remoción de los contaminantes del agua residual |
| 13 | 2018 | Rosas, Jean. | Tratamiento del agua del canal de regadío para remoción de DBO5, DQO, Escherichia coli y coliformes termotolerantes con <i>Typha latifolia</i> y <i>Phragmites australis</i> en humedales artificiales en el vivero municipal de Los Olivos, 2018. | Cuantitativa | Experimental | Industrial (camal) | <i>Typha Latifolia</i> <i>Phragmites Australis</i> | Rojo Marrón | Humedal artificial de flujo horizontal con especie vegetales | Sistema abierto | T1: 96.78% T2: 97.32% | DQO: T1: 37.84% T2: 39.96% Coliformes Termotolerantes T1: 97.60% T2: 98.64% Escherichia Coli T1: 94.99% T2: 97.71% | La especie vegetal <i>Phragmites Australis</i> tiene mayor eficiencia de remoción en todos los parámetros a comparación de la especie vegetal <i>Typha Latifolia</i> . |
| 14 | 2019 | Bustamante, Eiva y Pérez, Tatiana. | Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies junco <i>typha sp</i> y <i>vetiver chrysopogon zizanioides</i> en el distrito de Saposoa. | Cuantitativa | Experimental | Municipal (urbano) | <i>Typha sp</i> <i>Chrysopogon zizanioides</i> | Rojo Verde | Humedales artificiales | Sistema abierto | T1: 78.00% T2: 89.00% | DQO: T1: 78.00% T2: 90.00% SST: T1: 89.00% T2: 94.00% Aceites y grasas: T1: 81.00% T2: 76.00% | Los humedales artificiales con las especies <i>typha sp</i> y <i>chrysopogon zizanioides</i> son eficientes en la remoción de contaminantes del agua residual municipal, cumpliendo de esta manera el LMP. |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------------------------|---|--------------|--------------|-------------------------|---|-------|---|-----------------|----------------------------------|---|---|
| 15 | 2019 | Mendoza Bobadilla. | Influencia de la intensidad de luz y pH en la remoción de materia orgánica (DBO ₅), de efluentes de remojo de curtiembre, utilizando microalga <i>Chlorella vulgaris</i> , a nivel laboratorio. | Cuantitativa | Experimental | Industrial (curtiembre) | <i>Chlorella vulgaris</i> | Verde | Fotobiorreactores de columnas de Burbuja (BCR) con 3 niveles de intensidad luminosa: T1: 3150 lux T2: 5100 lux T3: 8100 lux | Sistema abierto | T2: 91.00% | DBO: T1: 81.00% T3: 72.00% | El mejor porcentaje de remoción de materia orgánica biodegradable DBO ₅ se dio a 7.2 de pH y 5100 lux de intensidad de Luz obteniendo un porcentaje de 91 %. |
| 16 | 2019 | Ocaña, Melanie. | Ocaña, Melanie. Evaluación de la capacidad de algas <i>chlorophyta</i> para remover materia orgánica en aguas residuales del Camal Municipal del cantón Shushufindi. | Cuantitativa | Experimental | Industrial (camal) | <i>Chlorophyta</i> | Verde | Fotobiorreactor tubular, | Sistema cerrado | T4: 83.10% | Fosfatos: 58.9% Nitrógeno total: 63.1% Sulfatos: 58.9% | El tratamiento más efectivo fue el que se realizó con aireación. |
| 17 | 2018 | Das, Cindrella; et al. | Efficient bioremediation of tannery wastewater by monostrains and consortium of marine <i>Chlorella sp.</i> and <i>Phormidium sp.</i> | Cuantitativa | Experimental | Industrial (curtiembre) | <i>Chlorella sp.</i> <i>Phormidium sp.</i> | Verde | T1: <i>Chlorella sp.</i> T2: <i>Phormidium sp.</i> | Sistema cerrado | T1: >90.00% T2: >90.00% | DQO: T1: >90.00% T2: >90.00% NITROGENO TOTAL: T1: 91.16% T2: 88.00% CROMO: T1: 90.17% T2: 94.45% | Las cepas marinas probadas de <i>Chlorella</i> como de <i>Phormidium sp.</i> son prometedoras para la Biorremediación / desintoxicación y mejoran adecuadamente la calidad del agua para su descarga segura en cuerpos de agua abiertos, en particular cuando se utilizan como consorcio. |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------------------|---|--------------|--------------|----------------------------------|---------------------------|-------|---|-----------------|--|---|--|
| 18 | 2017 | Serrano, María. | Extracción de hidrocarburos de la biomasa de microalgas verdes de agua dulce (<i>Botryococcus sp.</i>) después de la fitorremediación de aguas residuales domésticas. | Cuantitativa | Experimental | Municipal (urbano) | <i>Botryococcus sp.</i> | Rojo | Biomasa (Peso seco) | Sistema cerrado | 59.90% | Cargas contaminantes: 93.90% DQO: 69.10% Nitrógeno total: 54.50% Fosfato: 36.8% | El <i>Botryococcus sp.</i> se puede utilizar para una fitorremediación eficaz |
| 19 | 2019 | Anh, Thi; et al. | Auto-flocculation through cultivation of <i>Chlorella vulgaris</i> in seafood wastewater discharge: Influence of culture conditions on microalgae growth and nutrient removal. | Cuantitativa | Experimental | Industrial (pescados y mariscos) | <i>Chlorella vulgaris</i> | Verde | Cultivos de microalgas bajo diferentes modalidades de iluminación T1: Luz solar T2: Iluminación fluorescente | Sistema abierto | T1: 81.00% T2: 74.00% | DQO: T1: 88.00% T2: 81.00% NITROGENO TOTAL: T1: 95.00% T2: 79.00% FOSFORO TOTAL: T1: 83.00% T2: 72.00% | Los resultados mostraron que las diferentes fuentes de iluminación no influyeron significativamente en el crecimiento de microalgas, la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). |
| 20 | 2020 | Vargas, Rosita. | Vargas, Rosita. Biorremediación de aguas residuales domésticas aplicando la microalga <i>Scenedesmus sp.</i> Universidad César Vallejo. [en línea] 2020. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48526 | Cuantitativa | Experimental | Municipal (urbano) | <i>Scenedesmus sp.</i> | Verde | Sistema de diluciones T0: 900 ml agua destilada + 100 ml inóculo T1: 300 ml de agua residual + 600 ml de agua destilada + 100 ml inóculo T2: 500 ml de agua residual + 400 ml de agua destilada + 100 ml inóculo T3: 700 ml de agua residual + 200 ml de agua destilada + 100 ml inóculo | Sistema cerrado | T0: 75.00% T1: 97.02% T2: 97.02% T3: 96.85% | TURBIDEZ: T0: 86.73% T1: 93.39% T2: 92.81% T3: 96.23% | El tratamiento con mayor dilución residual, amerita mayor tiempo de retención de efluente. |