



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Producción de Bioenergía a Base de Aguas Residuales Mediante la
Aplicación de Tecnología Basadas en Microalgas: Revisión
Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Guzman Condori, Carmen Rosa (orcid.org/0000-0001-5793-4865)

ASESOR:

Mg. Herrera Díaz, Marco Antonio (orcid.org/0000-0002-8578-4259)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi madre y mi padre pues sin ellos no lo había logrado, su bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso les doy mi trabajo en ofrenda por su paciencia y amor. Los amo.

También a ti que siempre me acompañas, me escuchas y me alientas en los momentos más difíciles por tu sabiduría y consejos por tu amistad y entrega desinteresada. Porque estas presente en mi esposo Eugenio e hijo Kevin Andrew, en mi familia, amigos en mis hermanos, en los rayos del sol y en huellitas de luna, porque los usas como instrumentos de tu verdad día a día que me permiten caminar en esta aventura llamada vida. Por todo eso y mucho más.

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud al Ing. Marco Antonio Henry Díaz asesor del presente trabajo de tesis por su apoyo y a la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Cesar Vallejo en especial a los Docentes que motivan mi deseo de aprender e investigar en el campo de Ingeniería Ambiental.

Índice del contenido

| | |
|---|------|
| Carátula..... | ii |
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Índice de contenido | iv |
| Índice de tablas | v |
| Índice de figuras..... | vi |
| Índice de gráficos | vii |
| Índice de abreviaturas | vii |
| Resumen..... | viii |
| Abstract | ix |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 4 |
| III. METODOLOGÍA..... | 13 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación | 13 |
| 3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización | 14 |
| 3.3. Escenario de estudio..... | 15 |
| 3.4. Participantes | 15 |
| 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 15 |
| 3.6. Procedimiento | 15 |
| 3.7. Rigor científico | 17 |
| 3.8. Método de análisis de información | 17 |
| 3.9. Aspectos éticos..... | 18 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 20 |
| V. CONCLUSIONES..... | 28 |
| VI. RECOMENDACIONES..... | 29 |
| REFERENCIAS | |
| ANEXOS | |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| <i>Tabla 1. Grado de restricción de uso para riego agrícola</i> | 10 |
| <i>Tabla 2. Matriz de Categorización Apriorística</i> | 14 |
| <i>Tabla 3. Tipo de aguas residuales más usadas</i> | 20 |
| <i>Tabla 4. Microalga más usada como tecnología</i> | 22 |
| <i>Tabla 5. Potencial de producción de electricidad de las diferentes clasificaciones de microalgas</i> | 25 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1. Fuentes de generación de aguas residuales</i> | 8 |
| <i>Figura 2. Toxicidad de las aguas residuales en las plantas</i> | 10 |
| <i>Figura 3. Macroalgas y microalgas para la producción de biocarbón, bioaceite y biogás</i> | 12 |

Índice de gráficos

| | |
|---|----|
| <i>Gráfico 1. Procedimientos de información</i> ----- | 17 |
| <i>Gráfico 2. Porcentaje de microalga más usada</i> ----- | 24 |

Resumen

El objetivo del presente estudio es analizar los aspectos más relevantes de la producción de bioenergía a base de aguas residuales mediante la aplicación de tecnología basadas en microalga para lo cual se aplicó una metodología de tipo aplicada con diseño sistemático.

Mediante los resultados se obtuvo que, el tipo de aguas residuales más usadas que se emplean para la producción de bioenergía son las aguas residuales municipales. Ello debido a que las aguas residuales municipales en su mayoría se vierten en los sistemas de drenaje, lagos y ríos sin ningún tratamiento previo por lo que, se suponen como un obstáculo para mejorar el nivel de vida de la comunidad; convirtiéndose así, en el tipo de aguas residuales más estudiadas. El tipo de microalga más usada como tecnología para la producción de bioenergía a base de aguas residuales son las pertenecientes a la clase Chlorophyceae con un total de 44% de investigadores que lo confirman, mientras que las microalgas de la clase Cyanophyceae es también una de las más aplicadas con un 32%. El potencial de producción de electricidad de las diferentes clasificaciones de microalgas a base de aguas residuales puede llegar desde 400 a 660 mWm⁻² aplicando MFC.

Palabras clave: bioenergía, microalgas, residuales, domésticas, tecnología, electricidad

Abstract

The objective of this study is to analyze the most relevant aspects of the production of bioenergy from wastewater through the application of microalgae-based technology for which an applied methodology with a systematic design was applied.

The results showed that the type of wastewater most commonly used for bioenergy production is municipal wastewater. This is due to the fact that municipal wastewater is mostly discharged into drainage systems, lakes and rivers without any previous treatment, and therefore, it is considered an obstacle to improve the standard of living of the community, thus becoming the most studied type of wastewater. The type of microalgae most used as a technology for the production of bioenergy from wastewater are those belonging to the Chlorophyceae class with a total of 44% of researchers confirming this, while the microalgae of the Cyanophyceae class is also one of the most applied with 32%. The electricity production potential of the different classifications of wastewater-based microalgae can reach from 400 to 660 mWm⁻² by applying CBM.

Keywords: bioenergy, microalgae, waste, domestic, technology, electricity.

I. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales se generan diariamente en gran porcentaje debido a fuentes industriales y domésticas en todo el mundo (Wang Y. et al., 2019, p.33). Es considerado una amenaza mundial a los humanos y se ha prestado mucho menos interés abordar los efectos en la salud del ecosistema (Shen T. et al., 2019, p.1).

En el año 2010 se utilizó 4001 km³/año de agua en todo el mundo, de lo cual 3853 km³/año de agua dulce se utilizó en la agricultura, sector industrial y sector doméstico (Rathour R. et al., 2019, p.665). De este uso global el 69% se utilizó en el sector de la agricultura, 19 % en el sector industrial y 12% en el sector doméstico, esta utilización de agua termina generando enormes cantidades de aguas residuales (Olds H. et al., 2018, p.1).

En la ciudad de la libertad, en El Salvador, el 28% de los negocios generan aguas residuales, su sistema de alcantarillado es antiguo y solo cubre el 61.7% por lo cual genera problemas de salud (Rosales-Ayala F. et al., 2019, p.1).

Los suelos comprenden principalmente metales pesados en su capa superior, esto viene de aguas residuales sin tratar (Aghalari Z. et al., 2020, p.1). Así como de lodos digeridos de plantas de tratamiento biológico que se han diluido durante años (Cooper R. et al., 2022, p.1).

Las aguas residuales no tratadas o mal tratadas elevan las concentraciones de nutrientes, disruptores endocrinos, metales pesados y productos farmacéuticos en los ecosistemas naturales (Wear S. et al., 2021, p.1). También, puede introducir agentes patógenos, como es el caso de microbios del intestino humano, este microbio es considerado el responsable de la enfermedad de la viruela blanca y de la casi extinción de los corales (Yoshioka R. et al., 2016. P.313). Otras bacterias también pueden ingresar al medio marino a través de las aguas residuales (Stark J. et al., 2016, p.1).

La contaminación por aguas residuales afecta a cultivos, vegetación y granos alimenticios (Mehdi H. et al., 2021, p.1). Por tal motivo cada vez amenaza más a la salud de la población y de los ecosistemas costeros (Bonin-Font F. et al., 2018, p.1).

La bioenergía o energía que viene de los recursos biológicos es renovable y neutra en carbono (Toledo L. et al., 2019, p.87). Este tipo de energía renovable es la utilizada especialmente para cocinar y los usos más modernos incluyen la generación de calor y electricidad combinados (Martinez H. et al., 2020, p.1). Se puede generar a partir de diferentes formas de biomasa, incluidos los residuos ganaderos, agrícolas, madereros, cultivos energéticos, los componentes orgánicos de los residuos sólidos municipales y otras corrientes de desechos orgánicos (Siegmeier T. et al., 2019, p.331).

El cultivo de microalgas es ventajoso debido a que no requieren agua dulce, tierra fértil, herbicidas ni pesticidas (Ahmad A. et al., 2022, p.1). Su principal problema es su crecimiento de baja densidad y la recolección de la biomasa de algas (Bhatia S. et al., 2021, p.1).

Problema general: ¿Cuáles son los aspectos más relevantes de la producción de bioenergía a base de aguas residuales mediante la aplicación de tecnologías basadas en microalgas?

PE1: ¿Cuáles es el tipo de aguas residuales más usadas que se emplean para la producción de bioenergía mediante la aplicación de tecnologías basadas en microalgas?

PE2: ¿Cuál es la clasificación del tipo de microalga más usada como tecnología para la producción de bioenergía a base de aguas residuales?

PE3: ¿Cuál es el potencial de producción de electricidad de las diferentes clasificaciones de microalgas a base de aguas residuales?

Objetivo general: Analizar los aspectos más relevantes de la producción de bioenergía a base de aguas residuales mediante la aplicación de tecnologías basadas en microalgas

OE1: Identificar el tipo de aguas residuales más usadas que se emplean para la producción de bioenergía mediante la aplicación de tecnologías basadas en microalgas

OE2: Clasificar el tipo de microalga más usada como tecnología para la producción de bioenergía a base de aguas residuales

OE3: Definir el potencial de producción de electricidad de las diferentes clasificaciones de microalgas a base de aguas residuales

El presente estudio de investigación se justifica teóricamente; debido a que existe estudios aplicando el tratamiento para disminuir la contaminación por aguas residuales, de los cuales son pocos los que comparan sus aspectos más importantes así evidenciando a los lectores cual es más viable; por tal motivo se realizará una revisión sistemática de los estudios más recientes que se encuentren dirigidos en los problemas planteados para que pueda ser usado por futuros investigadores y tesisistas.

II. MARCO TEÓRICO

Existen una serie de estudios realizados enfocados en la producción de bioenergía a base de aguas residuales mediante la aplicación de tecnología basadas en microalgas; siendo estas tomadas como antecedentes para el trabajo que servirán de apoyo y aporte en la resolución del objetivo de estudio; siendo estos antecedentes mostrados a continuación:

Choi Hee J., 2016; en su estudio presenta como objetivo evaluar la producción de biomasa y el tratamiento de aguas residuales lecheras utilizando *Chlorella vulgaris*. Los resultados indicaron que los porcentajes máximos de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos en suspensión, nitrógeno total y fósforo total removidos fueron 85,61%, 80,62%, 29,10%, 85,47% y 65,96%, respectivamente, en efluentes lácteos a los 10 D. Se obtuvo un máximo de 1.23 g/L de biomasa seca en 7 d. La productividad de la biomasa estuvo fuertemente influenciada por la reducción de nutrientes en el efluente lácteo. El biodiésel producido por *C. vulgaris* en el efluente lácteo estaba en buen acuerdo con las normas de la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales-D6751 y las Normas Europeas 14214. Concluyendo que el uso de efluentes lácteos para cultivos de microalgas podría ser una estrategia útil y práctica para un proceso de tratamiento avanzado y respetuoso con el medio ambiente.

Pandey A. et al., 2019; en su estudio las microalgas autóctonas autóctonas se aislaron de efluentes domésticos y lácteos (DE) y se analizaron adicionalmente para el tratamiento de DE y la acumulación de lípidos. Todas las microalgas aisladas fueron examinadas por su adaptabilidad al crecimiento en DE. Donde la metodología experimental consistió en determinaron los parámetros de crecimiento de 15 aislamientos y los siguientes seis aislamientos se seleccionaron adicionalmente para un análisis exhaustivo y se identificaron como *Desmodesmus* sp. ASK01, *Chlorella* sp. ASK14, *Scenedesmus* sp. ASK16, *Scenedesmus* sp. ASK22, *Chlorella* sp. y *Chlorella* sp. PREGUNTAR27. El *Scenedesmus* sp. ASK22 mostró los mejores resultados combinados y una cepa prometedora para el tratamiento de DE y la producción de biocombustibles. Composición de la biomasa de *Scenedesmus* sp. ASK22 mostró una acumulación de aceite de 30,7% (p/p) y un rendimiento de biomasa de 1,22 g L⁻¹. El éster metílico de ácido graso (FAME) compuesto principalmente de C15:0, C16:0, C18:0, C18:1 y C18:3.

Kumar A. et al., 2019; en su estudio se aisló una posible cepa de microalgas del agua contaminada con efluentes industriales lácteos y se identificó genéticamente como un pariente cercano de *Ascochloris* sp. En la metodología experimental, los estudios de cultivo de microalgas en interiores se llevaron a cabo en condiciones controladas de luz y temperatura, mientras que los experimentos a escala piloto en exteriores se realizaron en condiciones irregulares utilizando canales abiertos con forma de barril semicilíndrico. La tasa de productividad de la biomasa de ADW007 mejoró con RDW como nutriente de crecimiento en cultivos a escala de banco en interiores ($0,102 \pm 0,003$ g/L/d) y a escala piloto en exteriores ($0,207 \pm 0,003$ g/L/d) en comparación con los cultivos de algas crecimiento en medio sintético BG 11 ($0,086 \pm 0,004$ g/L/d) y medio TAP ($0,099 \pm 0,003$ g/L/d), respectivamente. De manera similar, en condiciones al aire libre, el contenido de lípidos alcanzó un máximo de $34,98 \pm 0,21$ % con productividades volumétricas y areales de lípidos de $0,072 \pm 0,001$ g/L/d y $9,63 \pm 0,08$ g/m²/d, respectivamente. Con esto, la producción anual estimada de aceite de algas es de casi $20,495 \pm 1953$ galones/acre/año, si se cultiva durante todo el año. C18:0/C18:1 fueron los ácidos grasos predominantes en los lípidos, lo que indica un gran potencial de ADW007 para la producción de biodiesel y procesos simultáneos de biorremediación usando RDW.

Huo Shuhao et al., 2020; aplicó un campo eléctrico (EF) débil para decolorar el efluente anaeróbico porcino, seguido de un ajuste de la relación N:P mediante un sistema de extracción al vacío intermitente (IVS) para las microalgas filamentosas ricas en aceite *Tribonema* sp. cultivo. Una fuerza de campo eléctrico más alta, una temperatura más alta y condiciones de pH más bajas mostraron una mayor eficiencia en la decoloración y la eliminación de nutrientes durante la aplicación de EF. En el grupo de relación 30:1 (N:P), *Tribonema* sp. tuvo la mayor acumulación de biomasa (2.04 g·L⁻¹) después de 14 días de cultivo. Sin embargo, el grupo 20:1 tuvo la mayor acumulación de aceite (contenido de aceite $55,4 \pm 3,4$ %), mientras que el grupo 30:1 (N:P) fue $42,3 \pm 1,8$ %. En condiciones de nitrógeno suficiente (grupo 50:1), se alcanzaron los mayores contenidos de ácido α -linolénico (15,5%) y ácidos grasos ω -3 (21,8%). Concluyendo que el tratamiento integrado de EF, IVS y cultivo de microalgas demostró ser eficaz para el reciclaje de nutrientes y la producción sostenible de biomasa.

Che Zhihong et al., 2020; en su estudio una cepa de microalgas recién aislada, *Desmodesmus* sp. Aquí se proporcionó PW1, que posee no solo un alto potencial para eliminar el nitrógeno y el fósforo de las aguas residuales de los cerdos, sino también una excelente capacidad de autofloculación. La cepa PW1 creció bien en aguas residuales de cerdos diluidas y sin diluir, y pudo eliminar eficazmente el nitrógeno total y el fósforo total con tasas de eliminación de hasta el 90 % y el 70 %, respectivamente. En la escala de laboratorio por fotobiorreactor de 30 L, la microalga también se desempeñó bien en la eliminación de TN (65,3%) y TP (83,5%). La cepa PW1 cultivada en la fase estacionaria logró una alta eficiencia de autofloculación (>90%) en 2,5 h de sedimentación; por su parte, la temperatura y el pH influyeron levemente en la floculación.

Marella T. et al., 2019; tiene como objetivo de su investigación estudiar el flujo de algas (AFW) para tratar aguas residuales urbanas y evaluar la productividad de biomasa, el contenido de lípidos y la producción de biodiesel. Los resultados indicaron una productividad promedio estacional de algas de 34.83 g de peso seco $m^{-2} d^{-1}$ con una tasa de remoción de nutrientes de 2.52 g $m^{-2} d^{-1}$ N y 1.25 g $m^{-2} d^{-1}$ P mientras que el contenido de lípidos osciló entre 14 y 22 % de peso de células secas con la mayor productividad de lípidos de 9,29 g $m^{-2} d^{-1}$ durante el verano. La calidad del biodiesel fue superior durante el verano con alto índice de centano y valores del punto de obstrucción del filtro en frío. Concluyendo que una mayor optimización y uso de AFW es óptimo para tratar las aguas residuales domésticas y producir materia prima para biocombustibles de algas.

Lam Man K. et al., 2017; estudia el potencial del uso de aguas residuales domésticas como fuente de nutrientes para el cultivo de *Chlorella vulgaris*. Se encontró que las microalgas se vieron favorecidas para crecer en aguas residuales domésticas en condiciones de 0,02 v/v de aguas residuales, pH inicial de 3 y 0,03 v/v de cantidad inicial de semilla de microalgas con 24 h de iluminación continua. Bajo estas condiciones, un alto contenido de lípidos del 32,7% se incrustó dentro de la biomasa de microalgas. A partir del análisis de éster metílico de ácido graso (FAME), el lípido de microalgas extraído era adecuado para la producción de biodiesel. Concluyendo que los modelos cinéticos de crecimiento existentes fueron capaces de predecir el crecimiento de *Chlorella vulgaris* utilizando las aguas residuales domésticas como fuente de nutrientes.

De Bhowmick et al., 2019; en su estudio presentó un enfoque holístico para establecer un exitoso sistema de biorrefinería verde integrado con productividad mejorada de biomasa, lípidos y luteína, al mismo tiempo que remedió las aguas residuales y secuestramos CO₂ con aplicaciones potenciales de biodiesel y atención médica. Para lograr esto evaluamos el efecto de cuatro parámetros de proceso: suministro de CO₂ %; concentración de acetato; concentración de residuos de cama de aves de corral (PLW); e intensidad de luz en el cultivo de *Chlorella minutissima* siguiendo el diseño de técnica experimental de Taguchi. Se adoptó un arreglo ortogonal de cuatro factores y tres niveles para cultivar *Chlorella minutissima* en un medio de aguas residuales especialmente desarrollado. Los resultados obtenidos de las combinaciones paramétricas individuales y las respuestas de la relación Señal/Ruido (S/N) indicaron S3 (5 % de CO₂, 100 mg L⁻¹ de acetato, 10 g L⁻¹ de cama de aves y 15 000 lux de intensidad de luz) combinación como la condición óptima de cultivo.

Han Ting et al., 2019; en su investigación se centró en el uso de aguas residuales de cama de aves (PLW) digeridas anaeróticamente para obtener biomasa y β-caroteno. Se investigaron la viabilidad y las condiciones óptimas para la eliminación de contaminantes, la producción de biomasa y la acumulación de β-caroteno. Los resultados mostraron que *Dunaliella* FACHB-558 podría utilizar amonio como única fuente de nitrógeno. Con las condiciones óptimas de 36 psu de salinidad y 200 μmol/m²/s de intensidad de luz, la eliminación de nitrógeno total, fósforo total y carbono orgánico total, y los rendimientos de biomasa y β-caroteno alcanzaron el 63,8 %, 87,2 %, 64,1 %, 678 mg/L y 4,02 mg/L, respectivamente, después de 15 días de tratamiento.

Zhou W. et al., 2018; en su estudio investigó el uso potencial de lodos mixtos de biogás y aguas residuales municipales para cultivar microalgas. Se evaluó el biogás porcino como único suplemento nutritivo para el cultivo de *Chlorella zofingiensis* en aguas residuales municipales. Se compararon cultivos por lotes de varias proporciones de purín de biogás de cerdo y aguas residuales municipales y se analizaron las características del crecimiento de algas y la producción de lípidos, y se examinaron las tasas de eliminación de nitrógeno y fosfato. Los resultados indican que el 8 % de biogás de cerdo en aguas residuales municipales tuvo un efecto significativo en el crecimiento de microalgas. *C. zofingiensis*, con 2,5 g L⁻¹ de biomasa, 93 % de nitrógeno total y 90 % de remoción de fósforo total. Concluyendo

que la mezcla de purines de biogás porcino y aguas residuales municipales, sin fuentes de nutrición adicionales, permite el cultivo eficiente de *C. zofingiensis*.

La escalada de la industrialización y la sobreexplotación de los recursos naturales, junto con el aumento de la población mundial, han afectado negativamente al medio ambiente (Tongesayi S. y Tongesayi T., 2017, p.2). Diferentes tipos de aguas residuales procedentes de industrias textiles, municipales, lácteas, farmacéuticas, porcinas y acuícolas, están siendo producidas constantemente por las respectivas industrias (Chen Hai H. et al., 2020, p.2).

Donde, su generación diariamente en gran medida es a partir de fuentes domésticas e industriales en todo el mundo; planteando varios desafíos como la crisis del agua y el deterioro ambiental (Ahuja S. et al., 2016, p.12). Como se muestra en la figura 1 por el estudio de Bhatia Shashi K. et al., (2021, p.1).



Figura N°1. Fuentes de generación de aguas residuales

Así mismo, los humanos, para su desarrollo, utilizan rápidamente las riquezas naturales; entre los recursos que consumen, el agua está siendo utilizada

drásticamente debido a un consumo descontrolado e insostenible (Karri R. et al., 2021, p.4).

Debido a la industrialización, urbanización y el consumo doméstico, se genera una gran cantidad de aguas residuales en todo el mundo, sin embargo, este crecimiento insostenible terminó con la liberación de sustancias químicas tóxicas en el aire, el agua y la tierra y, por lo tanto, los contaminó a una escala sin precedentes (Wang F. et al., 2020, p.2). Siendo la contaminación del agua una preocupación ambiental mundial, y se encuentra que la concentración de contaminantes tóxicos en los cuerpos de agua está muy por encima de los límites designados establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en muchos países (Jiang Y. et al., 2018, p.2).

Como ya se mencionó, nuestra sociedad, altamente industrializada y de alto consumo energético, consume una enorme cantidad de agua en todo el mundo para satisfacer las necesidades agrícolas, industriales, humanas y de los ecosistemas (Ahuja S., 2021 p.2). Según las estadísticas presentadas por la base de datos AQUASTAT en el año 2010 se utilizaron 4001 km³/año de agua en todo el mundo, de los cuales 3853 km³/año de agua dulce se utilizaron en diferentes sectores (Rathour R. et al., 2019, p.3).

De este uso global del agua, el 69% se utilizó en el sector agrícola, mientras que los sectores industrial y doméstico utilizaron el 19% y el 12% del agua, respectivamente (Karnib A. et al., 2017, p.4).

Esta utilización de agua a gran escala acaba generando enormes cantidades de aguas residuales, lo que supone un reto para el tratamiento sostenible y la recuperación del agua utilizable (Vollertsen J. y Hansen A., 2017, p.3).

Las aguas residuales son ricas en nutrientes; promueven la eutrofización en el ecosistema, pero también suponen una amenaza para la flora y la fauna (Liu C. et al., 2021, p.3). Según un informe, la eutrofización causa una pérdida anual de casi 2.000 millones de dólares estadounidenses y sigue afectando a las actividades inmobiliarias y pesqueras (Sharma P. et al., 2021, p.1).

Además, las aguas residuales contienen diversos componentes químicos no deseados y patógenos que tienen efectos a corto y largo plazo en el medio ambiente

y la salud humana. Como se muestra en la figura 2, en el estudio realizado por Sharma P. et al., (2021, p.1).

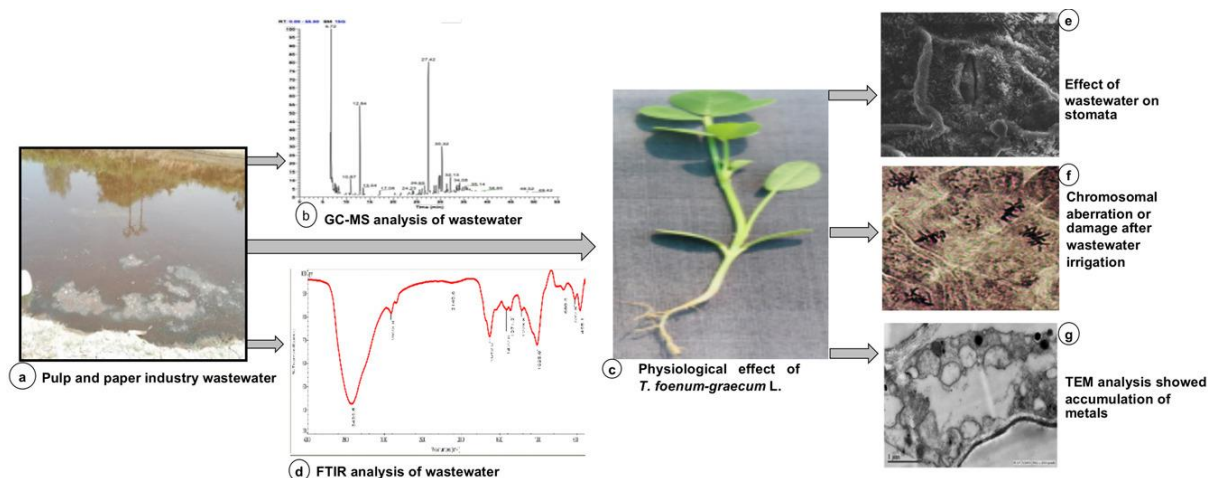


Figura N° 2. Toxicidad de las aguas residuales en las plantas

En la figura 2 se muestra un estudio realizado a la toxicidad que causa las aguas residuales de la industria de la pulpa a las plantas que son regadas con esta, donde, los análisis de microscopía electrónica de barrido y de transmisión de raíces de plantas, nódulos de raíces y estomas revelaron la acumulación de metales pesados en las superficies y en los tejidos; destacando la necesidad urgente de un tratamiento adecuado de las aguas residuales de la industria antes de su eliminación en cuerpos de agua para controlar el daño al medio ambiente y la vida acuática.

El uso de aguas residuales no tratadas en el riego también se asocia con muchos problemas como el crecimiento vegetativo excesivo, la madurez desigual de los frutos y la reducción de la calidad y el rendimiento (Ni Bing J. et al., 2020, p.3). Por ello, existe criterios utilizados para evaluar la calidad de las aguas residuales para uso en riego mostrándose en la tabla 1, de acuerdo con el estudio de Shakir E. et al., (2017, p.6):

| Grado de restricción de uso | | | |
|-----------------------------|---------|-------------------|--------|
| Parámetros | Ninguna | Ligero a moderado | Cortar |
| CE, $\mu\text{S}/\text{cm}$ | <700 | 700–3000 | >3000 |
| TDS, mg/L | <450 | 450–2000 | >2000 |
| Na ⁺ , mg/L | <100 | >100 | >100 |
| SAR, meq/L | <3 | 3–9 | >9 |

| | No hay problema | Problema creciente | grave problema |
|------------------------------|-----------------|--------------------|----------------|
| Cl⁻ , mg/L | <4 | 4–10 | >10 |

Tabla N°1. Grado de restricción de uso para riego agrícola

Así también, en los seres humanos, la exposición a aguas residuales no tratadas puede provocar gastroenteritis, infecciones cutáneas, hepatitis A y enfermedades similares a la leptospirosis (Makhoul N. et al., 2020, p.5). Otras sustancias biológicas no infecciosas, como las endotoxinas liberadas por la muerte de los microbios, pueden causar irritación y alergia al entrar en contacto con la piel o inducir fiebre alta, coagulación intravascular, fallo multiorgánico, incluso la muerte al entrar en la sangre del huésped (Fung et al., 2017, p.2).

Pero también, la crisis energética es otro problema debido al uso extensivo de combustibles fósiles como el petróleo, los gases naturales y el carbón, que se calcula que se agotarán en los próximos 50 años (Kumar R. et al., 2020, p.1). Siendo así una necesidad de buscar nuevos recursos renovables alternativos de energía para satisfacer la futura demanda energética.

Ante ello, y por los diversos métodos físicos (cribado, desarenado, flotación, etc.) y químicos (neutralización, floculación, oxidación desinfección, etc.), que comúnmente se emplean y que no solo caros, si no también, generan riesgos de una contaminación secundaria al agua (Sparn B. y Hunsberger R., 2016, p.4). Es que, se han desarrollado varias tecnologías para aprovechar las fuentes de energía renovables, es decir, la energía solar, eólica, hidráulica y geotérmica (Qazi A. et al., 2019, p.2). Todas estas tecnologías están bien desarrolladas y disponibles a escala comercial para satisfacer la creciente demanda de energía hasta cierto punto (Sudhakar K. et al., 2018, p.1).

La utilización de las aguas residuales como recurso para producir energía puede ayudar a reducir aún más la carga de otras tecnologías (Chen W. et al., 2016, p.2). Donde, al existir un grupo diverso de microorganismos acuáticos, las algas son los recursos más destacados del planeta, distribuidas en un sistema acuático, una fuente potencial de bioenergía, biomasa y metabolitos secundarios (Gan Y. et al., 2018, p.3).

La biomasa de algas, incluidas las macroalgas y las microalgas, muestra un gran potencial como materia prima de pirólisis para generar productos pirolíticos valiosos

y densos en energía, como el bioaceite, el biocarbón y el biogás (Amini Z. et al., 2017, p.2).

Los constituyentes químicos de macroalgas y microalgas presentan grandes variaciones, especialmente sus contenidos de lípidos, carbohidratos y proteínas, lo que podría afectar las cualidades de los productos pirolíticos (Pirbazari S. et al., 2019, p.2). A partir de la pirólisis convencional establecida, los productos producidos tanto a partir de macroalgas como de microalgas muestran contenidos energéticos moderados (<34 MJ/kg). Ver figura 3 (Lee Xin J. et al., 2020, p.1).

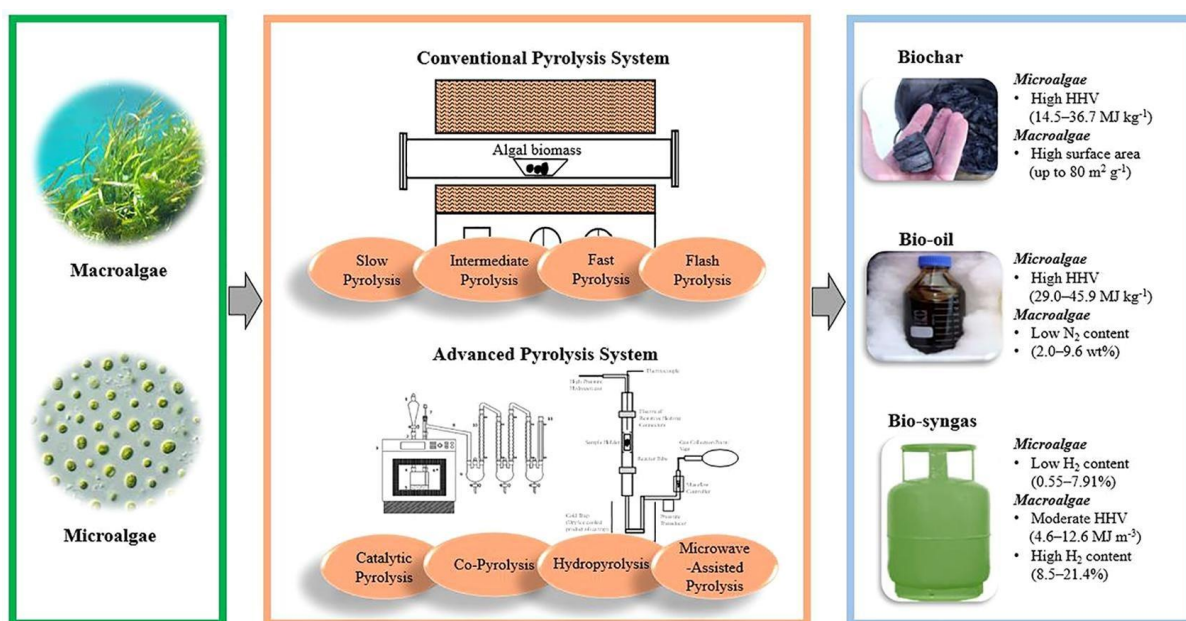


Figura N° 3. Macroalgas y microalgas para la producción de biocarbón, bioaceite y biogás

Las microalgas son fábricas celulares naturales impulsadas por la luz solar que tienen la capacidad de asimilar CO₂ y acumular lípidos utilizando la energía solar (Ahmed A. et al., 2018, p.3).

El cultivo de microalgas incluso se puede realizar utilizando aguas residuales, como aguas residuales domésticas y efluentes de molinero de aceite de palma, que pueden ayudar en la biorremediación de aguas residuales (Posadas E. et al., 2017, p.67). Además del tratamiento de aguas residuales, el cultivo de microalgas también puede ayudar a reducir el dióxido de carbono atmosférico a través de la fotosíntesis,

contribuyendo de manera efectiva a los esfuerzos para abordar el efecto invernadero y el calentamiento global (Wang S. et al., 2019, p.2).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Para comprender algunos fenómenos no siempre nos basaremos en cifras por ello la investigación cualitativa nos permite obtener información a través del exhaustivo análisis que se hace sobre los datos del fenómeno. Para C. Escudero y L. Cortez (2018, p.44), identificar los aspectos más profundos de la realidad del fenómeno a estudiar es la principal característica de la investigación cualitativa, esta no plasma un proceso definido permitiendo así que durante el proceso de la investigación surjan nuevas hipótesis que permitan perfeccionar la línea a seguir para la obtención de resultados. Utilizando métodos de recolección de datos no estandarizados que permitirán recabar más información y profundizar el contexto, este método se basa en la lógica que se encuentre en lo investigado e indagado a través de su método inductivo.

El presente trabajo de investigación se basó en analizar los datos encontrados en las lecturas científicas extraídas de distintas fuentes, por ello se consideró una investigación aplicada.

Según Gutiérrez (2016, p.1) los conocimientos dados en una investigación van a avalar a aquellos conocimientos que ya se tienen, esto surge en una investigación aplicada. Lo que busca la investigación aplicada es reconstruir la realidad de los sucesos ocurridos con el fenómeno a estudiar, por ello, el presente estudio se considera una investigación aplicada ya que a través de los resultados obtenidos se avaló los conocimientos que ya se obtuvieron en otras investigaciones de la producción de bioenergía a base de aguas residuales mediante la aplicación de tecnología basadas en microalgas.

El diseño es narrativo de tópico; siendo este un diseño que estudia y analiza las características, relatos y estilos de vida de los participantes involucrados en un estudio mediante la recolección de información; así mismo en este tipo de diseño se puede estudiar a las personas y su entorno. Por lo cual, al ser un diseño de tópico, solo se tomarán en cuenta los sucesos y fenómenos (Maurer H. et al., 2017, p.1). Se presentó este diseño en la presente investigación debido al análisis que se hizo de

las condiciones en las que ocurrieron los hechos estudiados, el contexto en la que se desarrolló, las acciones y consecuencias que se dieron.

3.2 Categoría, Subcategoría y matriz de categorización apriorística

Tabla N° 2. Matriz de Categorización Apriorística

| Objetivos específicos | Problemas específicos | Categoría | Subcategoría | Unidad de Análisis |
|--|---|---|---|--|
| Clasificar cuál es el tipo de aguas residuales más usadas que se emplean para la producción de bioenergía | ¿Cuál es el tipo de aguas residuales más usadas que se emplean para la producción de bioenergía? | Tipo de aguas residuales (Olds H. et al., 2018, p.1) | Aguas residuales porcinas Aguas residuales domésticas Aguas municipales | (Jiang Y. et al., 2018, p.2), (Ahuja S. et al., 2016, p.12), (Tongesayi S. y Tongesayi T., 2017, p.2). |
| Determinar cuál es el tipo de microalga más usada como tecnología para la producción de bioenergía a base de aguas residuales | ¿Cuál es el tipo de microalga más usada como tecnología para la producción de bioenergía a base de aguas residuales? | Tipo de microalga más usada (Pandey A. et al., 2019) | <i>Chlorella vulgaris</i> <i>Tribonema sp.</i> <i>Scenedesmus sp.</i> <i>Chlorella pyrenoidosa</i> | (Vollertsen J. y Hansen A., 2017, p.3), (Karnib A. et al., 2017, p.4), (Liu C. et al., 2021, p.3). |
| Definir cuál es el potencial de producción de electricidad de las diferentes clasificaciones de microalgas a base de aguas residuales | ¿Cuál es el potencial de producción de electricidad de las diferentes clasificaciones de microalgas a base de aguas residuales? | Potencial de producción de electricidad (Martinez H. et al., 2020, p.1) | 32,5 mV a 260 mV (menor al 50%) 270 mV (Mayor al 50%) | (Ni Bing J. et al., 2020, p.3), (Shakir E. et al., 2017, p.6), (Makhoul N. et al., 2020, p.5). |

Elaboración Propia

3.3 Escenario de estudio

Una revisión sistemática nos permitirá abordar los escenarios observados en las lecturas científicas extraídas y estudiadas, al ser analizadas los escenarios encontrados pasaron a formar parte del escenario de estudio del presente trabajo de investigación, por ello los laboratorios, bibliotecas, entre otros son espacios considerados escenario de estudio.

3.4 Participantes

Las plataformas virtuales que fueron usadas en el transcurso del desarrollo de la investigación son las participantes de esta, ya que, de ellas fueron extraídas las fuentes usadas para el presente estudio, estas son: Sciencedirect, Scielo y Scopus

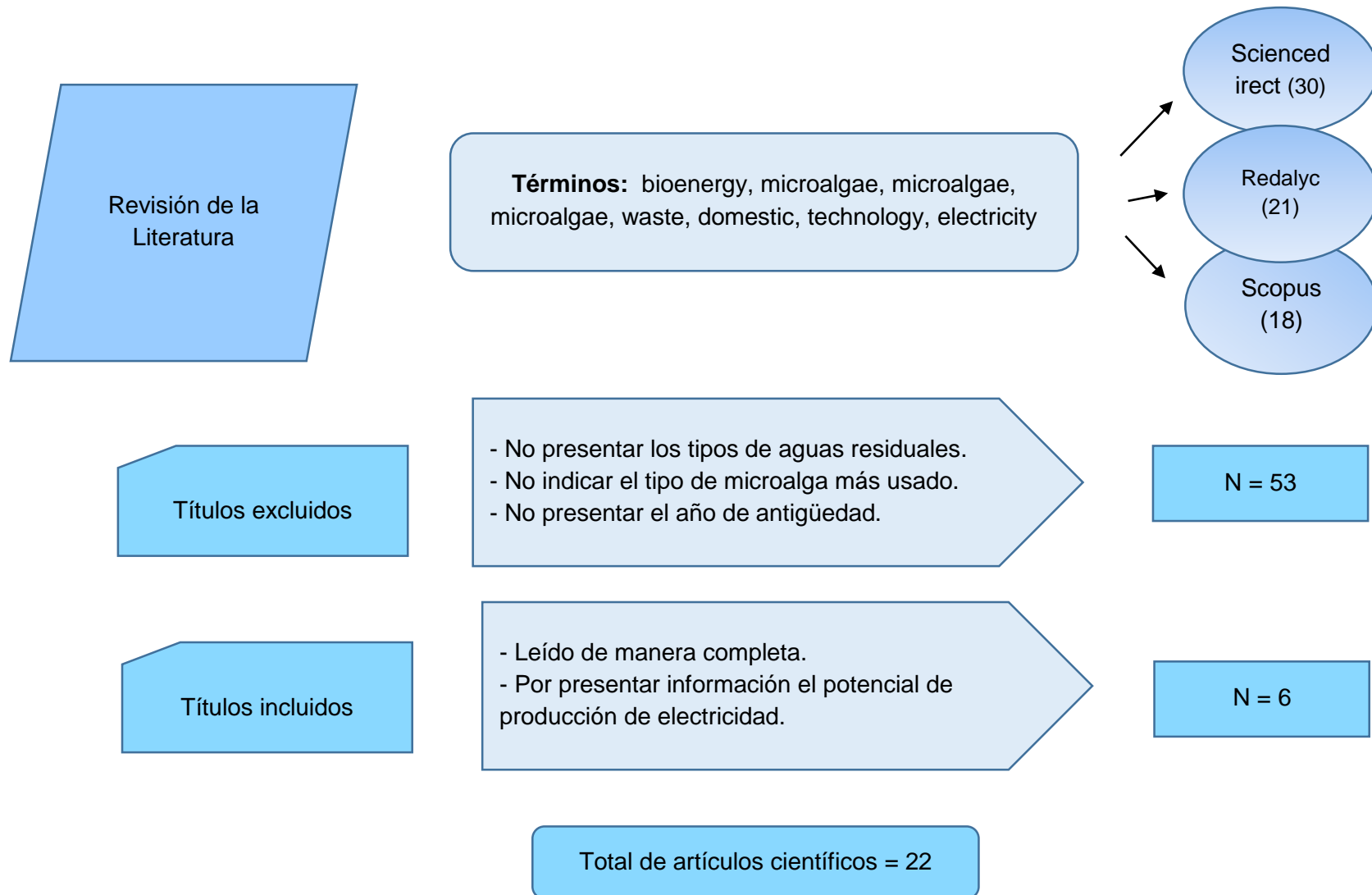
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se aplicó el análisis documental por ser una revisión sistemática el presente estudio, esta técnica permite recolectar toda información relevante y a través de un nuevo documento se plasma todas las ideas resaltantes de los textos leídos y analizados (Peña T. y Pírela J., 2007, p.59). Se aplicó esta técnica a través del análisis de todos los artículos científicos relacionados con producción de bioenergía a base de aguas residuales mediante la aplicación de tecnología basadas en microalgas.

El análisis documental se concretó a través del instrumento ficha de análisis de contenido quien nos permitió transcribir las ideas concretas y particulares de los autores analizados, por ello, con el fin de extraer de forma original el contenido de los artículos científicos se hizo uso de este instrumento.

3.6 Procedimientos

Grafico N°1. Procedimientos de información



Elaboración propia

3.7 Rigor científico

Las investigaciones pasan por una serie de métodos que permiten avalar la integridad del grado de validez, por ello el rigor científico es esencial dentro de una investigación ya que a través de sus criterios conlleva a ser útil a través de sus resultados dentro de la sociedad. Para Castillo E. y Vásquez M.L (2003) se rigen tres criterios, ellos son:

Credibilidad, a través de este criterio se espera que los participantes del estudio reconozcan en los resultados todo lo detallado y expresado, es decir identifiquen lo narrado y encuentren congruencia en lo que vivieron con el fenómeno y los resultados de la investigación (Castillo E. y Vásquez M.L, 2003, p.165).

Se aplicó este criterio plasmando las ideas extraídas de los artículos analizados, en su forma original y evitando tergiversar el contenido con el fin de aclarar las ideas anticipadas sobre lo estudiado.

Auditabilidad, el registro de las ideas concretas y relevantes es esencial en este criterio ya que a través de estas y la habilidad del autor de poder analizarlas el investigador podrá seguir la línea que ha dejado el autor principal. Este método permitirá al investigador llegar a resultados similares teniendo en cuenta que lo investigado tenga perspectivas similares a lo analizado (Castillo E. y Vásquez M.L, 2003, p.165). Por ello este criterio fue aplicado a través del registro de las ideas relevantes que se ha tenido de la investigación y se visualiza en los resultados.

Transferibilidad, donde los resultados de una investigación se pueden aplicar a otras poblaciones siempre que el investigador examine y evalúe el grado en el que los resultados se ajusten con otro contexto. Si bien el tiempo y realidad de cada problemática son únicas e intransferibles, a través, de este criterio, se logra la transferibilidad de los resultados apoyándose en un análisis exhaustivo de las características del contexto, de los participantes y el lugar (Castillo E. y Vásquez M.L, 2003, p.166). A través de los resultados congruentes obtenidos con las ideas analizadas, la descripción del contexto y de los participantes en la presente investigación se aplicó este criterio.

3.8 Método de análisis de información

El método usado en la presente investigación fue la triangulación, con esta técnica se usó distintos datos y fuentes. La técnica usada es la matriz de categorización la cual fue dividida en categorías y subcategorías.

Las categorías son: El potencial de producción de electricidad de las diferentes clasificaciones de microalgas, el tipo de microalga más usada como tecnología para la producción de bioenergía, el tipo de aguas residuales más usadas.

Las sub categorías son: Aguas residuales porcinas, Aguas residuales domésticas, Aguas municipales; *Chlorella vulgaris*, *Tribonema sp.*, *Scenedesmus sp.*, *Chlorella pyrenoidosa*; 32,5 mV a 260 mV (menor al 50%) y 270 mV (Mayor al 50%).

3.9 Aspectos éticos

Se cumplió con los criterios para el cumplimiento de los aspectos éticos por ello se hizo uso de:

Norma ISO 690: respetando la autoría de cada texto transcrito en la presente investigación. Citando de forma original.

Turnitin: a través del programa mencionado se avaló la originalidad del contenido de la investigación.

Norma Vigente: se aplicó la Guía de productos observables dictado por la Universidad Cesar Vallejo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante la búsqueda de analizar los aspectos más relevantes de la producción de bioenergía a base de aguas residuales mediante la aplicación de tecnología basadas en microalgas, se buscó desarrollar tres objetivos puntuales; identificar el tipo de aguas residuales más usadas mediante la descripción en la tabla 3, el tipo de microalga más usada como tecnología, clasificadas en la tabla 4 y por último, el potencial de producción de electricidad de las diferentes clasificaciones de microalgas, definidas con la tabla 5.

Tabla N°3. Tipo de aguas residuales más usadas

| Aguas residuales | DQO (%) | N (%) | P (%) | Fuente |
|------------------------------------|----------------|--|--|----------------------------|
| Efluentes lácteos | 80.62 | 85.47 | 65.96 | Choi HeeJeong et al., 2016 |
| | 90.5 | 100 | 91.24 | Pandey A. et al., 2019 |
| | 95.1 | 79.7 | 98.1 | Kumar A. et al., 2019 |
| Aguas residuales porcinas | 56.6 | 89.9 | 72.7 | Cheng, P. et al., 2020 |
| | 68.6 | 75.8 | 71.4 | |
| | 52.5 | 100 | 68–74 | Huo Shuhao et al., 2020 |
| | 55.6 | 89.9 | 72.7 | Cheng et al., 2020 |
| | 68.6 | 75.8 | 71.4 | |
| - | 90 | 70 | Che Zhihong et al., 2020 | |
| Aguas residuales domésticas | - | 2.52 g m ⁻² d ⁻¹ | 1.25 g m ⁻² d ⁻¹ | Marella T. et al., 2019 |
| | - | 85 | 35 | Lam Man K. et al., 2017 |
| Aguas residuales de aves de corral | - | 93 | 90 | De Bhowmick et al., 2019 |
| | 64.1 | 63.8 | 87.2 | Han Ting et al., 2019 |
| Aguas residuales municipales | - | 93 | 90 | Zhou W. et al., 2018 |
| | - | 78.5 | 95.2 | Eida M. et al., 2018 |
| | 85.43 | 80.30 | 95.72 | Qu Fanqi et al., 2020 |
| | 90 | 90 | 88 | Luo Lin et al., 2019 |
| | 96 | 96.6 | 94.5 | Ye sisi et al., 2020 |

| | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------|
| | 89.4 | 92 | 90 | Fatima N. et al., 2019 |
| Efluente de molino de palma | 93.7 | 98.6 | 96 | Chea Wai Y. et al., 2020 |
| Aguas residuales de textil | 75 | 75 | - | Wu Jane Y. et al., 2017 |
| | 50 | 52.95 | 63.05 | Brar A. et al., 2019 |
| | 85 | 74.43 | 28 | |
| | 86.87 | 68.86 | 70.79 | |
| Aguas residuales farmacéuticas | 66.30 | 67.17 | 70.03 | Nayak J. et al., 2020 |
| Aguas residuales de maleza | 87.2 | 90.5 | 88.6 | Ma Chao et al., 2017 |
| | 92.33 | 80 | 86 | Dong X. et al., 2019 |

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 3 el tipo de aguas residuales más usadas que se emplean para la producción de bioenergía mediante la aplicación de tecnología basadas en microalgas son las aguas residuales municipales.

Ello debido a que las aguas residuales municipales se componen principalmente de los vertidos de las actividades domésticas y estas en su mayoría se vierten en los sistemas de drenaje, lagos y ríos sin ningún tratamiento previo por lo que, se suponen como un obstáculo para mejorar el nivel de vida de la comunidad; convirtiéndose así, en el tipo de aguas residuales más estudiadas.

Ello es también corroborado con los estudios realizados por: Zhou W. et al., 2018, Eida M. et al., 2018, Qu Fanqi et al., 2020, Luo Lin et al., 2019, Ye sisi et al., 2020 y Fatima N. et al., 2019.

Por otro lado, las características de las aguas residuales se determinan generalmente en función de diversos factores fisicoquímicos como la demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total y fosforo.

Así también los investigadores que estudiaron las aguas residuales municipales presentaron los más altos niveles de DQO como porcentaje de N y P, como Luo Lin et al., 2019, con un 90% de DQO, 90% de N y 88% de P, Ye sisi et al., 2020 con un 96% de DQO, 96.6% de N, 94.5 de P y Fatima N. et al., 2019 con un 89.4% de DQO, 92% de N y 90% de P.

Po su parte Ibrahim S. et al., (2020, p.1); manifiesta que las aguas residuales procedentes de fregaderos de cocina, lavanderías duchas, o cualquier actividad doméstica excluyendo los residuos de los inodoros, se denominan aguas residuales grises y estas como las aguas negras son un reto importante en las ciudades metropolitanas, ya que la eliminación aguas residuales no tratadas puede provocar la contaminación del agua y de la tierra y puede dar lugar a problemas de salud humana, causar epidemias y eutrofización de las masas de agua.

Así mismo, Qu Fanqi et al., (2020, p.2), presenta respaldo afirmando que el tratamiento de las aguas residuales es importante para garantizar que sean de bajo riesgo antes de hacerlas reutilizables para diversos fines.

Mientras que en la tabla 4, se clasificaron el tipo de microalga más usada como tecnología para la producción de bioenergía a base de aguas residuales, detallando como criterio el agua residual al que se aplica y la cantidad de microalga usada.

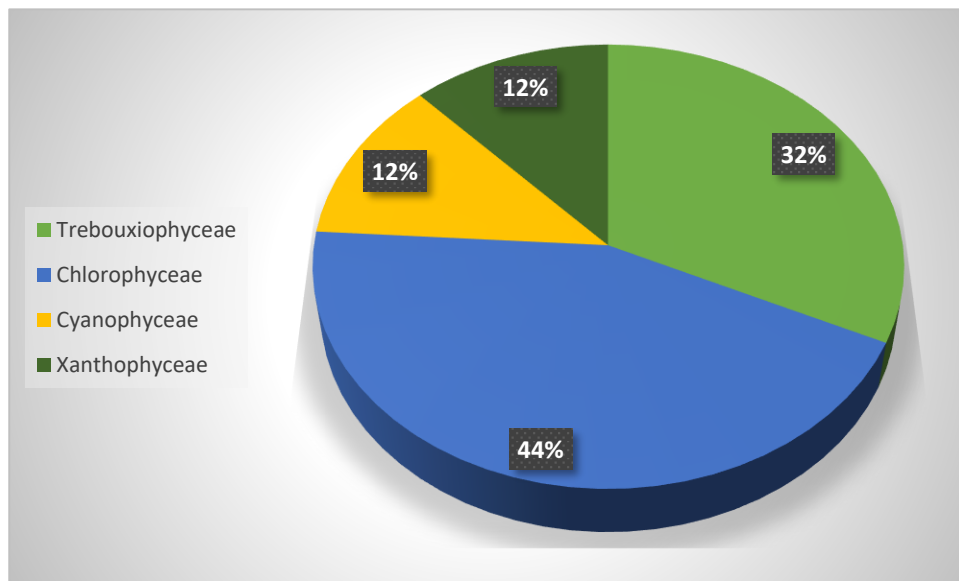
Tabla N°4. Microalga más usada como tecnología

| Aguas residuales | Microalgas | Clase | Biomasa | Fuente |
|---------------------------|--------------------------------|------------------|--|----------------------------|
| Efluentes lácteos | <i>Chlorella Vulgaris</i> | Trebouxiophyceae | 0.175 mg L ⁻¹ D ⁻¹ | Choi HeeJeong et al., 2016 |
| | <i>Scenedesmus</i> sp. ASK22 | Chlorophyceae | 1.22 g cdw L ⁻¹ | Pandey A. et al., 2019 |
| | <i>Asco Chloris</i> sp. ADW007 | - | - | Kumar A. et al., 2019 |
| Aguas residuales porcinas | <i>Tribonema</i> sp. | Xanthophyceae | - | Cheng, P. et al., 2020 |
| | <i>Synechocystis</i> sp | Cyanophyceae | - | |
| | <i>Tribonema</i> sp. | Xanthophyceae | 2.04g L ⁻¹ | Huo Shuhao et al., 2020 |
| | <i>Tribonema</i> sp. | Xanthophyceae | - | Cheng et al., 2020 |
| | <i>Synechocystis</i> sp | Cyanophyceae | - | |
| | <i>Desmodesmus</i> sp. PW1 | Chlorophyceae | - | Che Zhihong et al., 2020 |

| | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|------------------|---|--------------------------|
| Aguas residuales domésticas | Cultivo mixto de algas | - | 34.83 g cdw m ⁻² d ⁻¹ | Marella T. et al., 2019 |
| | <i>Chlorella vulgaris</i> | Trebouxiophyceae | - | Lam Man K. et al., 2017 |
| Aguas residuales de aves de corral | <i>Chlorella minutissima</i> | Trebouxiophyceae | 292 mg L ⁻¹ D ⁻¹ | De Bhowmick et al., 2019 |
| | <i>Dunaliella sp.</i> | Chlorophyceae | 0.678 g L ⁻¹ | Han Ting et al., 2019 |
| Aguas residuales municipales | <i>Chlorella zofingiensis</i> | Trebouxiophyceae | 2.5 g L ⁻¹ | Zhou W. et al., 2018 |
| | <i>Scenedesmus obliquus</i> | Chlorophyceae | 0.529 g L ⁻¹ | Eida M. et al., 2018 |
| | <i>Scenedesmus obliquus</i> | Chlorophyceae | - | Qu Fanqi et al., 2020 |
| | <i>Scenedesmus sp.</i> | Chlorophyceae | 4.65 g L ⁻¹ | Luo Lin et al., 2019 |
| | <i>Scenedesmus sp.</i> HXY2 | Chlorophyceae | - | Ye sisi et al., 2020 |
| | <i>Chlorella minutissima</i> | Trebouxiophyceae | 0.995 g L ⁻¹ D ⁻¹ | Fatima N. et al., 2019 |
| Efluente de molino de palma | <i>Chlorella sorokiniana</i> CY-1 | Trebouxiophyceae | 5.74 g L ⁻¹ | Chea Wai Y. et al., 2020 |
| Aguas residuales de textil | <i>Chlorella sp.</i> Wu G23 | Trebouxiophyceae | 58 mg L ⁻¹ D ⁻¹ | Wu Jane Y. et al., 2017 |
| | <i>Anabaena ambigua</i> | Cyanophyceae | 11.61 mg L ⁻¹ D ⁻¹ | Brar A. et al., 2019 |
| | <i>Chlorella pyrenoidosa</i> | Trebouxiophyceae | 12.97 mg L ⁻¹ D ⁻¹ | |
| | <i>Scenedesmus abundans</i> | Chlorophyceae | 10.80 mg L ⁻¹ D ⁻¹ | |
| Aguas residuales farmacéuticas | <i>Tetraselmis Indica</i> BDU 123 | Chlorophyceae | 46.85 mg L ⁻¹ D ⁻¹ | Nayak J. et al., 2020 |
| Aguas residuales de maleza | <i>Scenedesmus sp.</i> Z-4 | Chlorophyceae | - | Ma Chao et al., 2017 |
| | <i>Monoraphidium sp.</i> FXY-10 | Chlorophyceae | 1.21 g L ⁻¹ | Dong X. et al., 2019 |

Elaboración propia

Gráfico N° 2. Porcentaje de microalga más usada



De acuerdo con el gráfico 2 respecto a la tabla 4, el tipo de microalga más usada es aquella que pertenece a la clase Chlorophyceae con un total de 44% de investigadores que lo confirman, mientras que las microalgas de la clase Cyanophyceae es también una de las más aplicadas con un 32%.

Los investigadores que corroboran ello son; Pandey A. et al., 2019, Che Zhihong et al., 2020, Han Ting et al., 2019, Eida M. et al., 2018, Qu Fanqi et al., 2020, Luo Lin et al., 2019, Ye sisi et al., 2020, Brar A. et al., 2019, Nayak J. et al., 2020, Ma Chao et al., 2017 y Dong X. et al., 2019.

Ello debido a que las Chlorophyceae abarcan la gama más amplia de morfologías en las algas verdes; es ubicuo y está ampliamente distribuido en muchos hábitats de todo el mundo, desde agua salobre hasta superficies rocosas y es ampliamente usado debido a que esta microalga es muy adecuada para sobrevivir en condiciones extremas de radiación, temperatura y concentraciones de sal (Niizawa I. et al., 2021, p.71).

Entre las microalgas presentes en la clase de Chlorophyceae están; *Scenedesmus* sp. ASK22, *Desmodesmus* sp. PW1, *Dunaliella* sp., *Scenedesmus obliquus*, *Scenedesmus obliquus*, *Scenedesmus* sp., *Scenedesmus* sp. HXY2,

Scenedesmus abundans, *Tetraselmis Indica* BDU 123, *Scenedesmus* sp. Z-4, *Monoraphidium* sp. FXY-10.

Mientras que Brar A. et al., (2019, p.1), respalda la afirmación realizada mediante los resultados de su estudio donde comparó 3 microalgas; *Anabaena ambigua*, *Chlorella pyrenoidosa* y *Scenedesmus abundans*, de las clases Cyanophyceae, Trebouxiophyceae y Chlorophyceae respectivamente, donde se observó la máxima eficiencia de reducción de la demanda química de oxígeno empleando *S. abundans* (Chlorophyceae) en un 85%.

Por otro lado, mediante la tabla 5 se definió el potencial de producción de electricidad de las diferentes clasificaciones de microalgas a base de aguas residuales.

Tabla N°5. *Potencial de producción de electricidad de las diferentes clasificaciones de microalgas*

| Microalga | Aguas residuales | Tipo MFC | Potencia | Fuente |
|---|---|---|--------------------------------|---------------------------------------|
| Algas verde-azules | Lixiviados de vertedero | Doble cámara | 50 mWm ⁻² | Nguyen H. et al., 2017 |
| <i>Botryococcus braunii</i> | Aguas residuales de industria azucarera | Doble cámara | 7.27 μWm ⁻² | Manchanda T. et al., 2018 |
| <i>Chlorella vulgaris</i> | Aguas residuales | Fotosintética microbiano célula de desalinización | 660 mWm ⁻² | Arana Thomas J. y gude Veera G., 2018 |
| <i>Chlorella vulgaris</i> | Aguas residuales de lácteos | Fotosintética microbiano célula de desalinización | 20.25 mWm ⁻² | Zamanpour M. et al., 2017 |
| <i>Chlorella vulgaris</i> | Aguas residuales y efluentes industriales | Doble cámara | 327.67 mWm ⁻² | Huarachi O. et al., 2018 |
| <i>Golenkinia sp.</i> | Aguas residuales de alimentos | Doble cámara | 400 mWm ⁻³ | Hou Q. et al., 2017 |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> SDEC-8 | Aguas residuales domésticas | Doble cámara | 62.93 mWm ⁻² | Yang Zhigang et al., 2018 |
| <i>Spirulina platensis</i> y <i>Chlorococcum</i> | Tapioca aguas residuales | Doble cámara | 44.33 y 30.2 mWm ⁻² | Da Costa C., 2018 |

| | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|--------------|------------------------|---|
| sp., | | | | |
| Synechococcus sp. | Aguas residuales domésticas | Doble cámara | 41.5 mWm ⁻² | Mohamed Samsudeen N. et al., 2020 |

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 5 se tiene que la integración del tratamiento de aguas residuales con el cultivo de microalgas para la producción de bioenergía ayudará a mejorar el coste del tratamiento de aguas residuales y la producción de energía simultáneamente.

Donde, el potencial de producción de electricidad de las diferentes clasificaciones de microalgas a base de aguas residuales puede llegar desde 400 a 660 mWm⁻² aplicando la pila de combustible microbiana fotosintética basada en microalgas (MFC). Siendo ello corroborado por Hou Q. et al., 2017, Huarachi O. et al., 2018, Arana Thomas J. y gude Veera G., 2018.

Así lo respalda Arana Thomas J. y gude Veera G., (2018, p.1); señalando mediante su estudio que la reducción de electricidad es mayor en una MFC asistida por microalgas en comparación con el cátodo basado en aire, lo que se asocia con el aumento de los niveles de oxígeno disuelto. Pero You S. et al., (2017, p.1); refuta lo mencionada; donde señala que la MFC basada en biocátodos de microalgas tiene limitaciones ya que su rendimiento se ve afectado por el crecimiento de las microalgas.

Un estudio reportó que la salida de voltaje cayó de 260 mV a 70 mV, cuando el crecimiento de las microalgas entró en fase muerta y el contenido de oxígeno disminuyó (22,5 a 3,7 mgL⁻¹) (Hou et al., 2016).

Así también, Ling et al. (2019, p.2), utilizaron un biocátodo de microalgas parcialmente sumergido para resolver este problema, y las aguas residuales de las pocilgas se utilizaron como anolito y aguas residuales porcinas digeridas anaeróticamente como catolito y fue capaz de alcanzar un voltaje 50% mayor (297 mV) en comparación con la MFC convencional.

Pero estudios como los de Naina Mohamed et al., (2019, p.1), estudiaron *Oscillatoria* sp. y *Scenedesmus* sp. para el tratamiento de aguas residuales de procesamiento de

alimentos y la producción de electricidad en MFC, e informaron de una densidad de potencia baja de 32,5 y 28,5 mW m⁻² respectivamente.

Así lo afirma Nguyen H. et al., (2017, p.1), quien aplicando algas verde-azules eliminó el DQO en la cámara del ánodo casi por completo (97%) con todos los porcentajes de lixiviado, mientras que la remoción máxima de DQO fue del 52% con 10% de lixiviado en la cámara catódica; así también se observó una mayor eliminación de nitrógeno y fósforo con porcentajes de lixiviados inferiores al 10 %. Sugiriendo que el lixiviado se puede tratar en una dilución adecuada con generación de electricidad simultánea en el MFC de cátodo de algas.

V. CONCLUSIONES

Los aspectos más relevantes de la producción de bioenergía a base de aguas residuales mediante la aplicación de tecnología basadas en microalgas como el tipo de microalga usada y el potencial de electricidad que presentan afirma mediante muchos estudios que la viabilidad de aplicar la tecnología de microalgas en el tratamiento de aguas residuales podría reducir potencialmente la concentración de nutrientes de las aguas residuales hasta en un 95% además tienen alta capacidad para acumular lípidos, producir biohidrógeno y bioelectricidad.

Además, el tipo de aguas residuales más usadas que se emplean para la producción de bioenergía mediante la aplicación de tecnología basadas en microalgas son las aguas residuales municipales. Ello debido a que las aguas residuales municipales se componen principalmente de los vertidos de las actividades domésticas y estas en su mayoría se vierten en los sistemas de drenaje, lagos y ríos sin ningún tratamiento previo por lo que, se suponen como un obstáculo para mejorar el nivel de vida de la comunidad; convirtiéndose así, en el tipo de aguas residuales más estudiadas.

El tipo de microalga más usada como tecnología para la producción de bioenergía a base de aguas residuales son las pertenecientes a la clase Chlorophyceae con un total de 44% de investigadores que lo confirman, mientras que las microalgas de la clase Cyanophyceae es también una de las más aplicadas con un 32%. Ello debido a que las Chlorophyceae abarcan la gama más amplia de morfologías en las algas verdes; es ubicuo y está ampliamente distribuido en muchos hábitats de todo el mundo, además es muy adecuada para sobrevivir en condiciones extremas de radiación, temperatura y concentraciones de sal.

El potencial de producción de electricidad de las diferentes clasificaciones de microalgas a base de aguas residuales puede llegar desde 400 a 660 mWm⁻² aplicando la pila de combustible microbiana fotosintética basada en microalgas (MFC).

VI. RECOMENDACIONES

La comunidad humana necesita urgentemente enfoques más integrados para el tratamiento de aguas residuales, el cultivo de microalgas, la producción de bioenergía y otros compuestos valiosos, por ello, para lograr un proceso general racionalizado para mejorar la viabilidad industrial se realizan las siguientes recomendaciones:

Teniendo en cuenta las diversas ventajas de la integración de la biomasa de algas en el tratamiento de las aguas residuales, se podrían obtener mayores ingresos y mejorar la economía general del proceso de tratamiento de aguas residuales.

También se recomienda aplicar la integración de las biomásas de algas en combinación con otras tecnologías emergentes para intensificar su potencial en la producción de electricidad.

Con el fin de mejorar la aplicación de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales y la eliminación de nutrientes para obtener la máxima eficiencia y de la biomasa de algas para su uso como materia prima para la producción de bioenergía y bioquímica es un paso esencial.

Po último, es necesario desarrollar un proceso de recolección ideal y hacerlo aplicable a todos los tipos de especies de microalgas, que garantice una alta concentración de biomasa, así como la eficacia energética y económica de costes

REFERENCIAS

1. AGHALARI, Zahra, et al. Effectiveness of wastewater treatment systems in removing microbial agents: a systematic review. *Globalization and health*, 2020, vol. 16, no 1, p. 1-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12992-020-0546-y>
2. AHMAD, Ashfaq, et al. Algae biotechnology for industrial wastewater treatment, bioenergy production, and high-value bioproducts. *Science of The Total Environment*, 2022, vol. 806, p. 150585. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150585>
3. AHMED, Ashfaq, et al. Potential thermochemical conversion of bioenergy from Acacia species in Brunei Darussalam: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 82, p. 3060-3076. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.032>
4. AHUJA, Satinder. Overview: modern water purity and quality. *Handbook of Water Purity and Quality*, 2021, p. 1-18. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821057-4.00014-8>
5. AHUJA, Satinder. *Chemistry and Water: The Science Behind Sustaining the World's Most Crucial Resource*. Elsevier, 2016. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=jGwkDAAAQBAJ&lpg=PP1&ots=TwytAB9XYk&dq=Chemistry%20and%20Water%3A%20The%20Science%20Behind%20Sustaining%20World's%20Most%20Crucial%20Resource&lr&hl=es&pg=PR7#v=onepage&q=Chemistry%20and%20Water:%20The%20Science%20Behind%20Sustaining%20World's%20Most%20Crucial%20Resource&f=false>
6. AMINI, Zeynab, et al. State of the art and prospective of lipase-catalyzed transesterification reaction for biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 2017, vol. 141, p. 339-353. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.09.049>
7. ARANA, Thomas J.; GUDE, Veera Gnaneswar. A microbial desalination process with microalgae biocathode using sodium bicarbonate as an inorganic

- carbon source. *International biodeterioration & biodegradation*, 2018, vol. 130, p. 91-97. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.04.003>
8. BHATIA, Shashi Kant, et al. Wastewater based microalgal biorefinery for bioenergy production: Progress and challenges. *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 751, p. 141599. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141599>
 9. BONIN-FONT, Francisco, et al. Evaluating the impact of sewage discharges on the marine environment with a lightweight AUV. *Marine pollution bulletin*, 2018, vol. 135, p. 714-722. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.071>
 10. BRAR, A., et al. Phycoremediation of textile effluent-contaminated water bodies employing microalgae: nutrient sequestration and biomass production studies. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2019, vol. 16, no 12, p. 7757-7768. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2133-9>
 11. CHEAH, Wai Yan, et al. Enhancing microalga *Chlorella sorokiniana* CY-1 biomass and lipid production in palm oil mill effluent (POME) using novel-designed photobioreactor. *Bioengineered*, 2020, vol. 11, no 1, p. 61-69. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/21655979.2019.1704536>
 12. CHENG, Hai-Hsuan, et al. Recent advancement on biological technologies and strategies for resource recovery from swine wastewater. *Bioresource technology*, 2020, vol. 303, p. 122861. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122861>
 13. CHEN, Wei-Hsin, et al. Thermochemical conversion of microalgal biomass into biofuels: a review. *Bioresource technology*, 2016, vol. 184, p. 314-327. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.11.050>
 14. CHEN, Zhihong, et al. Nutrients removal from piggery wastewater coupled to lipid production by a newly isolated self-flocculating microalga *Desmodesmus* sp. PW1. *Bioresource Technology*, 2020, vol. 302, p. 122806. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122806>

15. CHOI, Hee-Jeong. Dairy wastewater treatment using microalgae for potential biodiesel application. *Environmental Engineering Research*, 2016, vol. 21, no 4, p. 393-400. Disponible en: <https://doi.org/10.4491/eer.2015.151>
16. COOPER, Richard J., et al. Evaluating the impacts of contrasting sewage treatment methods on nutrient dynamics across the River Wensum catchment, UK. *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 804, p. 150146. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150146>
17. DA COSTA, Carlito. Bioelectricity production from microalgae-microbial fuel cell technology (MMFC). En *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, 2018. p. 01017. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815601017>
18. DE BHOWMICK, Goldy; SEN, Ramkrishna; SARMAH, Ajit K. Consolidated bioprocessing of wastewater cocktail in an algal biorefinery for enhanced biomass, lipid and lutein production coupled with efficient CO₂ capture: An advanced optimization approach. *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 252, p. 109696. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109696>
19. DONG, Xunzan, et al. Enhancement of lipid production and nutrient removal of *Monoraphidium* sp. FXY-10 by combined melatonin and molasses wastewater treatment. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2019, vol. 99, p. 123-131. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.03.010>
20. EIDA, Mohamed F.; DARWESH, Osama M.; MATTER, Ibrahim A. Cultivation of oleaginous microalgae *Scenedesmus obliquus* on secondary treated municipal wastewater as growth medium for biodiesel production. *Journal of Ecological Engineering*, 2018, vol. 19, no 5. Disponible en: <https://doi.org/10.12911/22998993/91274>
21. FATIMA, N., et al. Enhancing algal biomass production and nutrients removal from municipal wastewater via a novel mini photocavity bioreactor. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 2020, vol. 10, no 1, p. 4714-4720. Disponible en: <https://doi.org/10.33263/BRIAC101.714720>

22. GAN, Yong Yang, et al. Torrefaction of microalgal biochar as potential coal fuel and application as bio-adsorbent. *Energy Conversion and Management*, 2018, vol. 165, p. 152-162. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.046>
23. HAN, Ting, et al. Two-step strategy for obtaining *dunaliella* sp. biomass and β -carotene from anaerobically digested poultry litter wastewater. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2019, vol. 143, p. 104714. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.06.002>
24. HOU, Qingjie, et al. Features of *Golenkinia* sp. and microbial fuel cells used for the treatment of anaerobically digested effluent from kitchen waste at different dilutions. *Bioresource Technology*, 2017, vol. 240, p. 130-136. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.092>
25. HUARACHI-OLIVERA, Ronald, et al. Bioelectrogenesis with microbial fuel cells (MFCs) using the microalga *Chlorella vulgaris* and bacterial communities. *Electronic Journal of Biotechnology*, 2018, vol. 31, p. 34-43. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2017.10.013>
26. HUO, Shuhao, et al. Post treatment of swine anaerobic effluent by weak electric field following intermittent vacuum assisted adjustment of N: P ratio for oil-rich filamentous microalgae production. *Bioresource Technology*, 2020, vol. 314, p. 123718. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123718>
27. IBRAHIM, Salma, et al. Role of identified bacterial consortium in treatment of Quhafa Wastewater Treatment Plant influent in Fayuom, Egypt. *Environmental monitoring and assessment*, 2020, vol. 192, no 3, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8105-9>
28. JIANG, Yu; DINAR, Ariel; HELLEGERS, Petra. Economics of social trade-off: balancing wastewater treatment cost and ecosystem damage. *Journal of environmental management*, 2018, vol. 211, p. 42-52. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.047>
29. KARRI, Rama Rao; RAVINDRAN, Gobinath; DEHGHANI, Mohammad Hadi. *Wastewater—Sources, Toxicity, and Their Consequences to Human Health*.

En Soft Computing Techniques in Solid Waste and Wastewater Management. Elsevier, 2021. p. 3-33. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824463-0.00001-X>

30. KARNIB, Ali, et al. A quantitative assessment framework for water, energy and food nexus. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, 2017, vol. 6, no 01, p. 11. Disponible en: <https://doi.org/10.4236/cweee.2017.61002>
31. KUMAR, A. K., et al. Cultivation of *Ascochloris* sp. ADW007-enriched microalga in raw dairy wastewater for enhanced biomass and lipid productivity. International Journal of Environmental Science and Technology, 2019, vol. 16, no 2, p. 943-954. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1712-0>
32. KUMAR, Ramesh; GHOSH, Alak Kumar; PAL, Parimal. Synergy of biofuel production with waste remediation along with value-added co-products recovery through microalgae cultivation: a review of membrane-integrated green approach. Science of the Total Environment, 2020, vol. 698, p. 134169. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134169>
33. LAM, Man Kee, et al. Cultivation of *Chlorella vulgaris* using nutrients source from domestic wastewater for biodiesel production: Growth condition and kinetic studies. Renewable Energy, 2017, vol. 103, p. 197-207. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.032>
34. LEE, Xin Jiat, et al. State of art review on conventional and advanced pyrolysis of macroalgae and microalgae for biochar, bio-oil and bio-syngas production. Energy Conversion and Management, 2020, vol. 210, p. 112707. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112707>
35. LIU, Conghu, et al. Decoupling of wastewater eco-environmental damage and China's economic development. Science of The Total Environment, 2021, vol. 789, p. 147980. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147980>
36. LUO, Lin, et al. Simultaneous nutrition removal and high-efficiency biomass and lipid accumulation by microalgae using anaerobic digested effluent from cattle manure combined with municipal wastewater. Biotechnology for biofuels, 2019,

vol. 12, no 1, p. 1-15. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1553-1>

37. MA, Chao, et al. Molasses wastewater treatment and lipid production at low temperature conditions by a microalgal mutant *Scenedesmus* sp. Z-4. *Biotechnology for biofuels*, 2017, vol. 10, no 1, p. 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0797-x>
38. MAKHOUL, Nisrine, et al. A comparative study of buried pipeline fragilities using the seismic damage to the Byblos wastewater network. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2020, vol. 51, p. 101775. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101775>
39. MANCHANDA, T., et al. Power Generation by Algal Microbial Fuel Cell Along with Simultaneous Treatment of Sugar Industry Wastewater. *J Bioprocess Biotech* 8: 323. doi: 10.4172/2155-9821.1000323 Page 2 of 5 *J Bioprocess Biotech*, an open access journal ISSN: 2155-9821 Volume 8• Issue 3• 1000323. Figure, 2018, vol. 2, p. 3. Disponible en: <https://doi.org/10.4172/2155-9821.1000323>
40. MARELLA, Thomas Kiran, et al. Biodiesel production through algal cultivation in urban wastewater using algal floway. *Bioresource technology*, 2019, vol. 280, p. 222-228. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.031>
41. MARTINEZ-HERNANDEZ, Elias; 9.17 - Life Cycle Analysis of Renewable Energy. *Comprehensive Renewable Energy (Second Edition)*. vol 9, 2022, pag 234-246. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819727-1.00016-9>
42. MAURER, Hansruedi, et al. Optimized experimental design in the context of seismic full waveform inversion and seismic waveform imaging. *En Advances in geophysics*. Elsevier, 2017. p. 1-45. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.agph.2017.10.001>
43. MOHAMED, Samsudeen Naina, et al. Bioelectricity production from kitchen wastewater using microbial fuel cell with photosynthetic algal cathode. *Bioresource technology*, 2020, vol. 295, p. 122226. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122226>

44. NAYAK, Jagdeep Kumar, et al. Microalgal remediation of anaerobic pretreated pharmaceutical wastewater for sustainable biodiesel production and electricity generation. *Journal of Water Process Engineering*, 2020, vol. 35, p. 101192. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101192>
45. NGUYEN, Hai TH; KAKARLA, Ramesh; MIN, Booki. Algae cathode microbial fuel cells for electricity generation and nutrient removal from landfill leachate wastewater. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, vol. 42, no 49, p. 29433-29442. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.011>
46. NIIZAWA, Ignacio, et al. Astaxanthin production by autotrophic cultivation of *Haematococcus pluvialis*: A success story. En *Global Perspectives on Astaxanthin*. Academic Press, 2021. p. 71-89. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823304-7.00005-2>
47. NI, Bing-Jie, et al. Ferrate effectively removes antibiotic resistance genes from wastewater through combined effect of microbial DNA damage and coagulation. *Water research*, 2020, vol. 185, p. 116273. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116273>
48. OLDS, Hayley T., et al. High levels of sewage contamination released from urban areas after storm events: A quantitative survey with sewage specific bacterial indicators. *PLoS medicine*, 2018, vol. 15, no 7, p. e1002614. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002614>
49. PANDEY, Ashutosh; SRIVASTAVA, Sameer; KUMAR, Sanjay. Isolation, screening and comprehensive characterization of candidate microalgae for biofuel feedstock production and dairy effluent treatment: a sustainable approach. *Bioresource Technology*, 2019, vol. 293, p. 121998. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121998>
50. PIRBAZARI, S. M., et al. Experimental studies on high-quality bio-oil production via pyrolysis of *Azolla* by the use of a three metallic/modified pyrochar catalyst. *Bioresource Technology*, 2019, vol. 291, p. 121802. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121802>

51. POSADAS, E., et al. Microalgae cultivation in wastewater. En Microalgae-based biofuels and bioproducts. Woodhead Publishing, 2017. p. 67-91. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101023-5.00003-0>
52. QAZI, Atika, et al. Towards sustainable energy: a systematic review of renewable energy sources, technologies, and public opinions. IEEE access, 2019, vol. 7, p. 63837-63851. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906402>
53. QU, Fanqi, et al. Nitrogen ion beam implantation for enhanced lipid accumulation of *Scenedesmus obliquus* in municipal wastewater. Biomass and Bioenergy, 2020, vol. 134, p. 105483. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105483>
54. RATHOUR, Rohit, et al. Treatment of various types of wastewaters using microbial fuel cell systems. En Microbial electrochemical technology. Elsevier, 2019. p. 665-692. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64052-9.00027-3>
55. ROSALES-AYALA, Francisco; CAMPOS-RODRÍGUEZ, Roel. Wastewater management for the city of la Libertad, El Salvador. Revista Tecnología en Marcha, 2019, vol. 32, no 2, p. 43-53. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v32i2.4348>.
56. SHAKIR, Eman; ZAHRAW, Zahraa; AL-OBAIDY, Abdul Hameed MJ. Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. Egyptian Journal of Petroleum, 2017, vol. 26, no 1, p. 95-102. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.01.003>
57. SHARMA, Pooja, et al. In-situ toxicity assessment of pulp and paper industry wastewater on *Trigonella foenum-graecum* L: Potential source of cytotoxicity and chromosomal damage. Environmental Technology & Innovation, 2021, vol. 21, p. 101251. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101251>
58. SHEN, Tianlin, et al. Long-term effects of untreated wastewater on soil bacterial communities. Science of the Total Environment, 2019, vol. 646, p. 940-950. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.223>


59. SIEGMEIER, Torsten; BLUMENSTEIN, Benjamin; MÖLLER, Detlev. Bioenergy production and organic agriculture. En Organic Farming. Woodhead Publishing, 2019. p. 331-359. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813272-2.00012-4>
60. SPARN, Bethany; HUNSBERGER, Randolph. Opportunities and challenges for water and wastewater industries to provide exchangeable services. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.2172/1227107>
61. STARK, Jonathan S., et al. The environmental impact of sewage and wastewater outfalls in Antarctica: An example from Davis station, East Antarctica. Water research, 2016, vol. 105, p. 602-614. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.09.026>
62. SUDHAKAR, K., et al. An overview of marine macroalgae as bioresource. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, vol. 91, p. 165-179. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.100>
63. TAN, Jia Sen, et al. A review on microalgae cultivation and harvesting, and their biomass extraction processing using ionic liquids. Bioengineered, 2020, vol. 11, no 1, p. 116-129. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/21655979.2020.1711626>
64. TOLEDO-LÓPEZ, Virginia; TITTOR, Anne. Contradictions Regarding Innovations and Certifications in the Bioenergy Sector in Argentina. Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales, 2019, no 26, p. 87-110. Disponible en: <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.26.2019.3896>.
65. TONGESAYI, S.; TONGESAYI, T. Water quality and public health: Role of wastewater. En Chemistry and Water. Elsevier, 2017. p. 553-596. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809330-6.00017-9>
66. VOLLERTSEN, Jes; HANSEN, Aviaja Anna. Microplastic in Danish wastewater: Sources, occurrences and fate. 2017. ISBN (Print)978-87-93529-44-1

67. WANG, Fang, et al. Occurrence and distribution of microplastics in domestic, industrial, agricultural and aquacultural wastewater sources: A case study in Changzhou, China. *Water Research*, 2020, vol. 182, p. 115956. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115956>
68. WANG, Shuang, et al. Microalgae harvest influences the energy recovery: a case study on chemical flocculation of *Scenedesmus obliquus* for biodiesel and crude bio-oil production. *Bioresource technology*, 2019, vol. 286, p. 121371. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121371>
69. WANG, Yi-Ning; WANG, Rong. Reverse osmosis membrane separation technology. En *Membrane separation principles and applications*. Elsevier, 2019. p. 1-45. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812815-2.00001-6>
70. WEAR, Stephanie L., et al. Sewage pollution, declining ecosystem health, and cross-sector collaboration. *Biological Conservation*, 2021, vol. 255, p. 109010. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109010>
71. WU, Jane-Yii, et al. Lipid accumulating microalgae cultivation in textile wastewater: Environmental parameters optimization. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2017, vol. 79, p. 1-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.02.017>
72. YANG, Zhigang, et al. Algal biofilm-assisted microbial fuel cell to enhance domestic wastewater treatment: nutrient, organics removal and bioenergy production. *Chemical Engineering Journal*, 2018, vol. 332, p. 277-285. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.09.096>
73. YE, Sisi, et al. Simultaneous wastewater treatment and lipid production by *Scenedesmus* sp. HXY2. *Bioresource technology*, 2020, vol. 302, p. 122903. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122903>
74. YOU, Siming, et al. A critical review on sustainable biochar system through gasification: energy and environmental applications. *Bioresource technology*, 2017, vol. 246, p. 242-253. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.177>

75. ZAMANPOUR, Morvarid Khazraee; KARIMINIA, Hamid-Reza; VOSOUGHI, Manouchehr. Electricity generation, desalination and microalgae cultivation in a biocathode-microbial desalination cell. *Journal of environmental chemical engineering*, 2017, vol. 5, no 1, p. 843-848. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.045>
76. ZHOU, Weizheng, et al. Cultivation of microalgae *Chlorella zofingiensis* on municipal wastewater and biogas slurry towards bioenergy. *Journal of bioscience and bioengineering*, 2018, vol. 126, no 5, p. 644-648. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2018.05.006>

ANEXOS

Anexo 1. Instrumento de recolección de datos

| | | |
|---|---|-----------------------------|
|  Universidad César Vallejo | FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO | |
| DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S) | | |
| PÁGINAS UTILIZADAS | AÑO DE PUBLICACIÓN | LUGAR DE PUBLICACIÓN |
| TIPO DE INVESTIGACIÓN: | | |
| CÓDIGO: | | |
| PALABRAS CLAVES: | | |
| TIPO DE AGUAS RESIDUALES: | | |
| TIPO DE MICROALGA: | | |
| POTENCIAL PRODUCCIÓN ELECTRICIDAD: | DE DE | |
| RESULTADOS: | | |
| CONCLUSIONES: | | |