



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tratamiento de aguas residuales textiles usando *Chlorella sp* y
mejoramiento del contenido de lípidos y biomasa. Revisión
Sistemática 2022

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTORES:

Cruz Rodriguez, Nilhser Alfredo (orcid.org/0000-0002-6041-2141)

Haro Pizango, Winiver Lucy (orcid.org/0000-0003-1635-1019)

ASESOR:

Mg. Silva Chuquipoma, Diego Honorato (orcid.org/0000-0001-9561-087X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

Dedicatoria

Primeramente, a Dios por haberme dado salud, a mi familia por todo el apoyo brindado, las ganas para poder culminar la tesis y por último dedicármelo a mí por haber alcanzado un objetivo propuesto en mi vida y por seguir con más objetivos.

Cruz Rodriguez, A.

A Dios, por haberme otorgado unos padres maravillosos, quienes me dieron vida, educación y sobre todo consejos, ellos son quienes me dieron grandes enseñanzas, inculcando buenos valores y no rendirme tan fácilmente. A mi hermana Cecilia, quien estuvo dándome aliento de superación y a la vez, fuerza en cada momento de mi vida para no rendirme.

Haro Pizango, W.

Agradecimiento

A Dios, por haberme dado las fuerzas necesarias para culminar este trabajo. A mi familia por alentarme cada día más a mejorar en lo que hago. A mi hermano JuanCarlos y cuñada Amparo por el apoyo brindado durante mi vida Universitaria. Por último, a los docentes que ayudaron a realizar esta tesis la Mg.Cabello Torres Rita y Mg. Silva Chuquipoma, Diego.

Cruz Rodriguez, A.

A Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar y obtener uno de los anhelos más deseados. A mis padres, Manuel y Gregoria, por confiar y creer en mí en cada momento. A mis hermanos Roberto, Ruben y Cecilia, por estar siempre presentes, y por el apoyo moral que me brindaron a lo largo de mi vida universitaria. De igual manera, mi agradecimiento a mis docentes, quienes, con la enseñanza de sus valiosos conocimientos, hicieron que pueda crecer día a día como profesional.

Haro Pizango, W.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	30
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	30
3.1.1. Tipo de investigación:.....	30
3.1.2. Diseño de la investigación:.....	30
3.2. Categoría, Subcategorías y matriz de categorización.....	30
3.3. Escenario de estudio.....	30
3.4. Participantes.....	31
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	31
3.6. Procedimiento.....	32
3.7. Rigor científico.....	34
3.8. Método de análisis de datos.....	35
3.9. Aspectos éticos.....	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
V. CONCLUSIONES	50
VI. RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS	52
ANEXOS	63

Índice de tablas

Tabla 1. Eficiencia de eliminación de contaminantes de microalga <i>Chlorella Vulgaris</i> en aguas residuales de industria textil.....	4
Tabla 2. Resultados de parámetros luego del procesamiento de las aguas residuales textiles con la microalga <i>Chlorella Vulgaris</i>	6
Tabla 3. Composición bioquímica y elemental de la <i>Chlorella vulgaris</i> extraídos con lípidos.	9
Tabla 4. Tipo de <i>Chlorella</i> con sus condiciones de operación.	17
Tabla 5. Características de condiciones iniciales de los tipos de agua residual.....	20
Tabla 6. Características de las aguas residuales textiles según diferentes autores	21
Tabla 7. Clasificación de colorantes por estructura química.	23
Tabla 8. Clasificación de colorantes por método de aplicación.....	23
Tabla 9. Criterios de inclusión	32
Tabla 10. Palabras claves que se usan para la búsqueda de información.....	32
Tabla 11. Especie <i>Chlorella</i> sp más usada tratamiento de aguas residuales textiles.	36
Tabla 12. Tipos de reactores (nivel de laboratorio) utilizados en el tratamiento de aguas residuales textiles utilizando <i>Chlorella</i> sp y mejora del contenido de lípidos y biomasa... ..	40
Tabla 13. Condiciones de operación más eficientes para el uso de <i>Chlorella</i> sp en aguas residuales textiles.....	45
Tabla 14: Matriz de Categorización	63

Índice de figuras

Figura 1. Diferentes tipos de microalgas usadas en el tratamiento de aguas residuales.	12
Figura 2. Sistema normal de un aminoácido.	13
Figura 3. Microalga <i>Chlorella</i> sp.	15
Figura 4. Microalga <i>Chlorella Vulgaris</i> .	15
Figura 5. Microalga <i>Chlorella Pyrenoidosa</i> .	16
Figura 6. <i>Chlorella Minutissima</i> obtenida durante el proceso de cultivo y observado en un microscopio óptico.	16
Figura 7. Metabolismo de las microalgas.	19
Figura 8. Tratamiento a base de microalgas de tintura textil y producción simultánea de biomasa para la producción de biocombustibles/bioelectricidad.	22
Figura 9. Estructuras química de los colorantes	24
Figura 10. Estructura química del colorante reactivo rojo 3, Clase Azo.	24
Figura 11. Estructura química del colorante reactivo azul 19, Clase Antraquinonas.	24
Figura 12. Estanque de raceway utilizado para el cultivo de la microalga <i>Chlorella Minutissima</i> .	25
Figura 13. Biorreactor de membrana anaeróbica.	26
Figura 14. Fotobiorreactor tubular de columna de burbujas diseñado.	27
Figura 15. Diseño de un biorreactor tubular horizontal.	27
Figura 16. Diseño de un reactor tubular de lecho fijo.	28
Figura 17. Lugares donde se ejecutan los estudios.	33
Figura 18. Porcentaje de microalga especie <i>Chlorella</i> más usada.	39
Figura 19. Porcentaje de tipo de reactores usados para tratamiento de aguas residuales textiles utilizando <i>Chlorella sp</i> y mejora del contenido de lípidos y biomasa.	44

Resumen

La investigación tuvo como objetivo explicar la eficacia del tratamiento de aguas residuales textiles usando *Chlorella sp* y mejoramiento del contenido de lípidos y biomasa. La metodología fue una revisión sistemática de los artículos de los años 2018 - 2022 en inglés consultadas en la base de datos de Scopus, Sience Direct, WoS, Springer donde para los artículos que más se centran en aguas residuales textiles que son un total de 15 que son los que se tomaron en cuenta para la realización de los resultados. Los resultados mostraron que la microalga *Chlorella Vulgaris* tuvo una eficiencia en eliminación de DQO del agua residual el $99.7\pm 4,2\%$, para Nitrógeno y Fósforo la remoción fue de 95.7% . Por otro lado, el reactor más empleado fue el matraz Erlenmeyer en cámara de crecimiento con *Chlorella Vulgaris* eficacia de eliminación DQO 74% , metales (Pb, Cd, Cr y Cu) 93% , color 70% , biomasa $0,902\text{ g/l/d}$. Por último, las condiciones operación Tiempo 25 días, Temperatura $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, pH 6.5, Iluminación con 4 tubos de luz (40 W) durante 16h y se agito de 4-5 veces al día, eliminación DQO 24% , DBO $75,5\%$, Nitratos $68,86\%$ y Fosfatos $28,00\%$, para biomasa y lípidos Biomasa $3,78 \pm 0,53\text{ mg/l/d}$. Se concluye que el utilizar la microalga *Chlorella* de muestra una eficiencia significativa del $99,8\%$ en el tratamiento de aguas residuales textiles, además que a partir de ello genera su biomasa y lípidos.

Palabras clave: Microalga *Chlorella*, agua residual textil, producción de biomasay lípidos.

Abstract

The objective of the research was to explain the efficacy of textile wastewater treatment with *Chlorella* sp and the improvement of lipid and biomass content. The methodology was a systematic review of the articles from the years 2018 - 2022 in English consulted in the Scopus, Science Direct, WoS, Springer database where for the articles that most focus on textile wastewater there are a total of 15 that are those that were taken into account for the realization of the results. The results showed that the *Chlorella Vulgaris* microalga had an efficiency in the removal of COD from wastewater of $99.7 \pm 4.2\%$, for Nitrogen and Phosphorus the removal was 95.7%. On the other hand, the most used reactor was the Erlenmeyer flask in a growth chamber with *Chlorella Vulgaris*, COD removal efficiency 74%, metals (Pb, Cd, Cr and Cu) 93%, color 70%, biomass 0.902 g/l . . . /d. Finally, the operating conditions Time 25 days, Temperature $25 \pm 2^\circ\text{C}$, pH 6.5, Lighting with 4 light tubes (40 W) for 16h and shaking 4-5 times a day, COD Elimination 24%, BOD 75 0.5%, Nitrates 68.86% and Phosphates 28.00%, for biomass and lipids Biomass 3.78 ± 0.53 mg/l/d. It is concluded that the use of the *Chlorella* microalga shows a significant efficiency of 99.8% in the treatment of textile wastewater, in addition to generating its biomass and lipids from it.

Keywords: *Chlorella* microalgae, textile wastewater, biomass, lipids.

I. INTRODUCCIÓN

La industria que más agua consume en su etapa de procesamiento es la industria textil y que también es la que más aguas residuales desecha (Fazal et al., 2019, p.1).

En la India se usa alrededor de 45 a 60L de agua para producir solamente un kilogramo de tela, por lo cual es mucho el desecho de aguas residuales (Subashini & Rajiv, 2018, p.1). En el Perú una industria en Arequipa consume 100L de agua por kilogramo de tela teñida (Guillen, et al., 2020, p.2). Por otra parte, se dice que entre el 10% y 20% de los colorantes reactivos y solubles son desechados como efluentes al medio ambiente (Mamun et al., 2019, p.1).

El contenido de los efluentes de la industria textil tiene consigo contaminantes tóxicos, colorantes, compuestos orgánicos, DBO₅, DQO y diversas sales contaminantes (Brar et al., 2018, p.2; Fazal et al., 2018, p.1). Tanto así, dichas aguas residuales que acostumbran enriquecerse en nutrientes, como el nitrógeno y fósforo, se han valorado recientemente como probables biorrecursos que tienen la probabilidad de ser utilizados para modificar la percepción hacia el término de bioeconomía circular (Purba et al., 2022, p. 1). Aproximadamente el 15-20% de la concentración inicial de los colorantes que son aplicadas en el proceso de teñido textil, finaliza en los canales de los ríos, lagos, etc y su liberación directa a los cuerpos de agua produce inconvenientes del medio ambiente (Ruscasso et al., 2021).

A lo largo de dichos tratamientos biológicos, los contaminantes tienen la posibilidad de ser metabolizados por los microorganismos por actitudes bioquímicas redox, además tienen la posibilidad de implantar actitudes de hidroxilación, hidrólisis, deshalogenación y desalquilación (Vacca et al., 2019., p.2). El uso de hongos, bacterias, algas, como tratamientos biológicos son las alternativas más eficientes y rentables, que eliminan los contaminantes de manera eficiente y sostenible para aguas residuales de la industria textil (Mubashar et al., 2020 p. 1).

Las microalgas es un buen reemplazo, ya que es conveniente para los cultivos de tierra, entre ellos, está la materia prima para biocombustibles, y esto se debe a la

biomasa de la microalga que produce gases de efecto invernadero menores que los convencionales y la mayor eficiencia fotosintética, ocupación mínima terrestres para plantaciones (Wu et al., 2020, p.1). Al cultivar la microalga tiene la posibilidad de ofrecer una solución viable, como elección eficaz de procedimiento para tratar las aguas residuales textiles (Ge et al., 2018, p.2). Además, la microalga se puede cultivar en diferentes condiciones tanto en pH, temperatura, salinidad variada lo cual lo hace muy eficiente en el procesamiento de aguas con características difíciles de tratar (Nagarajan et al., 2020, p.3).

Existen estudios sobre la productividad de biomasa de algas en aguas residuales pretratadas (Ali et al., 2021, p.2). También se estudió en aguas residuales lácteas (Kamyab et al., 2019, p.2). Por otra parte, también se han dedicado al poder que tiene en eliminación de contaminantes (Koul, 2022, p.3).

En consecuencia, han quedado aspectos sin tratar, tales como: Explorar las vías potenciales para la valorización de la biomasa e identificar las aplicaciones que no se limitan a la producción de biocombustibles y bioenergía (Premaratne et al., 2021, p.9). Además, son limitadas las investigaciones donde se evalúe los métodos que se usan en el procesamiento de efluentes textiles reales y artificiales, la eficiencia en reducción de cada tinte textil por separado y mezclado, por último, en los contaminantes metálicos en los efluentes y qué métodos se utilizan (Yaseen, 2019, p.31). Es importante integrar en las revisiones la viabilidad de sociedades de microalgas más bacterias en el proceso de aguas contaminadas que contienen colorantes (Premaratne et al., 2021, p.5).

Estos temas sin tratar, lo que se espera es que continúen con las investigaciones con el fin de poder cubrir todos los vacíos existentes. Por lo tanto, se necesitan más investigaciones con referencia al poder que tiene la microalga verde *Chlorella* para el tratamiento de agua y distintos usos.

Esta investigación tuvo por finalidad abordar en parte ese gran vacío existente como el caso de ver como las microalgas actúan en las aguas residuales textiles y a su vez hay un crecimiento en biomasa y lípidos.

La investigación se justifica de manera económica, debido a que es un proyecto de revisión sistemática no es necesario un trabajo de campo, solo se hará un análisis de artículos experimentales de manera que evaluaremos la eficacia de aquellas microalgas para tratamiento de aguas residuales textiles. Asimismo, se justifica ambientalmente porque se da a conocer la forma del procesamiento de aguas residuales textiles con microalgas disminuyendo los impactos ambientales, que en la forma de tratamiento convencional. De igual manera justificación social dar a conocer a la población de los beneficios de las microalgas especialmente *Chlorella sp* y la manera de percibir a las empresas textiles ya que con esta especie pueden reducir sus costes de operación. Finalmente, la justificación metodológica como es un estudio de revisión, se hará una búsqueda de trabajos ya experimentales y de revisión sistemática sobre el tema de interés en las fuentes de mayor categoría con la finalidad de aportar a futuras investigaciones.

Debido a que el tratamiento con *Chlorella sp* tiene diversos componentes, metodologías e interacciones con factores externos se plantea como pregunta general: ¿Qué tan eficiente es el tratamiento de aguas residuales textiles usando *Chlorella sp* y mejoramiento del contenido de lípidos y biomasa? y como preguntas específicas: ¿Qué tipo de especies de *Chlorella sp* son más usadas para el tratamiento de aguas residuales textiles?; ¿Qué tipos de reactores (nivel de laboratorio) se emplean para el tratamiento de aguas residuales textiles utilizando *Chlorella sp* y mejora del contenido de lípidos y biomasa?; ¿Cuáles son las condiciones de operación más eficientes para el uso de la microalga *Chlorella sp* en el tratamiento de aguas residuales textiles? Además, como objetivo general: Explicar la eficacia del tratamiento de aguas residuales textiles usando *Chlorella sp* y mejoramiento del contenido de lípidos y biomasa, y como objetivos específicos: Especificar el tipo de especies de *Chlorella sp* son más usadas para el tratamiento de aguas residuales textiles; Comparar los tipos de reactores (nivel de laboratorio) se emplean para el tratamiento de aguas residuales textiles utilizando *Chlorella sp* y mejora del contenido de lípidos y biomasa; Describir las condiciones de operación más eficientes para el uso de *Chlorella sp* en aguas residuales textiles.

II. MARCO TEÓRICO

Estudios publicados relacionado con el tema de investigación, Mubashar et al., (2020, p.3-11) analizo a la microalga *Chlorella vulgaris* en una bacteria *Enterobacter* sp, adicionando MN17 en el cultivo con la finalidad de eliminar los metales pesados (Cromo, Cadmio, Cobre y Plomo), DQO y disminuir los tintes que se encuentran en los efluentes textiles. Analizaron 3 muestras diluidas para el posterior cultivo de microalga, revelando un incremento notable de la microalgas *Chlorella Vulgaris* con buenos resultados en la eliminación verdadero de color, metales y otros contaminantes de las aguas residuales a un 58% en la dilución del 5% que incremento al 79%, además se lograron eficiencias de remoción significativas para todos los metales pesados (Pb, Cd, Cr y Cu), logrando una eliminación máxima del 59% en la misma dilución del 5% que incremento al 93% por dicha microalgas.

Tabla 1. Eficiencia de eliminación de contaminantes de microalga *Chlorella Vulgaris* en aguas residuales de industria textil.

Parámetros	Nivel de dilución	Control	Eficiencia de eliminación
Cromo (Cr)	5%	1.32 mg/l	79%
	10%	1.79 mg/l	71%
	20%	2.02 mg/l	62%
Cadmio (Cd)	5%	0.76 mg/l	93%
	10%	0.91 mg/l	53%
	20%	1.08 mg/l	37%
Cobre (Cu)	5%	1.33 mg/l	72%
	10%	1.49 mg/l	62%
	20%	1.88 mg/l	60%
Plomo (Pb)	5%	1.21 mg/l	79%
	10%	1.41 mg/l	70%
	20%	1.58 mg/l	63%
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	5%	755 mg/l	74%
	10%	820 mg/l	53%
	20%	871 mg/l	38%

Fuente: Mubashar et al. (2020, p.3-11)

Subashini et al. (2018, p.2-7) estudió el desarrollo de *chlorella vulgaris* cultivada en aguas residuales textiles, trabajaron con 4 muestras de 15%, 30%, 45% y 60% respectivamente durante 28 días, de los cuales hubo resultados efectivos alcanzado un porcentaje exitoso, en la muestra de la dilución de 15% hubo un aumento de eliminación de DBO logrando reducir de 782 mg/l a 121 mg/l, por otro lado, la variación de pH de neutro (6,25) a básico (8,63) esto fue gracias a la fotosíntesis de la microalga que disminuyó la concentración de CO₂ disuelto (día 20). Asimismo, la reducción de TDS de 4923 mg/l a 753 mg/l gracias al singular mecanismo de biosorción por *Chlorella vulgaris* (día 23), otro resultado efectivo de la dureza total de 1054 mg/L a 368 mg/L fue por la habilidad a la precipitación de CaCO₃ por la microalga para su crecimiento (Día 24). Por último, la captación de nitrógeno amoniacal de aguas residuales textiles 10 mg/L a 5,86 mg/L se hizo por medio de su desarrollo de desnitrificación por *C. vulgaris* (día 25), al igual que el magnesio disminuyó de 87 mg/L a 30 mg/l.

Tabla 2. Resultados de parámetros luego del procesamiento de las aguas residuales textiles con la microalga *Chlorella Vulgaris*.

Parámetros	Condición inicial de contaminación del efluente	Nivel de dilución	Día 7	Día 14	Día 28	Eliminación final del efluente tratado
pH	6.25 ± 0.16	60% 45% 30% 15%	6,90 ± 0,13 7,21 ± 0,16 7,92 ± 0,22 8,21 ± 0,15	6,95 ± 0,05 7,46 ± 0,17 8,12 ± 0,14 8,33 ± 0,11	7,52 ± 0,13 7,83 ± 0,18 8,38 ± 0,22 8,63 ± 0,20	8.63 ± 0.20
Conductividad eléctrica (dS/m)	11.08 ± 0.05 mg/L	60% 45% 30% 15%	9.12±0.09 mg/l 7.22±0.16 mg/l 5.26±0.14 mg/l 3.03±0.13 mg/l	9.05±0.10 mg/L 7.08±0.11 mg/L 4.94±0.15 mg/L 2.68±0.19 mg/L	9.00±0.07 mg/l 6.74±0.10 mg/l 4.37±0.16 mg/l 1.84±0.17 mg/l	1,84±0,17 mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	782 ± 8.02 mg/l	60% 45% 30% 15%	711±11.93 mg/l 663±9.90 mg/l 620±8.14 mg/l 574±10.10 mg/l	666±10.65 mg/l 577±13.89 mg/l 501±8.38 mg/l	566±13.65 mg/l 419±15.02 mg/l 268±10.69 mg/l	121±8,50 mg/l

				426±12.42 mg/l	121±8.50 mg/l	
Demanda química de oxígeno (DQO)	1700±11.53 mg/L	60% 45% 30% 15%	1582±10.81 mg/l 1480±6.42 mg/l 1379±5.50 mg/l 1268±7 mg/l	1491±6.35 mg/l 1315±7.21 mg/l 1137±6.08 mg/l 923±5.50 mg/l	1297±5.85 mg/l 976±6.80 mg/l 624±8.71 mg/l 243±4.35 mg/l	243±4,35 mg/l
Sólidos totales (ST)	5483±12.58	60% 45% 30% 15%	5170±7 mg/l 4857±10.40 mg/l 4466±10.01 mg/l 4055±10.58 mg/l	5038±7.81 mg/l 4449±9.16 mg/l 3796±8.38 mg/l 3114±10.81 mg/l	4776±7.37 mg/l 3620±10.96 mg/l 2431±8.50 mg/l 1209±6.65 mg/l	1209±6,65 mg/l
Sólidos disueltos totales (SDT)	4923±8.96 mg/l	60% 45% 30% 15%	4584±6.65 mg/l 4309±7.57 mg/l 3694±5.68 mg/l 3528±5.50 mg/l	4484±6.55 mg/l 4003±7.21 mg/l 3389±6.42 mg/l 2600±7.51 mg/l	4273±5.29 mg/l 3377±8.14 mg/l 2222±7.09 mg/l 753±6.42 mg/l	753±6.42 mg/l

Fuente: Subashini et al. (2018, p.2-7)

Chin et al. (2020, p.3-9), analizó la eficiencia de *Chlorella Vulgaris* para así reducir de colorantes como methylene blue (+) y acid Orange (-). Con respecto al azul de metileno, la eliminación fue de $83,04 \pm 2,94\%$ con una concentración de 100 mg/l, al cabo de 3 días. Mientras que en naranja ácido no se logró ninguna eficacia en su eliminación. Además, en 1 semana de adsorción analizaron la biomasa de la microalga en los cuales verificaron que tenía una cantidad muy alta, donde los carbohidratos y clorofila tenía entre $46,65 \pm 2,6$ mg/l y $247,31 \pm 17,88$ mg/l.

Ge et al. (2018, p.2-9) estudio el aumento y la remoción de nutrientes por proceso de transesterificación de lípidos de *Chlorella Vulgaris*, obteniendo como resultados el incremento mayor para la biomasa (0.72 ± 0.01 g/l) y obtuvo la cantidad más alta de clorofila ($14,2 \pm 0,1$ µg/ml) y carotenoide ($12,9 \pm 0,4$ µg/ml). Por otro lado, su involucró la alimentación de glicerol y en la final etapa de desarrollo exponencial se produjo las productividades más elevadas de biomasa (0.070 ± 0.001 g/l/d) y lípidos (20.4 ± 3.4 mg/l/d), ya que tuvo mucho que ver el metabolismo tanto autótrofos como heterótrofos, lo que ayudó los beneficios de la biomasa.

Majhi et al. (2021, p.2-4) analizo a la *Chlorella Pyrenoidosa* para la remediación de aguas residuales textiles y utilizó 2 métodos: biomasa de algas libre y biomasa de algas inmovilizadas. Su hipótesis fue analizar la eficiencia que tiene la biomasa de algas autónomas y paralizadas, y así sean compensadas de las aguas contaminadas por tintes textiles y de otras aguas residuales que contienen nitrato, DBO₅, DQO y fosfatos. El proceso se evaluó antes y después del tratamiento con un pH de 8. Se demostró que el tratamiento fue más efectivo con biomasa de microalgas inmovilizadas dando como resultados fueron, nitrato 46,7%, fosfato 59,4%, DBO₅ 83,1% y DQO 83,0% a comparación con biomasa de algas libre, nitrato 43,2%, fosfato 56,7%, DBO₅ 71,4%, DQO 78,0%.

Delfau et al. (2022, p.5-6), estudió la potencialidad de la *Chlorella Vulgaris*, determinando la estructura de biomasa, de lo cual los resultados tuvieron fueron exitosos en las proteínas al $40,1 \pm 5,3$ % (p/p de biomasa seca), con respecto a ácidos grasos residuales y cenizas, con resultados de $0,34 \pm 0,02$ % y $11,2 \pm 0,1$ % (p/p de biomasa seca), respectivamente. Los carbohidratos reductores componían

en torno al $15,6 \pm 2,1\%$ de la biomasa seca. De lo cual, la biomasa que se obtuvo de lípidos de algas verdes enseñó altas porciones de carbono total y nitrógeno, representando el $34,9 \pm 0,4\%$ y $7,8 \pm 0,2\%$, respectivamente.

Tabla 3. Composición bioquímica y elemental de la *Chlorella vulgaris* extraídos con lípidos.

Compuestos bioquímicos	Contenido
Proteínas (mg/L)	$40,1 \pm 5,3$
Reducir los carbohidratos (mg/L)	$15,6 \pm 2,1$
Ácidos grasos (mg/L)	$0,34 \pm 0,02$
Carbono total (mg/L)	$34,9 \pm 0,4$
Nitrógeno total (mg/L)	$7,8 \pm 0,2$

Fuente: Delfau et al. (2022, p.5-6.)

Premaratne et al. (2021, p.3) estudio a microalga *Chlorella sp* para la biorremediación de aguas residuales textiles, revelando resultados efectivos en decoloración, demostrando un 89,3 % de eliminación de tinte índigo, 79 % de exclusión de azul directo, 75,3 % de expulsión de naranja brillante remazol y 72,5 % de eliminación de cristal violeta, del mismo modo, dicha microalga se paralizó en alginato de sodio revelando un aumento en el crecimiento de biomasa, eliminando el DQO (75%) y la expulsión de amonio (90%) de eficiencia.

Asimismo, Shin et al. (2018, p.7-8) estudiaron una cepa vigorosa al colorante diazo de *Chlorella pyrenoidosa* con la finalidad de conseguir una decoloración que sea eficiente para las aguas residuales textiles que se basa en Direct Red 31 (DR-31), por medio de un procedimiento constante, realizado a un pH óptimo de 3. Estos mecanismos de decoloración del tinte se llevaron a cabo en una instantánea biosorción y biodegradación gracias a la actividad de la enzima azoreductasa. Asimismo, el procedimiento tuvo triunfo en conseguir alta eficacia de supresión significativas de DQO (87,0 %), sólidos disueltos totales (TDS) (93,91 %), cloruro (97,23 %), alcalinidad (94,87 %) y sulfato (56,06 %). La tolerancia de dicha

microalga que fue usada al tinte y las condiciones de bajo pH ha sido fundamental en el proceso dando buenos resultados.

Oyebamiji et al. (2020, p.5-4), analizaron las aguas residuales textiles de mayor resistencia tratándolo con la microalga *Chlorella pyrenoidosa*, lo diluyeron al 2% y hasta redujeron su porcentaje para mirar un incremento importante de la biomasa y la supresión de contaminantes de color y metales pesados, a pesar que la productividad de la biomasa ha sido superior a la concentración del 25% y del 50%, y el rendimiento al 75% no se observó severamente inhibida. Los resultados demostraron que la microalga es efectiva y se podría dar uso para la fitorremediación del 75 % de aguas residuales textiles, con una supresión de DBO, fosfato y nitrato del 63%, 87% y 82%, respectivamente.

Brar et al. (2018, p.9-11) evaluó a las microalgas *Chlorella pyrenoidosa* y *Chlorella vulgaris*, en aguas de efluentes textiles con el propósito de adquirir resultados eficientes para la fitorremediación y a la vez demostrar cuál de ambas microalgas es más eficiente obteniendo notables resultados de recuperación por parte de la *Chlorella pyrenoidosa* en el nitrógeno(nitrato) de aguas textiles con 85.06%. Asimismo, el nitrato se disminuyó significativamente en un 80% con el uso de *Chlorella vulgaris*, por otro lado, otro resultado importante es la disminución de cloruro del 44% al 61% por parte de la *Chlorella pyrenoidosa*, y el fosfato se eliminó del 100% del agua textil usando *Chlorella vulgaris*, concluyeron que ambas especies son eficiente e importantes reductoras de contaminantes de aguas textiles.

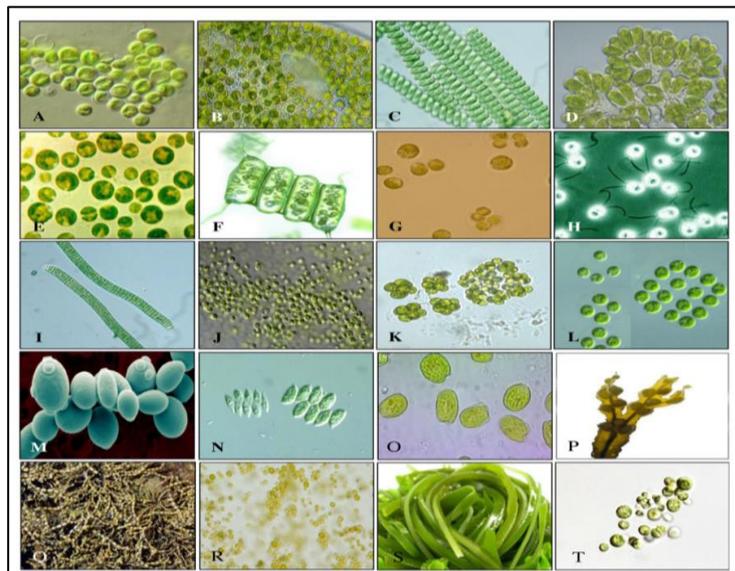
Yi et al. (2020, p.3-5), estudió a *Chlorella sp* y *Chlorella vulgaris* en aguas residuales textiles, demostrando que la *Chlorella vulgaris* Wu-G22 y *Chlorella sp.* Wu-G23, con solución de alginato al 3%. Los gránulos G22 y G23 se prepararon como gránulos de forma regular con un diámetro de aproximadamente 4,3 mm con densidades celulares intrapartículas de $2,84 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$ ($0,0104 \pm 0,006 \text{ g biomasa/g-perlas}$) y $3,58 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ ($0,0087 \pm 0,003 \text{ g-biomasa/g perlas}$), respectivamente. La efectividad de los gránulos de ambas microalgas fueron $602,3 \pm 63,8$ y $447,3 \pm 63,6$ g, respectivamente, del mismo modo la densidad intracelular de dichas microalgas incrementó de forma exitosa en $3,94 \pm 0,04$ y $4,89 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$, respectivamente,

al igual que la resistencia se incrementó de manera acelerada y exitosa en $805,9 \pm 11,6$ y $781,3 \pm 17,9$ g, respectivamente.

Dentro de las teorías relacionadas a nuestro tema tenemos los siguientes:

Las microalgas son organismos fotosintéticos con utilidades industriales en condiciones que integran la producción de biocombustibles, la captura de carbono, la obtención de proteínas y nutraceuticos y el procedimiento de aguas residuales, la gran capacidad para sintetizar triacilgliceroles (TAG), ácidos grasos poliinsaturados, antioxidantes y pigmentos es la base de las condiciones comerciales recientes (Baroni et al., 2019, p.4). Son especiales en remediar todo tipo de efluentes, por medio de la supresión de nitrógeno, fósforo y carbono de las aguas residuales, lo cual disminuye la eutrofización (Subashini et al., 2018).

Las microalgas son las mejores en secuestrar dióxido de carbono, ya sea en aguas de océano, aguas residuales industriales, sal, pantanos, aguas servidas y aguas residuales distintas por lo que se disminuye el impacto invernadero (Subashini et al., 2018).



A) *Chlorella vulgaris*; B) *Chlorella pyrenoidosa*; C) *Spirulina platensis*; D) *Botryococcus braunii*, E) *Chlorella variable*; F) *Scenedesmus oblicuo* G) *Diplosphaera sp. MM1*; H) *C. reinhardtii*; I) *Oscillatoria sp.*; J) *Nanocloropsis sp.* k) *Scenedesmus rubescens*, L) *Chlamydomonas reinhardtii*; M) *S. cerevisiae*; N) *Scenedesmus acutus*; O) *tetraselmis chuil*; T) *Scenedesmus sp.*

P)*Fucus vesiculosus*; Q)*Ascophyllum nudoso*; R)*Chlorella zofingiensis*;
S)*Laminaria japónica*; T)*Scenedesmus rubescens*.

Figura 1. Diferentes tipos de microalgas usadas en el tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Koul Sharma y Shah. (2021)

Las características de las microalgas son fundamentales en la producción primaria en la cadena trófica, que es paralelamente la primera formadora de materia orgánica. tienen un tamaño aproximadamente de entre 5 y 50 μm , lo cual las hace de forma fácil digeribles por varios organismos cuya primordial fuente alimenticia es el fitoplancton, tienen clorofila-a lo cual les da un aspecto verdoso parecido al de las plantas, por lo que requieren de la luz para realizarse y crear materia orgánica (Mubashar et al., 2020).

La temperatura del agua ideal para las microalgas está entre 20 y 30°C, para tener una mayor productividad de biomasa, mayor a esa temperatura puede afectar la eficiencia de la microalga (Peter et al., 2021, p.2).

Estas fases de aumento y desarrollo de microalgas permanecen ligadas a la vida de cultivos artificiales, con la finalidad de asimilar lo más cercanamente viable al ambiente natural, sin embargo, generan las condiciones para un cultivo calmado y servible. (Mubashar et al., 2020).

Las microalgas heterotróficas ofrecen un porcentaje propio del 20%, pero cuando el nitrógeno se transforma en el factor del crecimiento, se incrementa a más del 40% (Jimenez et al., 2021). Este tipo de microalga se utiliza en aguas residuales ricas en nutrientes las cuales son aprovechadas y la elaboración de biomasa y lípidos (Yap et al., 2021, p.8). Por otro lado, el tipo de crecimiento mixotrófico y fotótrofo son utilizados en aguas residuales con baja concentración de carbono y además tienen la capacidad de absorber el amonio y de enzimas nitrogenadas (DO et al., 2022, p.2).

La biomasa de microalgas se estima una materia prima conveniente para los biocombustibles, debido a que tiene aumento en el rendimiento y una semejanza con los cultivos de tierra logrando cultivar en terrenos marginales y así, evitando la capacidad con el alimento de cultivos para tierras, también nos indica que las

microalgas tienen la posibilidad de capturar hasta 1,83 kg CO₂-kg VS que puede ayudar a mitigar el cambio climático (Giménez et al., 2018).

Los pigmentos de las microalgas están conformados por compuestos coloridos causantes del procedimiento de fotosíntesis para la filtración y considerar algunas longitudes de onda de luz visible, también son conocidos por su obtención de pigmentos de elevado costo y compuestos bioactivos como la carotenoides, clorofilas y ficobiliproteínas (Kai Ru et al., 2020, p. 5).

Las proteínas son los elementos primordiales de la mayor parte de las microalgas, entre el 50-70% necesitan de la especie para el aumento, compostura y mantenimiento de las células, como es el tipo de proteína tienen la posibilidad de abarcar azufre, fósforo, hierro y cobre entre otros recursos, permanecen que sean compuestas por aminoácidos que son moléculas en donde un conjunto amino (-NH₂) y un conjunto carboxilo (-COOH) se incorporan a un carbono que contiene sus 2 valencias restantes a un hidrógeno (-H) y un conjunto que cambia y se llama radical (-R) (Hill et al., 2022). En las microalgas, alrededor del 20 % de las proteínas permanecen unidas a el muro celular, el 50 % se localizan en las células y el 30 % faltante migran una y otra vez dentro y fuera de la célula (kai Ru, et al., 2020, p. 8).

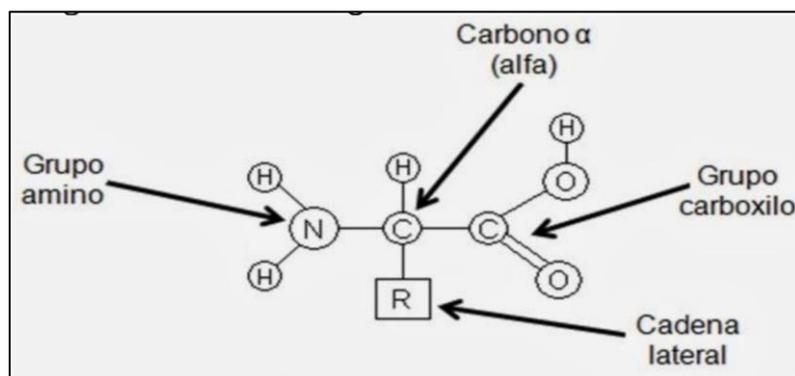


Figura 2. Sistema normal de un aminoácido.

Fuente: Hill et al. (2022)

Los lípidos tienen un papel importante en el metabolismo y el incremento de las microalgas al ejercer como reservorio de energía y carbono, estos elementos de los lípidos en las microalgas tienen la posibilidad de clasificarse en lípidos neutros y polares, es por eso que los lípidos polares, como los fosfolípidos y los glicolípidos provocados por los cloroplastos, sobresalen en el muro celular y membranas de los organelos, en lo que los lípidos neutros (mono-, di y triacilglicerol) se acumulan en los organelos celulares. El perfil lipídico de las microalgas es extenso, estando entre el 2 y el 77 % según las especies y el ambiente (Purba et al., 2022, p. 10; Dragone, 2022).

Los carbohidratos, así como el almidón, la glucosa, la sacarosa y los polisacáridos se aplican típicamente como provisión de energía y carbono en las microalgas (Kai Ru et al., 2020, p. 8). Los polisacáridos que más abundan son el almidón, que se compone por amilosa y amilopectina, continuo del polisacárido celulosa del muro celular debido a que, el costo total de carbohidratos de las microalgas es capaz de conseguir hasta el 12–55 % del peso seco una vez que se cultiva en ambientes adversos, en especial con nitrógeno reducido (Purba, et al., 2022, p. 10).

La microalga *Chlorella sp* aproximadamente mide de 2 a 10 μm de diámetro, de manera esférica, subesférica o elipsoide sin flagelos. Surge como células particulares y está apto de conformar colonias hasta un mayor de 64 células (Kai Ru et al., 2020, p. 4).

Esta alga en categorías ideales, se multiplica velozmente, obteniendo solamente dióxido de carbono, agua, luz solar y una diminuta abundancia de minerales para reproducirse (Mubashar, et al., 2020). Hasta ahora, esta clase de microalgas fue la más usada como fertilizante biológico, asimismo, es la primera microalga que fue cultivada (Pushad, et al., 2022). El mucílago de clorofitas y cianofitas, presente en la pared celular de esta especie, facilita la concentración y movilización de macro y micronutrientes e iones, que después tienen la posibilidad de estar a disposición de las plantas y el suelo por exudación, autólisis y descomposición microbiana (Purba et al., 2022).

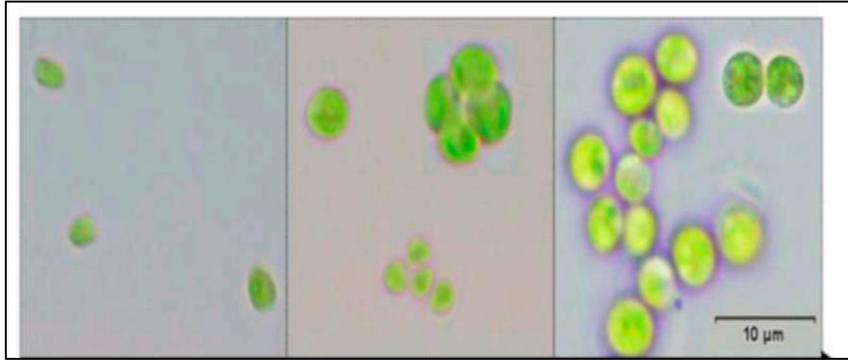


Figura 3. Microalga Chlorella sp.

Fuente: Baroni et al. (2019)

Chlorella Vulgaris es una especie del género Chlorella, siendo una microalga verde unicelular, con un diámetro celular de $6,5 \pm 0,9 \mu\text{m}$, y este tipo de microalga se cultiva comercialmente de manera internacional, ya que tiene una extensa gama de utilidad derivadas de la implementación de la biomasa que esta produce y también está considerada como una especie marina que ha sido reconocida como una de las más grandes productoras de lípidos (Hill et al., 2022, p.5).

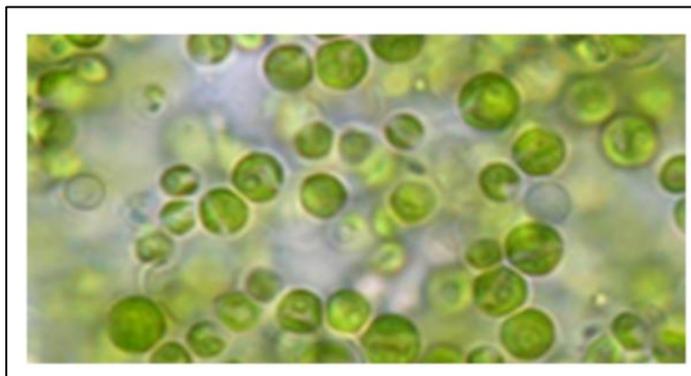


Figura 4. Microalga Chlorella Vulgaris.

Fuente: Benaventes et al. (2018)

Chlorella Pyrenoidosa este tipo de *Chlorella* es de agua dulce verde, forma parte del núcleo familiar de *Chlorella* algas del género, ya que se crea internacionalmente el nombre de la especie *Pyrenoidosa* teniendo relación con la existencia de un pirenoide eminente dentro del cloroplasto *Chlorella*. Además, estas algas son unicelulares, que crecen en agua dulce, además, dicha microalga tiene la más grande proporción de clorofila que otro tipo de planta popular (Ren et al., 2022).

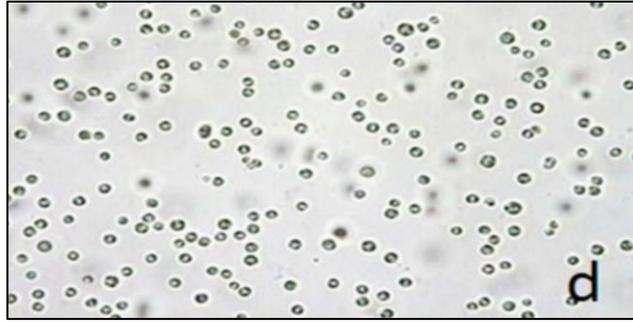


Figura 5. Microalga *Chlorella Pyrenoidosa*.

Fuente: Palacio et al. (2022)

Chlorella Variabilis es usado por el alto índice de crecimiento y su capacidad para adaptarse a cualquier ambiente (Oktor, Celik. 2019, p.3).

Por otro lado, al cultivar las microalgas en aguas residuales se está contribuyendo con el cuidado ecológico, ya que en su proceso elimina los contaminantes contenidos en el agua residual (Hilares et al., 2021, p.2).

Chlorella Minutissima se usa por su capacidad para aumentar velozmente, alto contenido de pigmentos (clorofila ayb), lípidos y su capacidad fotosintética (Amaral, et al., 2020, p.1). Es considerada una de las microalgas con más contenido de triacilgliceroles lo cual también lo hace un recurso esencial para la producción de biodiesel (Hawrot, et al., 2020, p.8)

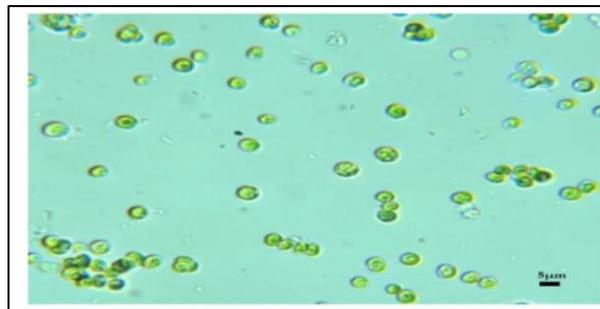


Figura 6. *Chlorella Minutissima* obtenida durante el proceso de cultivo y observado en un microscopio óptico.

Fuente: Hawrot et al. (2020)

Tabla 4. Tipo de *Chlorella* con sus condiciones de operación.

Tipo de <i>Chlorella</i>	Condiciones de operación	Referencia
<i>Chlorella sp</i>	pH: 7°C Temperatura: 20°C ± 23°C Luminosidad: 14h. de luz y 10h de noche.	Baroni et al., 2019
<i>Chlorella vulgaris</i>	pH: 8°C Temperatura: 23°C ± 24°C Luminosidad: 18h. de luz y 20h de noche.	Mudashar et al., 2018
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	pH: 9°C Temperatura: 20°C ± 22°C Luminosidad: luz led 46,5 a 50 μm	Nigam et al., 2020
<i>Chlorella variabilis</i>	pH: 9°C Temperatura: 20°C ± 25°C Luminosidad: 15h. de luz y 10h de noche.	Mudashar et al., 2018

Fuente: Elaboración Propia

En las áreas que se encuentran la microalga *chlorella* en gran variedad es en ambientes de agua dulce, marinos y terrestres, sus condiciones óptimas son fotoautótrofas, mixotróficas y heterótrofas (Kai Ru et al. 2020).

Aislo las microalgas en el mar de Taiwán a dos especies de microalgas, *chlorella sp* y *Chlorella Vulgaris* (Wu et al. 2020).

Aislo las microalgas *Chlorella* de un agua de río en República de corea, lo hizo mediante Basal Bold 's Médium que se usa para microalgas de agua dulce (Kumar et al 2018).

Las microalgas también se pueden encontrar en diferentes tipos de aguas residuales, donde sean ricos en materia orgánica, así como macro y micronutrientes, las cuales sirven como alimento para el desarrollo de la microalga (Ge et al, 2018).

Métodos para aislar y cultivar a la microalga con la especie *Chlorella Vulgaris* lo obtuvieron del Departamento de Ciencias Marinas, Universidad Bharathidasan, Tiruchirappalli, Tamilnadu, India. Dicha especie lo cultivaron en medio basal de Bold (BBM) en condiciones óptimas de 20 ± 23°C con 12 h. luz y 12 h. oscuro. Se aislaron

en las aguas residuales textiles ubicadas en Tiruppur, Tamilnadu, fue recolectado en una caña estéril y se almacenó a 4°C para su posterior desactivación. Luego, fue centrifugado 20 ml de cultivo a 10.000 rpm durante 10 minutos (Subashini et al., 2020).

Por otra parte, consiguieron la microalga verde, *Chlorella Vulgaris* en el Instituto de Hidrobiología, Academia de Ciencias de China (Wuhan, China), se ubicaron en placas de agar de precultivo. Colonias individuales de *C. Vulgaris* y se agruparon ya esterilizados en las placas y se añadieron a los frascos de cultivos (75 cm²) que está constituido de 50 ml de medio BG11, y además de 1,5 de (NaNO₃), 0,04 g de (K₂HPO₄), 0,075 g de (MgSO₄.7H₂O), 0,036 g de (CaCl₂.2H₂O), 0,001 g de sal Na₂-EDTA y 0,006 g de ácido cítrico en 1L de ultrapura agua (Fazal et al., 2021). También aislaron dos microalgas preliminarmente caracterizadas, *Chlorella Sorokiniana* cepa KMN₂ y *C. Sorokiniana* cepa KMN₃, se usaron para el análisis de dicho estudio. Estas microalgas se cultivaron en medio basal de Bold (BBM), estos cultivos de las microalgas se nutrieron diariamente como en líquido y como en agar inclinados (1.5%, p/v) de BBM por subcultivo moderado. El incremento de las algas fue verificado calculando el acopio de biomasa. En este estudio utilizaron matraces Erlenmeyer de 250 ml, constituido por 100 ml de BBM, estos matraces fueron inoculados con el inóculo de algas al 10% (v/v) respectivamente y se incubaron en un periodo de 4 semanas a 25°C bajo de iluminación de luz de 14 μmol fotones m²s⁻¹ con periodos de luz y oscuridad de 12:12 h con 5 min agitado a 100 rpm por dos veces en el día (Tale et al, 2018).

El metabolismo de la microalga se conforma primordialmente de proteínas, lípidos, carbohidratos, pigmentos, minerales y vitaminas (Kai Ru et al, 2020, p. 3; Jiménez et. al, 2019 p.3).

La mayor parte de las microalgas se catalogan como microorganismos fotótrofos ya que producen una potencia de fotones de la luz y como autótrofos debido a que usan el CO₂ como fuente de carbono para sintetizar ellos mismos las moléculas fundamentales de su metabolismo, no obstante, las microalgas responden con cambios fisiológicos a las restricciones del medio ambiente en las cuales crecen (Shahid et al., 2019).

Está constituido por dos tipos de componentes, metabolitos primarios y metabolitos secundarios, los metabolitos primarios acostumbran ser fundamentales para el

desarrollo y el encargado en la evolución metabólica como la fotosíntesis y respiración, y los metabolitos secundarios son moléculas procedentes de metabolitos primarios, ya que una vez los organismos permanecen comprometidos a ciertos efectos adversos (Kai Ru et al., 2020, p. 4).

La aireación es una sección complementaria del incremento aeróbico de las microalgas para realizar la fosforilación oxidativa y producir ATP (energía celular) para realizar distintas funcionalidades microbianas (Ferreira et al., 2022, p.4).

La captación de N en las microalgas se lleva a cabo en la membrana plasmática con la reducción de NO_4^{3-} a NO_2 donde una parte producida de NO_2 se libera al medio acuoso y otra parte de NO_2 se disminuye en el cloroplasto conformando NH_2 que luego se incorpora en la formación de aminoácidos, asimismo, en el proceso del metabolismo, el PO_4^{3-} es absorbido de las formas H_2PO_4^- y HPO_4^- e integrado dentro de compuestos orgánicos mediante el desarrollo de fosforilación, en donde la mayor parte del PO_4 es absorbido para la generación de ATP a partir ADP, logrando así la provisión de energía celular (Beltrán et al., 2018).

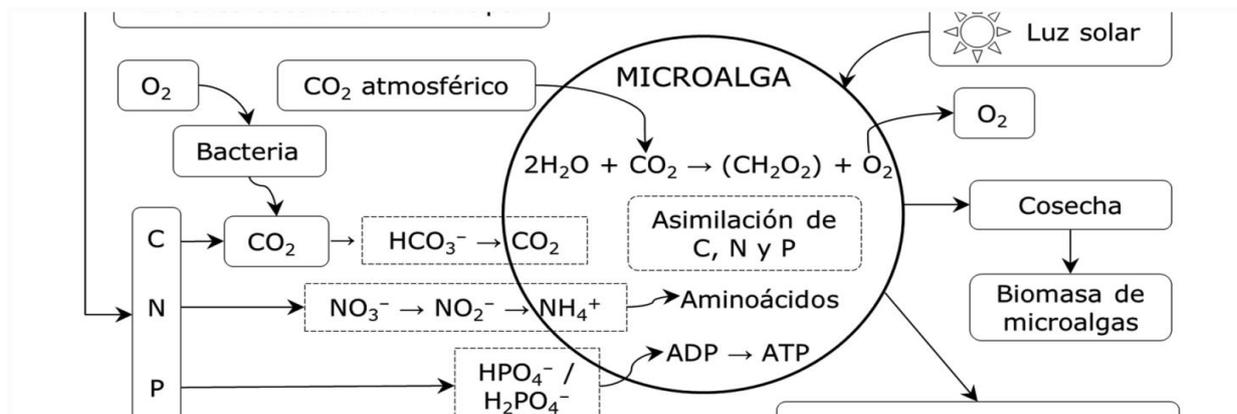


Figura 7. Metabolismo de las microalgas.

Fuente: Beltrán et al. (2018)

Las características de las aguas residuales de estas microalgas en dichas aguas contaminadas están firmemente vinculadas con la elección de especies idóneas para un tipo determinado de aguas residuales (Purba et al., 2022, p. 1).

Estas aguas residuales acostumbran ser ricas en nutrientes (nitrógeno y fósforo) se han reconocido últimamente como probables biorrecursos que tienen la posibilidad

de utilizarse para modificar la percepción hacia el término de bioeconomía circular (Purba et al., 2022, p.3)

Tabla 5. *Características de condiciones iniciales de los tipos de agua residual.*

TIPO DE AGUAS RESIDUALES	LUGAR DE RECOLECCIÓN	CONDICIONES INICIALES	REFERENCIA
Agua Residual Textil	Se recogieron de una industria textil prenda ubicada en Tiruppur, Tamilnadu.	pH = 6,25±0,16 DBO = 782±8.02 Química de Oxígeno = 1700 ± 11.53 Sólidos Totales (ST) = 5483 ± 12.58 Sólidos Disueltos Totales = 4923 ± 8.96 Nitrógeno Amoniacal = 10±4,35 Fosfato = 12±4,61	(Subashini y Rajiv, 2018, p. 4)

Fuente: Elaboración Propia

Las aguas residuales textiles son los efluentes vertidos que son expulsados por las fábricas textiles, siendo así una composición de tintes, metales y otros contaminantes, los colorantes tienen la posibilidad de clasificarse en colorantes naturales y sintéticos (Yaseen et al., 2019, p.2).

En el tratamiento de aguas residuales se quiere descartar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos, nutrientes, coliformes y toxicidad.

En condiciones adecuadas, las microalgas poseen una destreza para eliminar, conocida como fitorremediación haciendo uso de microalgas para descartar o biotransformación de contaminantes, desde aguas residuales y desde un medio gaseoso (Zaruma et al., 2018).

Los efluentes líquidos son provocados finalmente de los múltiples procesos que causan contaminantes y perjudican la calidad de agua, entre ellos, encontramos a las sales inorgánicas, almidón, peróxidos, EDTA, tensoactivos, enzimas, surfactantes, colorantes, metales y otros compuestos orgánicos de variada composición (Zaruma et al., 2018).

Las características de las aguas residuales textiles son fundamentales para determinar las aguas residuales textiles para perfeccionar sistemas de

procesamiento y flujo de proceso efectivos. Diversos crudos un sistema verde y sustentable para intentar eficientemente las aguas contaminadas por tintes textiles. En las industrias textiles se usan diferentes elementos como el algodón, las fibras sintéticas y la lana. La proporción de un parámetro determinado para la caracterización de aguas residuales textiles incluye DQO₅, sólidos en suspensión, color, pH, DBO, fósforo total, conductividad, metales, TOC (Wangab et al., 2022).

Tabla 6. Características de las aguas residuales textiles según diferentes autores

Parámetros	Wangab et al., 2022, p-7	Subashini et al., 2018, p.2-7	Yaseen et al., 2019	Kumara et al., 2018	Oyebamiji et al., 2019, p.4
pH	6 ± 10	6.25±0.16	10	8.7±9.5	7±9
Temperatura (C°)	35±45	40±46	35±45	30±40	30±46
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	80±6000	782±8.02	80±6000	70±2.2	8880±340,2
Demanda química de oxígeno (mg/L)	150±12,000	1700±11.53	150±1200	130±1000	42.442±452,6
Aceite y Grasa (mg/L)	10±30	15±40	10±30	-	15±20
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	15±8,000	15±6,000	15±8000	12±6000	40.149,67 ± 441,3
amoníaco libre (mg/L)	10	20	-	10	-
Sólidos disueltos totales (mg/L)	2900±3100	4923±8,96	2900±3100	2500±5.20	60.372,33 ± 149,8
Cloruro	1000±1600	286±7	1000±600	240±8.20	1327 ± 113,

(mg/L)			0		
Sodio (mg/L)	70	87±4,93	-	-	50±10.8
Nitrógeno total (mg/L)	70±80	60±75	-	350.8	11.5±50
Color (Pt-Co)	50 – 2500	60±2000	50±2500	60±2500	55±2000

Fuente: Elaboración Propia.

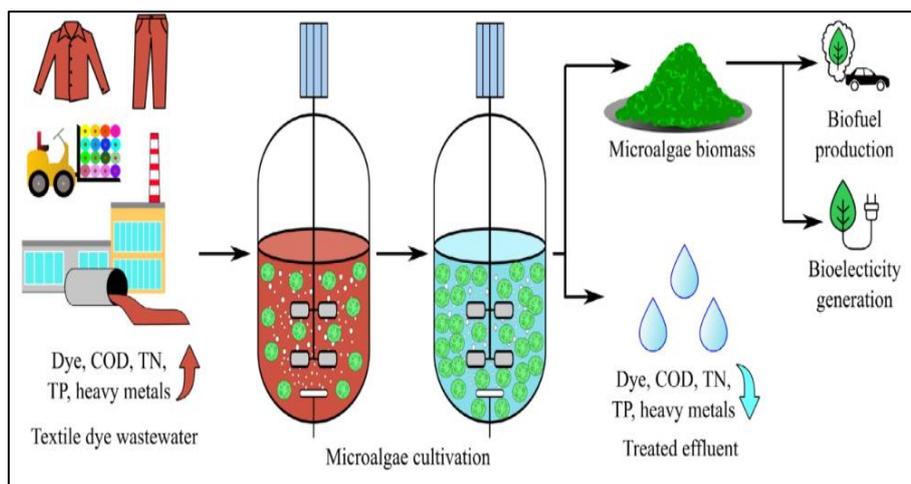
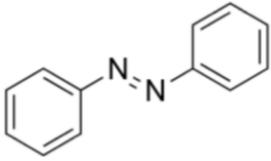
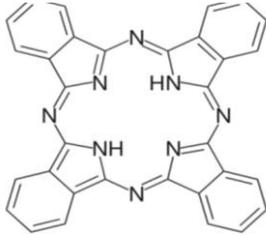
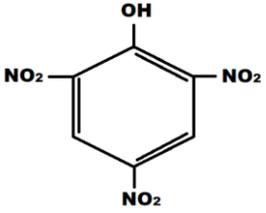


Figura 8. Tratamiento a base de microalgas de tintura textil y producción simultánea de biomasa para la producción de biocombustibles/bioenergía.

Fuente: Premaratne et al (2021).

Los colorantes textiles poseen diferentes inicios y aplicaciones, aunque actualmente en su mayoría son usados los de procedencia sintética, los cuales no son biodegradables en el medio ambiente. Estos colorantes son separables en agua y son evidentes como compuestos expertos de dar color a una fibra, sin ser dañados por componentes como la luz, temperatura y jabón (Zumara et al., 2018). Los colorantes se clasifican en estructuras químicas y por el método de aplicación, en la industria textil hay diferentes tipos de fibras (lana, algodón, nylon, poliéster, etc) que se aplican en diferentes procedimientos de coloreado por su alcance y nivel de fijación del teñido (Jane et al., 2020).

Tabla 7. Clasificación de colorantes por estructura química.

Familia		Descripción
Azoicos		Este conjunto de colorantes es el de mayor relevancia en la industria textil con una preparación aproximada del 70% de los tintes orgánicos del mercado.
Ftalocianina		Estos tintes están compuestos por la alianza de 4 equipos isoindol (dos anillos fusionados, uno bencénico y el otro; una piridina) por medio de 4 átomos de nitrógeno, dando sitio a un anillo de 16 átomos: 8 de nitrógeno y 8 de carbono, cambiados con dobles enlaces conjugados.
Nitro		Son un conjunto de tintes incoloros cuando se encuentran apartados. Su permeabilidad se encuentra cercano al campo visible por la mezcla de los grupos auxocromos frágiles, logrando una tonalidad amarillenta.

Fuente: (Zaruma et al., 2018).

Tabla 8. Clasificación de colorantes por método de aplicación.

TIPO	FIBRAS	MÉTODO DE APLICACIÓN
Ácidos	Nylon, Lana, Seda, Papel, Tinta y piel.	Comúnmente para baños de tintes neutros a ácidos.
Básicos	Papel, poliacrilonitrilos, nylon, poliéster y seda.	Para baños de tintura básicos
Directos	Algodón, rayón, piel y nylon.	Sumersión de la fibra en un baño con un electrolito. Forma enlaces de hidrógeno.
Dispersos	Poliéster, poliamida, acetato, acrílico y plásticos.	A modo de presión coloidal con altas temperaturas y presión.

		Unión del colorante por interacciones dipolares.
Mordaz	Lana, piel y algodón.	Aplicado en general con sales de Cr.

Fuente: (Zaruma et al., 2018).

Los tipos colorantes existentes en las aguas residuales textiles:

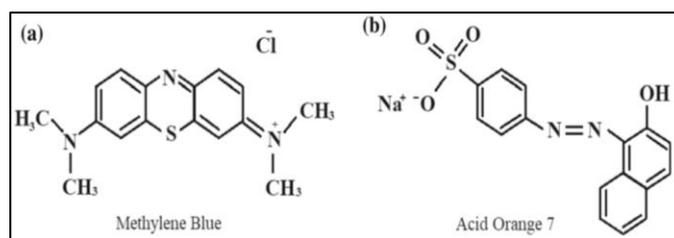


Figura 9. Estructuras químicas de los colorantes

Fuente: Chin, et al. (2020)

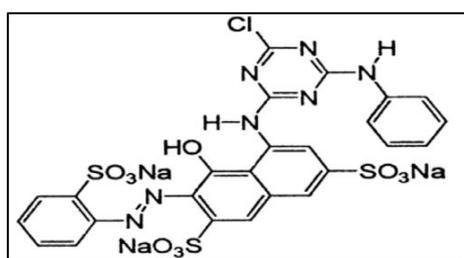


Figura 10. Estructura química del colorante reactivo rojo 3, Clase Azo.

Fuente: Sharma, et al. (2021).

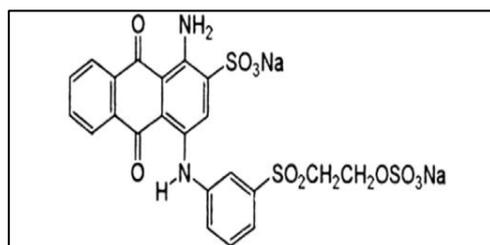


Figura 11. Estructura química del colorante reactivo azul 19, Clase Antraquinonas.

Fuente: Sharma, et al. (2021).

Los sistemas de estanques abiertos son los más usados gracias a su reducción en consumo de energía y su bajo costo de operación (Costa, et al., 2019, p.3). Además, al ser un estanque abierto recibe la luz solar, aprovechando así los recursos naturales (Zuccaro, et al., 2020, p.10).

Raceway, es un tipo de fotobiorreactor que se utiliza para cultivar a las microalgas, ya que en los últimos tiempos este muestra una mayor eficiencia de mezcla, mayor iluminación y transferencia de masa con el propósito de ayudar la productividad de biomasa (Costa, 2019, p.3).



Figura 12. Estanque de raceway utilizado para el cultivo de la microalga *Chlorella Minutissima*.

Fuente: Sharma et al. (2021)

El sistema abierto Raceway Pond es usado para el cultivo de microalgas, es el sistema de cultivo más usado a escala industrial, gracias a su simple escalado y bajo precio (instalaciones), sin embargo, al ser un sistema abierto, no se debería considerar la ausencia de agua por evaporación, ya que la contaminación es otro asunto fundamental (Andrade et al., 2018, p.2).

Los biorreactores de membrana anaeróbica (AnMBR) es una técnica eficiente y tolerante con el medio ambiente, ya que gracias a su asombrosa eficacia de supresión de nitrógeno (amoníaco, nitrato, nitrito, TN) haciendo posible la división que posibilita minimizar y borrar fases de un procedimiento común de fangos activos en el procedimiento de aguas residuales textiles (Zou et al., 2021, p.2). Además,

facilita la posibilidad de remover la materia orgánica del agua residual sin obligación de aporte de oxígeno, al tiempo que posibilita la restauración de energía propia del agua residual a modo de biogás (García et al., 2020).

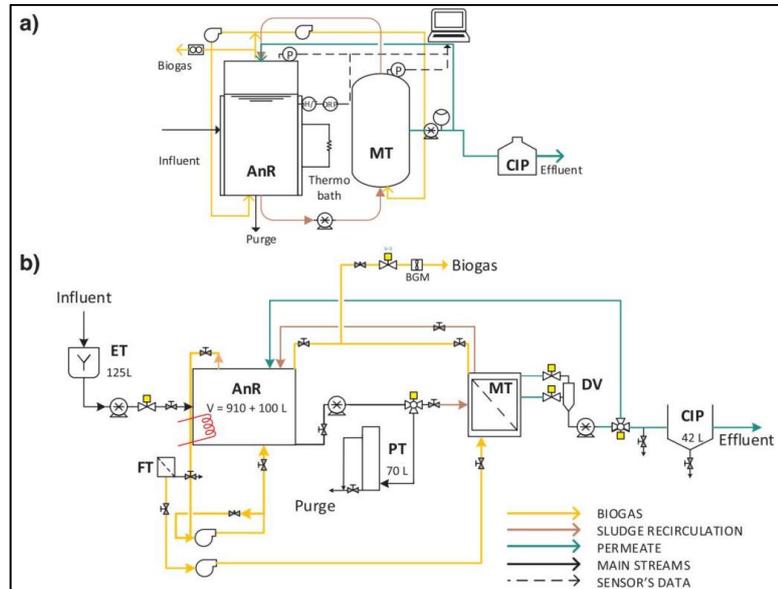


Figura 13. Biorreactor de membrana anaeróbica.

Fuente: García et al. (2020).

El fotobiorreactor tubular de columna de burbujas diseñado con metracrilato con un volumen de 10.5 L, iluminación con luz LED, luz de tubo de 40 W, en la superficie la luz fue de 540 lux para así garantizar un mayor crecimiento de la microalga (shubhangi et al., 2020, p.4).

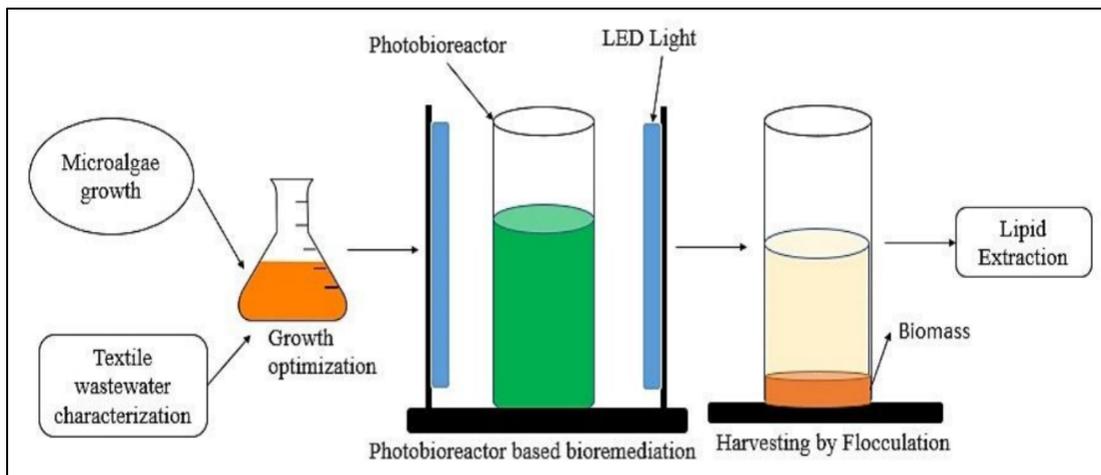


Figura 14. Fotobiorreactor tubular de columna de burbujas diseñado.

Fuente: Shubhangi et al. (2020)

El sistema cerrado de cultivo trae consigo muchas ventajas, ya que disminuye a la menor cantidad posible la contaminación biológica garantizando monocultivos, facilitando un mejor poder sobre los límites físicos químicos, disminuyendo las pérdidas de CO₂, ya que muestran más grandes productividades y además permiten producción de metabolitos difíciles (Cervantes et al., 2020).



Figura 15. Diseño de un biorreactor tubular horizontal.

Fuente: Cervantes et al. (2020).

Fotocalizadores - Reactor batch el método de fotocatalisis heterogénea se ha usado para la descontaminación de aguas residuales que tienen dentro colorantes e

indicadores, ya que esta técnica de oxidación audaz crea la degradación y mineralización de dichos contaminantes en varios efluentes líquidos, siendo así fundamental esta técnica en posible, debido a que tiene un bajo precio al usar una fuente inagotable y gratuita como es la radiación solar; por igual, es sustentable, ya que el catalizador usado ((TiO₂) Degussa P-25) es un reactivo subjetivamente ahorrador y no tóxico (Younis et al., 2021, p.3).

Fotobiorreactor de membrana (PBR) este proceso tiene relación con todo tipo de sistema de cultivo, creado para cultivar organismos fotoautótrofos usando fuentes de luz artificial o luz solar para favorecer la fotosíntesis, dicha técnica se aplica comúnmente para cultivar microalgas (Giménez et al., 2018).

Este tipo de proceso se debe de conservar en un medio estable (temperatura, pH y mínima concentración de O₂) que nos genere los nutrientes óptimos para el incremento y así se incluye la luz (Brar et al., 2018, p.4).

Reactor Tubular de lecho de lecho fijo está conformado con uno o más tubos empacados con partículas de catalizador, que se realizan en postura vertical, las partículas catalíticas tienen la posibilidad de perturbar de tamaño y aspecto: granulares, cilíndricas, esféricas, etcétera (Gaviria et al., 2018, p.3).

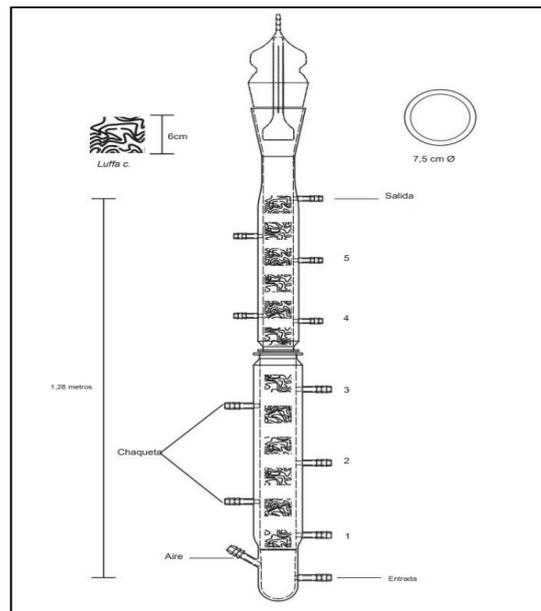


Figura 16. Diseño de un reactor tubular de lecho fijo.

Fuente: Gaviria et al. (2018)

Condiciones de operación de las microalgas, el tiempo es muy variado ya que a partir de los primeros días se ve el crecimiento de las microalgas, en un tiempo de 14 días promedio se puede ver un nivel máximo de proteína en las microalgas como *Chlorella Vulgaris* (Abarna, et al., 2021, p. 7).

La temperatura es diferente en las distintas especies de microalgas, pero una temperatura ideal para el desarrollo de las microalgas va de 15 a 26 °C, una temperatura mayor puede afectar la eficiencia fotosintética (Kou et al., 2021, p.9). Por otro lado, es considerada un parámetro que influye mucho en el metabolismo celular, una temperatura mayor a 40°C reduce la tasa de crecimiento (Sun et al., 2021, p. 7).

El pH es diferente en las distintas especies de microalgas, pero un pH neutro es considerado mejor para su crecimiento (Kou et al., 2021, p.8).

La iluminación es importante para el crecimiento de las microalgas, a mayor iluminación es más el crecimiento de las microalgas, pero cuando la iluminación se excede a lo que la microalga puede soportar la tasa de crecimiento de la microalga disminuirá (Kou et al., 2021, p.9). Además la iluminación a las microalgas ayuda a su fotosíntesis la cual es la fuente de su crecimiento celular (Sun, et al., 2021, p. 5). La mejor eliminación de nitrógeno y la producción de lípidos se gracias a la irradiación de luz (Jiang; Li; Pei, 2021, p.8)

La aireación es una sección complementaria del incremento aeróbico de las microalgas para realizar la fosforilación oxidativa y producir ATP (energía celular) para realizar distintas funcionalidades microbianas (Ferreira et al., 2022, p.4).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación:

La investigación es de tipo aplicada porque con ella se aportan nuevos conocimientos y que puedan ser utilizados de forma teórica (Baena, 2017, p. 17). Es por ello que se hizo un análisis documental de los artículos de fuentes primarias, con la finalidad que la tesis cuente con la mejor información y que sirva para investigaciones.

3.1.2. Diseño de la investigación:

La revisión sistemática, es una manera de tener sintetizada, organizada la información de un tema en específico (Snyder, 2019, p.2). Además, se considera como la síntesis de investigaciones básicas (Beltran, 2005, p.3).

El diseño de investigación es no experimental, cualitativo y de revisión sistemática porque el investigador empieza dando a conocer a fondo el tema desarrollado y se sustenta en teoría (Snyder, 2019, p.4)

En esta investigación se utilizaron revisiones de los artículos de fuentes primarias, de modo que se extrajo los datos que se encuentren en los artículos y se clasificaron de acuerdo a los objetivos planteados.

3.2. Categoría, Subcategorías y matriz de categorización

En este proyecto de investigación se realizó una matriz de categorización, en donde contiene categorías y categorías que nos ayudó a resolver los objetivos propuestos. (Ver Anexo 1)

3.3. Escenario de estudio

Se conformó por las bases de datos como Web of Science (WoS), Science direct, Scopus y Springer que tengan los artículos referentes al tema, de acceso libre y de los últimos 5 años, ya que se trata de una revisión sistemática y no experimental.

3.4. Participantes

Los participantes estuvieron constituidos por todos los artículos relacionados con el tema de investigación, que pertenecientes a las bases de datos como de Scopus, ScienceDirect, y WoS, Springer de los cuales se hizo el criterio de inclusión como que sean a partir del 2018 – 2022 de idioma inglés.

Al iniciar con la primera búsqueda de artículos con relación al tema investigado se encontró 40 artículos, luego pasamos por los criterios de exclusión quedando una cantidad de 24 artículos y de los años a partir del 2018 a 2022. Posterior a ello se escogieron los artículos que más se centran en aguas residuales textiles que son un total de 15 artículos que son los que se tomaron en cuenta para la realización de los resultados, los cuales se clasificaron para cada categoría según los objetivos planteados.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos en investigaciones cualitativas, se desarrolla a través del análisis de documentos previos sobre un tema en específico, además estos trabajos deben responder a los objetivos y a las preguntas de investigación (Castillo, 2021, p.5).

Los instrumentos de recolección de datos son los recursos que se utilizan para almacenar o archivar los datos que se necesitan para resolver los objetivos del trabajo a investigar (Castillo, 2021, p.5).

Esta investigación se desarrolló con la técnica del análisis del documento, ya que se hizo una búsqueda de artículos sobre el tema de interés y como instrumento se hizo uso de una ficha de investigación (Excel), este instrumento que permitirá a identificar y recopilar la información de las diferentes fuentes de información, con el fin de tener más organizada y sintetizada para poder clasificar los artículos con los objetivos de investigación. Luego se hizo la extracción de información de los artículos conforme a las categorías y subcategorías de la investigación para finalmente responder a los objetivos.

3.6. Procedimiento

Se hizo una búsqueda en las bases de datos de revistas indexadas como en Scopus, Science direct, Springer y WoS. El método que se aplicó para buscar los artículos fue el uso de las palabras claves y de los últimos 5 años para así mejorar la calidad del artículo.

Tabla 9. *Criterios de inclusión*

Criterios de inclusión	
Idioma	Inglés
Periodo de publicación	2018 – 2022
Tipo de acceso	Acceso Libre

Fuente: Elaboración propia.

Además, se tomó en cuenta que el título se relacione con los objetivos de la investigación, también se tomó en cuenta el resumen para saber cuáles son los propósitos de la investigación y en que se relacionan con el tema, Revisar los temas donde falta información para saber que falta en la investigación.

Tabla 10. *Palabras claves que se usan para la búsqueda de información.*

Revistas	Palabras claves
Scopus	<ul style="list-style-type: none">● Wastewater treatment with microalgae● "Treatment" and "Textile wastewater" and "<i>Chlorella</i>"● Textile wastewater treatment● <i>Chlorella</i> production biomass and lipids wastewater textile
Science Direct	<ul style="list-style-type: none">● Wastewater treatment with microalgae● "Treatment" and "Textile wastewater" and "<i>Chlorella</i>"● Textile wastewater treatment

- *Chlorella* production biomass and lipids wastewater textile

Web of Science

- "Treatment" and "Textile wastewater" and "Chlorella"
 - Textile wastewater and microalgae chlorella sp or production of biomes
 - *Chlorella* production biomass and lipids
-

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 14 se presenta un mapa de los lugares de donde se hicieron los estudios de los artículos sobre la microalga de tipo *Chlorella* usado en el tratamiento de aguas residuales.

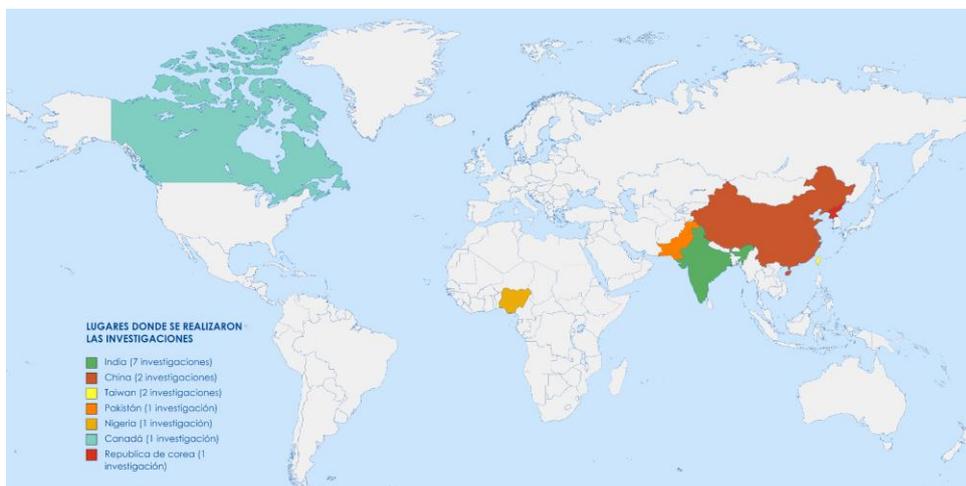


Figura 17. Lugares donde se ejecutan los estudios.

Fuente: Elaboración Propia.

Según lo presentado en la Figura 14, en el país de India se realizó 7 Investigaciones, 2 investigaciones en China y Taiwán, 1 en Pakistán, Nigeria, Canadá y República de Corea.

3.7. Rigor científico

El rigor científico se define como la veracidad y precisión en sus resultados de los hallazgos teóricos y experimentales, a fin de garantizar la información (Casadevall y Fang, 2016).

El rigor científico tiene 4 componentes:

Credibilidad: La investigación debe contener información creíble, veraz, fiable y que se muestran en los resultados (Suarez, 2007, p.3). Es la recolección de información de fuentes confiables y que sus informes se reflejan con sus resultados (Castillo; Vásquez, 2003 p.3). Esto se ve reflejada en la información de las revistas indexadas como son el nivel de credibilidad como Q1 y Q2 que son los niveles de más alta credibilidad.

Transferibilidad: Los datos que son estudiados en ámbito, no puede ser aplicado en otro ámbito, es por ello que primero se debe evaluar la similitud a donde se quiere transferir (Suarez, 2007, p. 5). Es la posibilidad de que la investigación se pueda continuar y es por ello que verifican que tanto de similitud tiene la investigación (Castillo; Vásquez, 2003 p.4).

Dependencia: Se refiere a la posible inestabilidad que pueda tener los resultados (Suarez, 2007, p.6).

Conformabilidad: Es el producto de toda la información que es verificada en los resultados y que deben ser manipulados (Suarez, 2007, p.8). Es lo que el primer investigador deja como guía para que los demás investigadores puedan seguir con la investigación, para ello es necesario que el investigador deje como dato que es lo que ya se investigó y que aún falta (Castillo, E; Vásquez, M, 2003, p. 3).

En la investigación se usaron artículos de acceso libre de la base de datos de revistas indexadas que pertenecen a fuentes de búsqueda primaria que cuentan con un alto rigor científico, lo cual hace que estas revistas sean más viables, Además se tuvo en cuenta criterios para el análisis de la información

que se empleó en los artículos encontrados, finalmente se abordó todos los componentes de rigor científico.

3.8. Método de análisis de datos

Esta investigación tuvo un diseño de investigación cualitativa, se consideró como técnica el análisis documental y como instrumento a la ficha de recolección de datos. Para el procesamiento de la información se hizo el empleo de Microsoft Excel, el cual sirvió para tener la información más sintetizada de cada artículo, los cuales fueron previamente escogidos por criterio de inclusión de los años 2018 a 2022, publicadas en inglés y de revistas de alto impacto, esto con el fin de que el proyecto cuente con información más precisa y veraz.

3.9. Aspectos éticos

La ética en un investigador se evidencia cuando respeta los derechos de autor, además de seguir correctamente los códigos de ética, entregando información de primera fuente y confiable con el fin de no afectar la investigación misma o la de otros investigadores (Concytec,2018 p.5).

El código de ética de Concytec, redacta que los proyectos de investigación deben contar con información veraz, original y viable. También señala que ante cualquier fraude el investigador debe denunciar ante las autoridades competentes. Sobre la autoría señala que las investigaciones nuevas deben ser originales, además citar y referenciar correctamente.

El código de ética en el artículo 2, señala que se debe cumplir el código de ética de forma obligatoria cualquier persona que pertenezca a la universidad César Vallejo. También en artículo 7, sobre la publicación de investigaciones, indica respetar la autoría, además de aportar investigaciones y afrontar la consecuencia que pueda generar.

Respetar el derecho de autor conforme lo señalado en la ISO-690 de UCV, haciendo una correcta cita del autor.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados de acuerdo a los objetivos específicos planteados:

4.1. Especificar el tipo de especies de *Chlorella* sp son más usadas para el tratamiento de aguas residuales textiles.

Tabla 11. Especie *Chlorella* sp más usada tratamiento de aguas residuales textiles.

Autor	Tipo de agua residuales	Especie de microalgas	Eficacia de eliminación
Fazal, et al. 2021)	Agua Residual Textil Diluida y sin Diluir	<i>Chlorella vulgaris</i>	DQO agua diluida (99.7±4,2 %), sin diluir (76,3± 2,8%), en Nitrógeno (N) y Fósforo (P) 95.7%.
Ge, et al. (2018)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella vulgaris</i>	N (95,5–99,8%), P (98,5–100%) y DQO (89,5-93,4%)
Wu, et al. (2020)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella vulgaris</i> <i>Chlorella</i> sp	DQO 75%, N 90%, Color de agua 60%
Majhi, et al (2021).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella</i> <i>Pyrenoidosa</i> (algas libres)	Nitrato 43,2%, Fosfato 56,7%, DQO 78 % y DBO 71,4 %.

		<i>Chlorella Pyrenoidosa</i> (algas inmovilizadas)	DQO 83,0 %, DBO 73,3 % Nitrate 46,7 %
Gita, et al. (2019).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella vulgaris</i>	Los tintes textiles inhibieron el pigmento y las células de algas.
Wu, et al. (2020).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella sp</i>	Nutrientes 80,2%, en DQO 70,8% y color 77,9%.
Oyebamiji, et al. (2019)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella sorokiniana</i>	Color 70,03 %, Al 44%y Cu 67%.
Brar, et al. (2018)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Pyrenoidosa</i>	DQO, 24 %, DBO 75,5%, Nitratos 68,86% y Fosfatos 28,00%.
Mubashar, et al. (2020)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Vulgaris</i>	DQO 49 %, metales pesados un 59 %.
		<i>Chlorella Vulgaris</i> + consorcio de bacterias	DQO 74%, Metales 93 % y color 70%.
Subashini, Rajiv (2018).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Vulgaris</i>	DBO 85.6%, DQO 85.8%, TDS 85.8%, Magnesio 89.6%.
Shubhangi et al. (2020)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Pyrenoidosa</i>	N y P 80 %, DQO y DBO 88.4%.
Behl, et al. (2019).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Pyrenoidosa</i>	Lípido 9%, decoloración 36%.

Kumar, et al. (2018)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella sp</i>	Color 68 - 72 %, N 98.2 y 99.7, P 70.5 - 80.5%, DQO 84.86 y 95%
Javed et al. (2022)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Vulgaris</i>	Decoloración 99±0.13 y DQO 82%.
Moorthy et al. (2021)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Vulgaris</i>	Tasa de inhibición más alta 98,96 % e inhibición más baja del 45,82 % a 0,1 mg/l 96 h.

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 11, la mayoría de los autores hacen uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en el tratamiento de aguas textiles. Por otra parte, en la investigación de Fazal et al. (2021), la mayor remoción de DQO se logró en agua residual diluida 99.7±4,2 %, medio BG11 (94,4±3,5%) y A.R.T. sin diluir (76,3± 2,8%), en Nitrógeno y Fósforo la remoción fue de 95.7%. Por otro lado, para el autor Subashini & Rajiv (2018), la eficiencia de eliminación tuvo como resultados en DBO 85.6%, DQO 85.8%, TDS 85.8%, Magnesio 89.6% respectivamente. Por último, Mubashar et al. (2020), obtuvo un resultado bajo en la eliminación en DQO y en metales pesados con un 49% y 59%, con otro experimento y haciendo uso de bacterias, obtuvo un resultado de eliminación de DQO de 74%, en metales un 93 % y de color de un 70%. Por otro lado, Behl, et al. (2020) utilizó *Chlorella Pyrenoidosa* obteniendo bajos resultados como en decoloración del 36% y lípidos del 9%. Así mismo Gita, et al. (2019), con *Chlorella Vulgaris* obtuvo como resultado que los tintes textiles inhibieron el pigmento y la célula del alga. Al igual que Moorthy et al. (2021), que utilizó a *Chlorella Vulgaris* y donde tuvo una inhibición alta de 98,96% y baja de 45,82%.

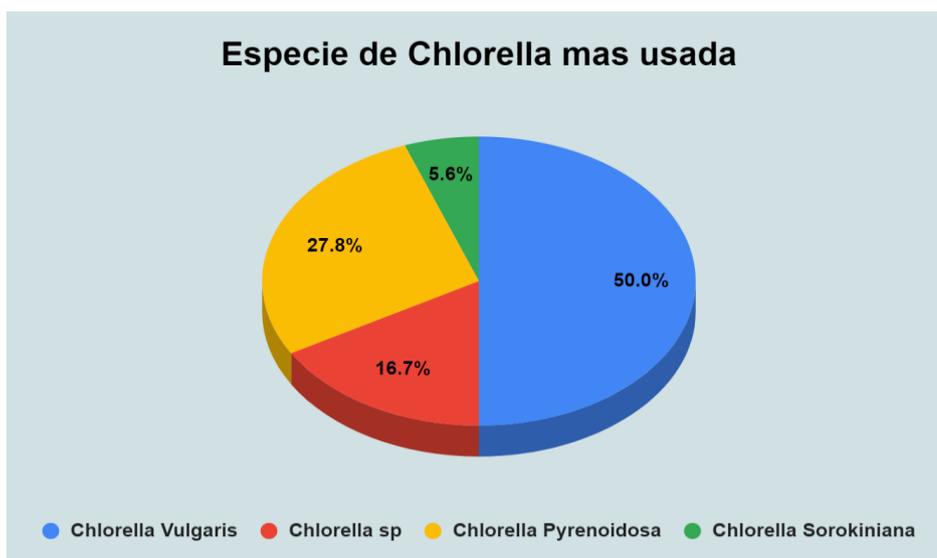


Figura 18. Porcentaje de microalga especie *Chlorella* más usada.

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 15 el tipo de microalga más usadas con un porcentaje mayor del 50% es *Chlorella vulgaris*, mientras que *Chlorella Pyrenoidosa* alcanzó un 27.8%. Asimismo, *Chlorella sp* con un 16.7% y, por último, la microalga menos usada fue *Chlorella sorokiniana* con un 5.6%.

4.2. Comparar el tipo de reactores (nivel de laboratorio) que se emplean para el tratamiento de aguas residuales textiles utilizando *Chlorella sp* y mejora del contenido de lípidos y biomasa

Tabla 12. Tipos de reactores (nivel de laboratorio) utilizados en el tratamiento de aguas residuales textiles utilizando *Chlorella sp* y mejora del contenido de lípidos y biomasa.

Autor	Tipo de agua residual	Especie de microalgas	Tipo de reactor	Eficacia de eliminación	Productividad de Biomasa/Lípidos
Fazal, et al. (2021)	Agua Residual Textil Diluida y sin Diluir	<i>Chlorella vulgaris</i>	Fotobiorreactor	DQO agua diluida (99.7±4,2 %), sin diluir (76,3± 2,8%), en Nitrógeno (N) y Fósforo (P) 95.7%.	En agua diluida 31.26 mg/l y sin diluir 11,07 mg/l.
Ge, et al (2018)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella vulgaris</i>	Fotobiorreactor	N (95,5–99,8%), P (98,5–100%) y DQO (89,5-93,4%)	Lípidos (20,4 ± 3,4 mg/l/d.
Wu, et al (2020)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella vulgaris</i> <i>Chlorella sp</i>	Matraz cónico de vidrio de 1 L	DQO 75%, N 90%, Color de agua 60%	Biomasa 0.109±0.003 g Biomasa 0.093±0.004 g
Majhi, et al (2021).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Pyrenoidosa</i> (algas libres)	Matraz cónico de vidrio de 1 L	Nitrato 43,2%, Fosfato 56,7%, DQO 78 % y DBO 71,4 %.	

		<i>Chlorella Pyrenoidosa</i> (algas inmovilizadas)		DQO 83,0 %, DBO 73,3 % Nitrato 46,7 %	
Gita, et al. (2019).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella vulgaris</i>	Matraz en una cámara de crecimiento	Los tintes textiles inhibieron el pigmento y la célula de algas.	Proteína 4.34 y 2.75
Wu, et al. (2020).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella sp</i>	Fotorreactor de plástico	Nutrientes 80,2%, en DQO 70,8% y Color 77,9%.	Lípidos 0,38 g/g.
Oyebamiji, et al. (2019)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella sorokiniana</i>	Fotobiorreactores .	Color 70,03 %, Al 44% y Cu 67%.	Biomasa 1.35 g/l
Brar, et al. (2018)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Pyrenoidosa</i>	Matraces Erlenmeyer 1 L	DQO, 24 %, DBO 75,5%, Nitratos 68,86% y Fosfatos 28,00%.	Biomasa 3,78 ± 0,53 mg/L/d y a los 14 días 3,97 g/l.
Mubashar, et al. (2020)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Vulgaris</i>	Matraz Erlenmeyer en una cámara de crecimiento	DQO 49 %, metales pesados un 59 %.	Biomasa 2,18 g/l y 0,67 g/l/d.
		<i>Chlorella Vulgaris</i> + bacterias		DQO 74%, Metales 93 % y color 70%.	Biomasa 2.97 g/l y 0,902 g/l/d.

Subashini, Rajiv, (2018).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Vulgaris</i>	Matraz Erlenmeyer en una cámara de crecimiento	DBO 85.6%, DQO 85.8%, TDS 85.8%, Magnesio 89.6%.	
Shubhangi et al. (2020)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Pyrenoidosa</i>	Fotobiorreactor tubular de columna de burbujas	N y P 80 %, DQO y DBO 88.4%.	Biomasa fue de 0,98 ± 0,3 g/l/día.
Javed et al. (2022)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Vulgaris</i>	Fotobiorreactor tubular de columna de burbujas	Decoloración 99±0.13 y DQO 82%.	Biomasa 2.91±0,01 g /l
Kumar, et al. (2018)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella sp</i>	Fotobiorreactor	Color 68 - 72 %, N 98.2 y 99.7, P 70.5 - 80.5%, DQO 84.86 y 95%	Biomasa de 0,49 g/l/día.
Moorthy, et al. (2021)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Vulgaris</i>	Matraces Erlenmeyer en una cámara de crecimiento	Tasa de inhibición más alta 98,96 % y inhibición más baja del 45,82 % a 0,1 mg/l 96 h.	La productividad varía según la concentración de colorantes.

Fuente: Elaboración Propia.

En relación con la Tabla 12, para el autor Ge et al. (2018), haciendo uso de un fotobiorreactor obtuvo buenos resultados en nitrógeno, fósforo y DQO con una eliminación de 95,5–99,8%, 98,5–100% y 89,5-93,4% respectivamente, del mismo modo, con la productividad de biomasa y lípidos, obteniendo como resultados en condiciones mixotróficas, autótrofas, heterótrofas de $0,72 \pm 0,01$ g/l, $0,45 \pm 0,05$, $0,20 \pm 0,03$ g/l y finalmente en lípidos con $20,4 \pm 3,4$ mg/l/d. Por otro lado, para Javed et al. (2022), usando fotobiorreactor tubular de columna, obteniendo una eficacia de eliminación en coloración y DBO de 99 ± 0.13 y 82%, al igual en biomasa y lípidos con $2.91 \pm 0,01$ g.

Por otro lado, según Majhi et al. (2021), usando un matraz cónico de vidrio, obtuvo un bajo resultado con microalgas libres en Nitrato, fosfato, DQO y DBO de 43,2%, 56,7%, 78 % y 71,4 % respectivamente, asimismo en microalgas inmovilizadas logró en resultado alto en DQO, DBO y nitrato con un 83,0 %, 73,3 % y 46,7 %, por otra parte, en biomasa y lípidos no obtuvo resultados. Además, Moorthy, et al. (2021), trabajo con *Chlorella Vulgaris* para remover colorantes, utilizando como reactor un matraz Erlenmeyer en una cámara de crecimiento, obteniendo como resultado una tasa de inhibición alta de 98,96%, baja de 45,82% y en productividad de biomasa variaba según la concentración. Así mismo Wu, et al. (2020), con Microalga *Chlorella* sp utilizó un fotorreactor de plástico, obteniendo como resultados Nutrientes 80,2%, en DQO 70,8% y Color 77,9% y una obtención baja de 0,38 g/g

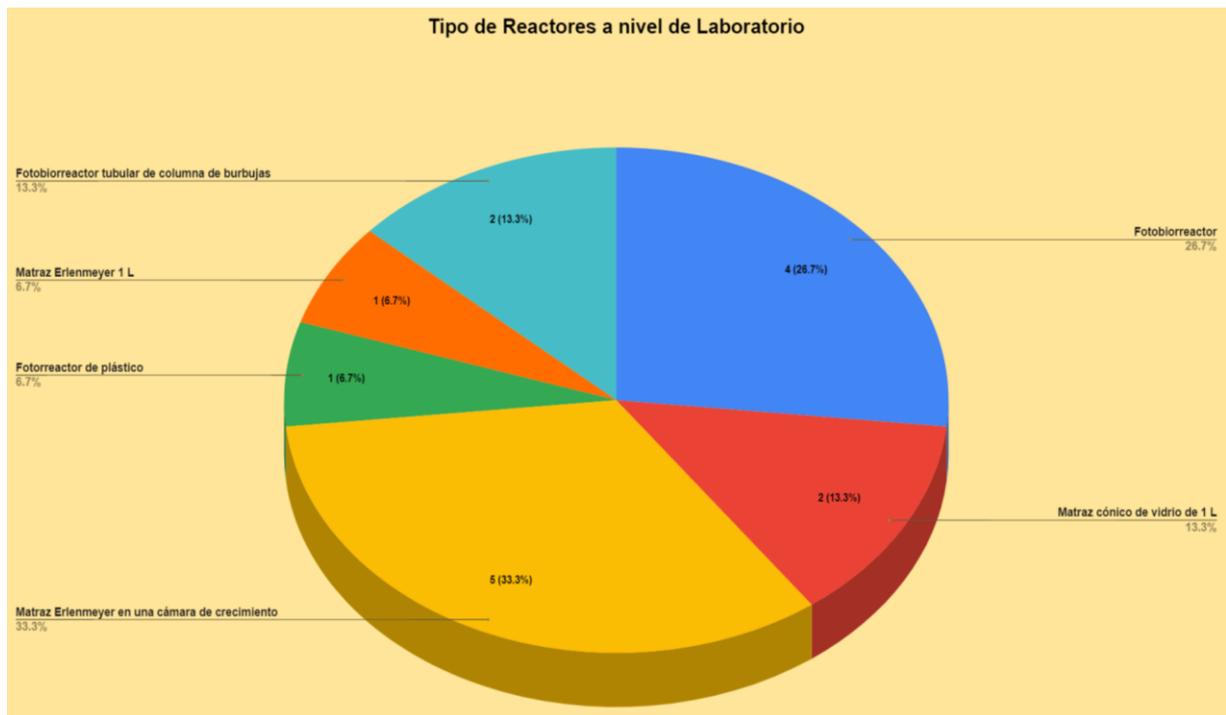


Figura 19. Porcentaje de tipo de reactores usados para tratamiento de aguas residuales textiles utilizando *Chlorella sp* y mejora del contenido de lípidos y biomasa.

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 16 se evidencia que los reactores de tipo abierto más usado fue matraz Erlenmeyer en una cámara de crecimiento con 33,3% seguido de son los fotorreactores con 26,7% y el reactor menos usado fue fotorreactor de plástico y matraz Erlenmeyer con 6,7%. Cabe mencionar que los reactores utilizados para los artículos recopilados fueron a nivel de laboratorio.

4.3. Describir las condiciones de operación más eficientes para el uso de *Chlorella sp* en aguas residuales textiles.

Tabla 13. Condiciones de operación más eficientes para el uso de *Chlorella sp* en aguas residuales textiles

Autor	Tipo de agua residual	Especie de microalgas	Condiciones de Operación					Eficacia de Eliminación	Biomasa/Lípido
			Tiempo	T°	pH	Iluminación	Aireación		
Fazal, et al. (2021)	Agua Residual Textil Diluida y sin Diluir	<i>Chlorella vulgaris</i>	13 días	25±2 °C	(-)	4000 a 5000 lux	Columna de burbujeo	DQO (99.7±4,2 %), (76,3± 2,8%), en Nitrógeno (N) y Fósforo (P) 95.7%.	31.26 mg/l y 11,07 mg/l.
Ge, et al. (2018)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella vulgaris</i>	18 días	23 °C y 2%	6.8 a 7.4	120 ± 15 μmol/ (m2 ·s).	Si	N (95,5–99,8%), P (98,5–100%) y DQO (89,5-93,4%)	Lípidos (20,4 ± 3,4 mg/l/d.
Wu, et al. (2020)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella vulgaris</i> <i>Chlorella sp</i>	10 días	30°C	8	4300 lux	Rociador de aire	DQO 75%, N 90%, Color de agua 60%	Biomasa 0.109±0.003 g Biomasa 0.093±0.004 g
Majhi, et al (2021).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Pirenoidosa</i> (algas libres)	14 días	25 ± 2 °C	8	Constante	SI	Nitrato 43,2%, Fosfato 56,7%, DQO 78 % y DBO 71,4 %.	(-)

		<i>Chlorella Pirenoidosa</i> (algas inmovilizadas)						DQO 83,0 %, DBO 73,3 % Nitrate 46,7 %	
Gita, et al. (2019).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella vulgaris</i>	96 horas	24 ± 2°C	8	3500 ± 100 lux 16h luz y 8 h y oscuridad	Agito 2 veces al día	Los tintes textiles inhibieron el pigmento y la célula de algas.	Proteína 4.34 y 2.75
Wu, et al. (2020).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella sp</i>	432 h.	25 °C	10	9035 lux	Rociando aire a 2 vvm	Nutrientes 80,2%, en DQO 70,8% y Color 77,9%.	Lípidos 0,38 g/g.
Oyebamiji, et al. (2019)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella sorokiniana</i>	2 semanas		mu y básico	Constante	Agitación a 110 rpm en un agitador rotatorio	Color 70,03 %, Al 44% y Cu 67%.	Biomasa 1.35 g/l
Brar, et al. (2018)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Pyrenoidosa</i>	25 días	25 ± 2 °C	6,5	4 tubos de luz (40 W cada uno) durante 16 h	Se agito e 4-5 veces al día	DQO, 24 %, DBO 75,5%, Nitratos 68,86% y Fosfatos 28,00%.	Biomasa 3,78 ± 0,53 mg/L/d y a los 14 días 3,97 g/l.
Mubashar, et al. (2020)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Vulgaris</i>	5 días	25±2 °C	7	luz de 24 h a 100-120µmol/m ² /s.	Se mantuvo en una incubadora con agitación	DQO 49 %, metales pesados un 59 %.	Biomasa 2,18 g/l y 0,67 g/l/d.

		<i>Chlorella Vulgaris</i> + bacterias						DQO 74%, Metales 93 % y color 70%.	Biomasa 2.97 g/L y 0,902 g/l/d.
Subashini, Rajiv, (2018).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Vulgaris</i>	28 días	20°C - 23°C	8,6 3	12 h. luz y 12 h. oscuro	(-)	DBO 85.6%, DQO 85.8%, TDS 85.8%, Magnesio 89.6%.	(-)
Shubhangi et al. (2020)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Pyrenoidosa</i>	10 días	Ambiente	8,1	5400 lux, luz/16 y oscuridad/8 horas	(-)	N y P 80 %, DQO y DBO 88.4%.	Biomasa fue de 0,98 ± 0,3 g/l/día.
Behl, et al. (2019).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Pyrenoidosa</i>	15 días	24°C	3,2	1500 lx 16h luz 8h oscuro	condiciones anaeróbicas	Decoloración de 36%.	Mejora en Lípidos del 9 %
Kumar, et al. (2018)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella sp</i>	95 días	Ambiente	8,2 9,0	12 h de oscuridad y 12 h de luz	Bomba de aireación	Color 68 - 72 %, N 98.2 y 99.7, P 70.5 - 80.5%, DQO 84.86 y 95%	Biomasa de 0,49 g/l/día.
Javed, et al. (2022)	Agua Residual Textil	<i>Chlorella vulgaris</i>	12 días	25±5 °C	6,3 - 6,5	400-500 lux	Bomba de aireación	Decoloración 99±0.13 y DQO 82%.	Biomasa 2.91±0,01 g /l

Moorthy et al. (2021).	Agua Residual Textil	<i>Chlorella Vulgaris</i>	96 horas	24±2 °C.	(-)	3500±100 lux 12h luz y 12h oscuridad	condiciones fotoautótrofas	Tasa de inhibición más alta 98,96 % e inhibición más baja del 45,82 % a 0,1 mg/l 96 h.	La productividad varía según la concentración de colorantes.
------------------------	----------------------	---------------------------	----------	----------	-----	--------------------------------------	----------------------------	--	--

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con la Tabla 13, se puede observar que la mayor eficiencia se da con el uso de *Chlorella vulgaris*, (Abarna et al., 2021), en condiciones de operación con un tiempo de 96 horas, temperatura de $24\pm 2^{\circ}\text{C}$., iluminación de 12:12 h períodos de luz y oscuridad fluorescentes y con una aireación en condiciones fotoautótrofas. Asimismo, en la eliminación del contenido encontraron un 98,96% y una tasa de inhibición similar del 98,08 % a 60 mg/l; sin embargo, notaron una inhibición más baja del 45,82 % a 0,1 mg/l una concentración de tratamiento más alta de 10 mg/l (0.72 $\mu\text{g/ml}$), del mismo modo, en biomasa y lípidos el contenido de carotenoides se redujo a 2,5 mg/l; 5,96 mg/l y 3,57 mg/l veces en comparación con el control. Por otro lado, para Gita et al. (2021), con una condición similar en un tiempo de 96 horas, temperatura de $24\pm 2^{\circ}\text{C}$., con un pH de 8, iluminación de 16h luz y 8 h y oscuridad, y con una buena aireación, obteniendo como resultado una baja eficiencia de eliminación, inhibieron el crecimiento, el pigmento y la composición elemental de las células de algas, en la productividad de biomasa, el contenido de proteína fue 4.34 y 2.75 variando según la concentración del colorante.

Además, Mubashar, et al. (2020), tuvo 2 pruebas con *Chlorella vulgaris* en un periodo de 5 días, temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, un pH neutro con una iluminación de 24h y con aireación, obteniendo resultados en la reducción de DQO 49% y metales 59% y DQO 74%, metales 93%, color 70% esto con microalga + bacterias, por último, en producción de biomasa 2,18 g/l y biomasa 2,97 g/l. Evidenciándose así que la microalga *Chlorella* + bacteria tuvo un mayor resultado que la microalga sola. Por otro lado, Behl, et al 2019 utilizó a *Chlorella Pyrenoidosa*, con un periodo de 15 días a temperatura 24°C , utilizando un pH ácido de 3,2 con iluminación de 16h luz y 8h oscuro, obteniendo resultados en decoloración del 36% y obteniendo mejora en lípidos del 9%.

V. CONCLUSIONES

- Se concluye que la microalga más usada en tratamientos de aguas residuales textiles es la *Chlorella vulgaris*, ya que obtuvo una la mayor remoción de DQO en agua residual de $99.7 \pm 4,2$ %, en Nitrógeno y Fósforo la remoción fue de 95.7%, seguido de *Chlorella Pyrenoidosa* obteniendo un resultado no tan alto en Nitrato y Fósforo 80 %, DQO y DBO 88.4%, y por último, *Chlorella sp* con un nivel bajo en porcentaje de eficacia en fósforo 70.5%, DBO Y DQO 70,8%.
- Como conclusión, el reactor más usado a nivel de laboratorio fue el matraz Erlenmeyer en una cámara de crecimiento usando *Chlorella Vulgaris* con eficacia de eliminación DQO 74%, metales 93%, color 70% y producción de biomasa 0,902 g/L/d, por otro lado, haciendo uso del fotobiorreactor tubular de columna, se obtuvo una eliminación en coloración y DBO de 99 ± 0.13 y 82%, al igual en biomasa y lípidos con $2.91 \pm 0,01$ g.
- Por otro lado, las mejores condiciones operacionales a utilizar en el tratamiento de aguas residuales textiles, de los cuales poseemos con un tiempo de 25 días, temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, pH 6.5, iluminación con 4 tubos de luz (40 W cada uno) durante 16h y se agito de 4-5 veces al día, eliminación DQO, 24 %, DBO 75,5%, Nitratos 68,86% y Fosfatos 28,00%, para biomasa y lípidos Biomasa $3,78 \pm 0,53$ mg/L/d.
- Finalmente, se concluye de manera general, que la mayoría de estudios evidencian que haciendo uso de la microalga *Chlorella Vulgaris* para tratar las aguas residuales textiles, son muy eficaz y por esa razón que es aconsejable la utilización de las microalgas para el tratamiento de las aguas textiles, ya que demuestran una eficacia significativa del 99,8% para la remediación de los contaminantes presentes en dichas aguas, asimismo, pueden ser aplicables, ya que son de bajo costo, sustentables y compatibles con el ambiente.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que los siguientes estudios investigan de otros tipos contaminantes de agua residual, haciendo uso de otros tipos de microalgas, con el objetivo de establecer la eficacia en los diferentes componentes que ponen en peligro la calidad de agua, ya que estas especies no solo son de bajo costo, si no también que son amigables con el medio ambiente.
- Además, se recomienda investigar la eficacia en cada tipo de tinte textil por separado y mezclado, haciendo uso de los tipos de microalga para ver cuál de las especies obtuvo mejor reducción de eliminación.
- Por otro lado, es importante los estudios sobre la interacción de las microalgas con otras especies como bacterias u hongos y su eficacia en eliminación de los contaminantes de las aguas residuales.

REFERENCIAS

1. ABARNA, K; et al. Acute toxicity of textile dye Methylene blue on growth and metabolism of selected freshwater microalgae, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, Volume 82, 2021, ISSN 1382-6689. Disponible en: [10.1016/j.etap.2020.103552](https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103552).
2. ALI, M; MASOOD, A; SALEEM, M. Microalgae cultivation in wastewater for simultaneous nutrient removal and biomass production. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 2021, vol. 12, nº 3, pág. 475-485. Disponible en: [10.1007/s40095-021-00383-3](https://doi.org/10.1007/s40095-021-00383-3).
3. AL-MAMUN, M, et al. Photocatalytic activity improvement and application of UV-TiO₂ photocatalysis in textile wastewater treatment: A review, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2019, ISSN 2213-3437. Disponible en: [10.1016/j.jece.2019.103248](https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103248).
4. AMARAL, M; et al. Evaluation of cell growth performance of microalgae *Chlorella minutissima* using an internal light integrated photobioreactor, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Volume 8, Issue 5, 2020, 104200, ISSN 2213-3437. Disponible en: [10.1016/j.jece.2020.104200](https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104200).
5. ANDRADE. Microalgae for bioremediation of textile wastewater. An overview. *Food processing technology from the Ministry of Justice*. 2018, ISSN: 432-433. Disponible en: [10.15406/mojfpt.2018.06.00200](https://doi.org/10.15406/mojfpt.2018.06.00200).
6. AZUERO, Ángel Enrique Azuero. Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 2019, vol. 4, no 8, p. 110-127. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7062667>
7. BAENA, Guillermina. Metodología de la investigación [en línea]. 3.^a ed. Ciudad de México : Grupo Editorial Patria, 2017 [fecha de consulta: 19 de

- febrero de 2022]. Disponible en <https://editorialpatria.com.mx/detalle-delibro.php?IDL=820&IDN=1> ISBN:9786077447481.
8. BELTRÁN, C; et al. Biotreatment of secondary effluents Municipalities using microalgae: Effect of pH, nutrient (C, N and P) and CO2 enrichment. (En Línea) (Consultado: 28 de junio del 2022). Disponible: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CL2021A04065>
 9. BELTRAN, O. Revisiones sistemáticas de la literatura. 2005. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcg/v20n1/v20n1a09.pdf>
 10. BENAVENTES, R; et al. Microalgae an innovative source of dyes. (En línea). (Consultado: 29 de junio del 2022). Disponible: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2018/06/21/microalgas-una-innovadora-fuente-de-colorantes/>
 11. BHARDWAJ, Deepti; BHARADVAJA, Navneeta. Phycoremediation of effluents containing dyes and its prospects for value-added products: A review of opportunities, Journal of Water Process Engineering, Volume 41, 2021, 102080, ISSN 2214-7144. Disponible en: [10.1016/j.jwpe.2021.102080](https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102080).
 12. 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, 2018, ISSN: 17351472. Disponible en: [10.1007/s13762-018-2133-9](https://doi.org/10.1007/s13762-018-2133-9).
 13. CASADEVALL, A; FANG, F. Rigorous Science: a How-To Guide. Authors info & Affiliations. 2016. Disponible en: [10.1128/mBio.0190](https://doi.org/10.1128/mBio.0190).
 14. CASTILLO, E; VÁSQUEZ, M. El rigor metodológico en la investigación cualitativa. *Colombia médica*, 2003, vol. 34, no 3, p. 164-167. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/283/28334309.pdf>

15. CASTILLO, M. Técnicas e instrumentos para recoger datos del hecho social educativo. *Revista Científica Retos de la Ciencia*, 2021, vol. 5, no 10, Disponible en: <https://retosdelacienciaec.com/Revistas/index.php/retos/article/view/349/373>.
16. CHAWLA, Pushap, et al. Selection of optimum combination via comprehensive comparison of multiple algal cultures for treatment of diverse wastewaters. *Environmental Technology & Innovation*, 2020, ISSN 2352-1864. Disponible en: [10.1016/j.eti.2020.100758](https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100758).
17. CHIN, Jian Yean, et al. Removal of synthetic Dye by *Chlorella Vulgaris* microalgae as natural adsorbent, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2020, ISSN 2193567X. Disponible en: [10.1007/s13369-020-04557-9](https://doi.org/10.1007/s13369-020-04557-9).
18. CONCYTEC. Código nacional de la integración científica. 2018. Disponible en: <https://portal.concytec.gob.pe/images/publicaciones/Codigo-integridad-cientifica.pdf>.
19. COSTA, Jorge; et al. Chapter 9 - Open Pond systems for microalgal culture, Editor(s): Ashok Pandey, Jo-Shu Chang, Carlos Ricardo Soccol, Duu-Jong Lee, Yusuf Chisti, In Biomass, Biofuels, Biochemicals, Biofuels from Algae (Second Edition), Elsevier, 2019, Pages 199-223, ISBN 9780444641922. Disponible en: [10.1016/B978-0-444-64192-2.00009-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64192-2.00009-3).
20. DELFAU, Guillaume; et al. Evaluation of the Potential of Lipid-Extracted *Chlorella vulgaris* Residue for *Yarrowia lipolytica* Growth at Different pH Levels. *Marine Drugs* 20, 2022. Disponible en: [10.3390/md20040264](https://doi.org/10.3390/md20040264).
21. DRAGONE, G. Challenges and opportunities to increase economic feasibility and sustainability of mixotrophic cultivation of green microalgae of the genus *Chlorella*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 160, 2022, 112284, ISSN 1364-0321, Disponible en: [10.1016/j.rser.2022.112284](https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112284).

22. ESCOBEDO, Manuel y CALDERON, Augusto. Biomasa microalgal con alto potencial para la producción de biocombustibles. *Scientia Agropecuaria* [En Línea]. 2021, vol.12, n.2 [citado 2022-11-16], pp.265-282. ISSN 2077-9917. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.030>.
23. FAZAL, Tahir, et al. Bioremediation of textile wastewater and successive biodiesel production using microalgae, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, ISSN 1364-0321. Disponible en: [10.1016/j.rser.2017.10.029](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.029).
24. FAZAL, Tahir, et al. Integrating bioremediation of textile wastewater with biodiesel production using microalgae (*Chlorella vulgaris*), *Chemosphere*, 2021, ISSN 0045-6535. Disponible en: [10.1016/j.chemosphere.2021.130758](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130758).
25. FERREIRA, Cintia; et al. Microalgae bioremediation and CO2 fixation of industrial wastewater, *Cleaner Engineering and Technology*, Volume 8, 2022, 100466, ISSN 2666-7908. Disponible en: [10.1016/j.clet.2022.100466](https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100466).
26. GARCÍA, R; et al. Anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) scale-up from laboratory to pilot-scale for microalgae and primary sludge co-digestion: Biological and filtration assessment. *Bioresource Technology*, 316, 123930. 2020. Disponible en: [10.1016/j.biortech.2020.123930](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123930)
27. GAVIRIA, Maria; et al. Evaluating the scale-up of a reactor for the treatment of textile effluents using *Bjerkandera* sp. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 2018. Disponible en: [10.17533/UDEA.REDIN.N88A09](https://doi.org/10.17533/UDEA.REDIN.N88A09).
28. GE, Shijian, et al. Centrate wastewater treatment with *Chlorella vulgaris*: Simultaneous enhancement of nutrient removal, biomass and lipid production, *Chemical Engineering Journal*, 2018, ISSN 1385-8947. Disponible en: [10.1016/j.cej.2018.02.058](https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.02.058).
29. GIMÉNEZ, J; et al. Assessment of cross-flow filtration as a technique for collecting microalgae before anaerobic digestion: assessment of biomass

- integrity and energy demand *Bioresource Technology*, 2018, Disponible en: [10.1016/j.biortech.2018.08.052](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.08.052).
30. GUILLÉN, María, et al. Tratamiento fisicoquímico de los efluentes del proceso de lavado de lana en una industria textil de Arequipa. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2020, vol. 86, no 4, p. 428-438. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810634X2020000400428&script=sci_arttext.
31. HAWROT-PAW, et al. Biomass production of microalgae using aquaculture wastewater as growth medium. *Water* 12, no. 1: 106. 2020. Disponible en: [10.3390/w12010106](https://doi.org/10.3390/w12010106)
32. HILARES, Rully; et al. precipitation followed by microalgae (*Chlorella vulgaris*) cultivation as a new approach for poultry slaughterhouse wastewater treatment, *Bioresource Technology*, Volume 335, 2021, 125284, ISSN 0960-8524. Disponible en: [10.1016/j.biortech.2021.125284](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125284).
33. HILL, Catherine; WILLOUGHBY, Nik; BRIDLE, Helen. Efficient high-concentration dewatering of *Chlorella vulgaris* utilizing spiral inertial microfluidics, *Bioresource Technology Reports*, Volume 18, 2022, 101014, ISSN 2589-014X. Disponible en: [10.1016/j.biteb.2022.101014](https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101014).
34. JAVED, et al. Real textile industrial wastewater treatment and biodiesel production using microalgae, *Biomass and Bioenergy*, Volume 165, 2022, ISSN 0961-9534. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106559>.
35. JIANG, Liqun; LI, Yizhen; PEI, Haiyan. Algal–bacterial consortia for bioproduct generation and wastewater treatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 149, p. 111395. Disponible en: [10.1016/j.rser.2021.111395](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111395).
36. KAI RU, Irene, et al. *Chlorella vulgaris*: A perspective on its potential for combining high biomass with high value bioproducts. *Applied Phycology*,

- 2020, Applied Phycology, ISSN: 2638-8081. Disponible en: [10.1080/26388081.2020.1715256](https://doi.org/10.1080/26388081.2020.1715256).
37. KOU, CH; et al. Cultivation and Biorefinery of Microalgae (*Chlorella* sp.) for Producing Biofuels and Other Byproducts: A Review *Sustainability* 13, no. 23, 2021. Disponible en: [10.3390/su132313480](https://doi.org/10.3390/su132313480).
38. KOUL, B; SHARMA, K; SHAH, M. Phycoremediation: A sustainable alternative in wastewater treatment (WWT) regime, *Environmental Technology & Innovation*, Volume 25, 2022, 102040, ISSN 2352-1864. Disponible en: [10.1016/j.eti.2021.102040](https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102040).
39. KUMAR, Gopalakrishnan, et al. Evaluation of gradual adaptation of mixed microalgae consortia cultivation using textile wastewater via fed batch operation. *Biotechnology Reports*, 2018, ISSN 2215-017X. Disponible en: [10.1016/j.btre.2018.e00289](https://doi.org/10.1016/j.btre.2018.e00289).
40. MAJHI, Kothari, et al. Impact of pH on Pollutional Parameters of Textile Industry Wastewater with Use of *Chlorella pyrenoidosa* at Lab-Scale: A Green Approach. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2021. Disponible en: [10.1007/s00128-021-03208-5](https://doi.org/10.1007/s00128-021-03208-5).
41. MAJHI, Pradeep, et al. Impact of pH on Pollutional Parameters of Textile Industry Wastewater with Use of *Chlorella pyrenoidosa* at Lab-Scale: A Green Approach. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2022, ISSN 00074861. Disponible en: [10.1007/s00128-021-03208-5](https://doi.org/10.1007/s00128-021-03208-5).
42. MISHRA, Shubhangi, et al. Development of Sustainable Phycoremediation with the help of *Chlorella Pyrenoidosa* for Textile Wastewater Analysis using Response Surface Methodology. 2020. Disponible en: [10.21203/rs.3.rs-98881/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-98881/v1).
43. MOORTHY, et al. Acute toxicity of textile dye Methylene blue on growth and metabolism of selected freshwater microalgae, *Environmental Toxicology*

- and Pharmacology, Volume 82,2021,ISSN 1382-6689. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103552>.
44. MUBASHAR, Muhammad, et al. Experimental investigation of *Chlorella Vulgaris* and Enterobacter sp. MN17 for decolorization and removal of heavy metals from textile wastewater, 2020, *Water (Switzerland)*, ISSN: 20734441. Disponible en: [10.3390/w12113034](https://doi.org/10.3390/w12113034)
45. MUNIZ, Jessica; et al. *Chlorella sorokiniana* as bioremediator of wastewater: Nutrient removal, biomass production, and potential profit, *Bioresource Technology Reports*, Volume 17, 2022, 100933, ISSN 2589-014X. Disponible en: [10.1016/j.biteb.2021.100933](https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100933).
46. NAGARAJAN, Dillirani, et al. Resource recovery from wastewaters using microalgae-based approaches: A circular bioeconomy perspective, *Bioresource Technology*, 2020, ISSN 0960-8524. Disponible en: [10.1016/j.biortech.2020.122817](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122817).
47. NIGAM, Harshita; MALIK, Anushree; SINGH, Vikram. A new microalgae growth medium based on nanoemulsion to improve biomass production, *Biotechnology Biofuels*, 2021. Disponible en: [10.1186/s13068-021-01960-8](https://doi.org/10.1186/s13068-021-01960-8).
48. NIGAM, Subhasha; et al. Self-sustainable *Chlorella pyrenoidosa* strain NCIM 2738 based photobioreactor for removal of Direct Red-31 dye along with other industrial pollutants to improve the water-quality, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 306, 2018, Pages 386-394, ISSN 0304-3894. Disponible en: [10.1016/j.jhazmat.2015.12.011](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.12.011).
49. OKTOR, Kadriye; ÇELİK, Dicle. Treatment of wash basin and bathroom greywater with *Chlorella variabilis* and reusability. *Journal of Water Process Engineering*, 2019, ISSN 2214-7144. Disponible en: [10.1016/j.jwpe.2019.100857](https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100857).
50. OYEBAMIJI, Olufunke; et al. Green microalgae cultured in textile wastewater for biomass generation and biodegradation of heavy metals and

- chromogenic substances. *Bioresource Technology Reports*, 100247. (2019). Disponible en: [10.1016/j.biteb.2019.100247](https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100247).
51. PETER, A; et al. Microalgae for biofuels, wastewater treatment and environmental monitoring. *Environmental Chemistry Letters*, 19(4), ISSN: 2891–2904, 2021. Disponible en: [10.1007/s10311-021-01219-6](https://doi.org/10.1007/s10311-021-01219-6).
52. PREMARATNE, M. Bioremediation of Textile Dye Wastewater using Microalgae: Current Trends and Future Perspectives. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 96, 2021, ISSN: 3249-3258. Disponible en: [10.1002/jctb.6845](https://doi.org/10.1002/jctb.6845).
53. PURBA, Laila, et al. Enhanced cultivation and lipid production of isolated microalgae strains using municipal wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 2022, ISSN 2352-1864. Disponible en: [10.1016/j.eti.2022.102444](https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102444).
54. REN, Lingxiao, et al. Comparative Study of Responses and Adaptive Capacity of Algae to Ultraviolet Radiation with Different Nutrient Regimes. in *t. J. Environment. Res. Public Health* 2022, 19, 5485. Disponible en: [10.3390/ijerph19095485](https://doi.org/10.3390/ijerph19095485).
55. RUSCASSO, Florencia; et al. Cavalitto, *Debaryomyces hansenii* F39A as biosorbent for textile dye removal, *Revista Argentina de Microbiología*, Volume 53, Issue 3, 2021, Pages 257-265, ISSN 0325-7541. Disponible en: [10.1016/j.ram.2020.10.004](https://doi.org/10.1016/j.ram.2020.10.004).
56. SALAS, G. Advanced oxidation treatment (Fenton reaction) of wastewater from the textile industry. *Peruvian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 2018, vol. 13, no 1, p. 30-38.
57. SHAHID, Ayesha; et al. Cultivating microalgae in wastewater for biomass production, pollutant removal, and atmospheric carbon mitigation; a review, *Science of The Total Environment*, Volume 704, 2020, 135303, ISSN 0048-9697. Disponible en: [10.1016/j.scitotenv.2019.135303](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135303).

58. SHARMA, et al. Production of a sustainable fuel from microalgae *Chlorella minutissima* grown in a 1500 L open raceway ponds. *Biomass and Bioenergy*, 2021, vol. 149, p. 106073. Disponible en: [10.1016/j.biombioe.2021.106073](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106073)
59. SNYDER, H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines, *Journal of Business Research*, Volume 104, 2019, Pages 333-339, ISSN 0148-2963. Disponible en: [10.1016/j.jbusres.2019.07.039](https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039).
60. SUAREZ, M. El saber pedagógico de los profesores de la Universidad de Los Andes Táchira y sus implicaciones en la enseñanza. 2007. Tesis Doctoral. Universitat Rovira i Virgili. ISBN: 978-84-690-7627-9 Disponible en: <https://tdx.cat/bitstream/handle/10803/8922/10CapituloXEIcaracterCientificodelainvestigaciontfc.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
61. SUBASHINI, P; RAJIV, P. An Investigation on the Treatment of Textile Wastewater with *Chlorella Vulgaris*". *Oriental journal of chemistry*. 2018 ISSN: 0970-020X. Disponible en: [10.13005/ojc/340538](https://doi.org/10.13005/ojc/340538).
62. SUN, H; et al. Powerful tools for productivity improvements in microalgal production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 152, 2021, ISSN 1364-0321. Disponible en: [10.1016/j.rser.2021.111609](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111609).
63. TAIT, Karen, et al. Characterisation of bacteria from the cultures of a *Chlorella* strain isolated from textile wastewater and their growth enhancing effects on the axenic cultures of *Chlorella Vulgaris* in low nutrient media, *Algal Research*, 2019, ISSN 2211-9264. Disponible en: [10.1016/j.algal.2019.101666](https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101666).
64. TALE, Manisha, et al. Effect of gamma irradiation on lipid accumulation and expression of regulatory genes involved in lipid biosynthesis in *Chlorella sp.* *Journal of applied phycology*, 2018, ISSN 0921-8971. Disponible en: [10.1007/s10811-017-1229-9](https://doi.org/10.1007/s10811-017-1229-9).

65. UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO. Resolución de Consejo Universitario N 0262-2020/UCV. 2020. Disponible en: <https://www.ucv.edu.pe/wp-content/uploads/2020/11/RCUN%C2%B00262-2020-UCV-Aprueba-Actualizaci%C3%B3n-del-C%C3%B3digo-%C3%89tica-en-Investigaci%C3%B3n-1-1.pdf>
66. VACCA, Víctor, et al. Use of the microalgae *Chlorella sp.* Alive in suspension in decolorizing wastewater from a textile company. Perspective. [online]. 2018, vol.15, no.1, pp.93-99. ISSN 1692-8261. [10.15665/rp.v15i1.829](https://doi.org/10.15665/rp.v15i1.829).
67. WANG, X. Reviewing Textile Wastewater Produced by Industries: Characteristics, Environmental Impacts, and Treatment Strategies. Water science and technology, 2022, ISSN 2076–2096. Disponible en: [10.2166/wst.2022.088](https://doi.org/10.2166/wst.2022.088).
68. WU, Jane, et al. Immobilized *Chlorella* species mixotrophic cultivation at various textile wastewater concentrations. *Journal of Water Process Engineering*, 2020, ISSN 2214-7144. Disponible en: [10.1016/j.jwpe.2020.101609](https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101609).
69. YASEEN D, SCHOLZ, M. Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2018. Disponibles en: [10.1007/s13762-018-2130-z](https://doi.org/10.1007/s13762-018-2130-z).
70. YOUNIS, Sherif; et al. Photocatalytic and biocidal activities of ZnTiO₂ oxynitride heterojunction with MOF-5 and g-C₃N₄: A case study for textile wastewater treatment under direct sunlight, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 410, 2021, 124562, ISSN 0304-3894. Disponible en: [10.1016/j.jhazmat.2020.124562](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124562).
71. ZARUMA, Pablo, et al. Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: una breve revisión. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 2018, no 19, p. 38-47. Disponible en:

<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/221>

[6](#)

72. Zhou, Lijie; et al. Core nitrogen cycle of biofoulant in full-scale anoxic & oxic biofilm-membrane bioreactors treating textile wastewater, *Bioresource Technology*, Volume 325, 2021, ISSN 0960-8524. Disponible en: [10.1016/j.biortech.2021.124667](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124667).

73. ZÚCCARO, Gaetano; et al. Chapter 2 - Microalgae Cultivation Systems, Editor(s): Abu Yousuf, *Microalgae Cultivation for Biofuels Production*, Academic Press, 2020, Pages 11-29, ISBN 9780128175361. Disponible en: [10.1016/B978-0-12-817536-1.00002-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817536-1.00002-3).

ANEXOS

Tabla 14: Matriz de Categorización

Problema Específicos	Objetivos Específicos	Categoría	Subcategoría	Indicadores	Referencias
¿Qué tipo de especies de <i>Chlorella sp</i> son más usadas para el tratamiento de aguas residuales textiles?	Especificar el tipo de especies de <i>Chlorella sp</i> son más usadas para el tratamiento de aguas residuales textiles	Tipo de especies de <i>Chlorella sp</i>	Microalga <i>Chlorella</i>	<i>Chlorella sp</i>	Baroni et al., 2019
				<i>Chlorella Vulgaris</i>	Wu et al., 2020; Subashini, Rajiv. 2018; Ge. et al (2018),
				<i>Chlorella Pyrenoidosa</i>	Ren et al., 2022; Shubhangi, et al. 2021
				<i>Chlorella Variabilis</i>	Mubashar et al., 2020 Oktor, Celik. 2019
				<i>Chlorella Minutissima</i>	(Amaral, et al., 2020, p.1)
		Contenido lípidos y biomasa	Contenido de lípidos	Purba et al., 2022, p. 10; Dragone, 2022, p.	
			contenido de biomasa	Ren et al., 2022	
¿Qué tipo de reactores se emplean para el tratamiento de aguas	Comparar los tipos de reactores (nivel de laboratorio) se emplean para el tratamiento de	Tipo de reactores	Abierto	Raceway	Costa, et al, 2019, p.3. Zuccaro, et al, 2020, p.10) (Costa, 2019, p.3
				Biorreactores de membrana anaeróbica	(Zou et al., 2021, p.2); (García et al., 2020).

residuales textiles utilizando <i>Chlorella sp</i> y mejora del contenido de lípidos y biomasa?	aguas residuales textiles utilizando <i>Chlorella sp</i> y mejora del contenido de lípidos y biomasa		Cerrado	Fotobiorreactor tubular de columna de burbujas	(shubhangi, et al., 2020, p.4)
				Reactor batch	Younis et al., 2021
				Fotobiorreactor de membrana	Giménez et al., 2018.
				Reactor Tubular de lecho de lecho fijo	Gaviria et al., 2018, p.3
¿Cuáles son las condiciones de operación más eficientes para el uso de la microalga <i>Chlorella sp</i> en el tratamiento de aguas residuales textiles?	Describir las condiciones de operación más eficientes para el uso de <i>Chlorella sp</i> en aguas residuales textiles	Condiciones de operación	Tiempo	Razón	Kai Ru et al., 2020 Kou et al., 2021, p.8 Ferreira et al., 2022, p.4 Abarna et al., 2021, p. 7
			Temperatura		
			pH		
			Iluminación		
			Aireación		



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SILVA CHUQUIPOMA DIEGO HONORATO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Tratamiento de Aguas Residuales Textiles usando Chlorella sp y Mejoramiento del Contenido de Lípidos y Biomasa. Revisión Sistemática 2022", cuyos autores son HARO PIZANGO WINIVER LUCY, CRUZ RODRIGUEZ NILHSER ALFREDO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 8.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 05 de Diciembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SILVA CHUQUIPOMA DIEGO HONORATO DNI: 47196626 ORCID: 0000-0001-9561-087X	Firmado electrónicamente por: DSILVA el 17-12- 2022 20:27:34

Código documento Trilce: TRI - 0472674