



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Biocarbón a base de algas para la mitigación de gases de efecto
invernadero: Revisión sistemática**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES:

Eulogio Adauto, Rocio Magaly (0000-0002-4281-0728)

ASESOR:

Dr. Lozano Sullca, Yimi Tom (0000-0002-0803-1261)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A quienes estuvieron conmigo apoyándome incondicionalmente mi papá, hermanas y en mención especial a mí amada madre quienes nunca dejaron de creer en mí a lo largo de este camino que me llevó al crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios que fue guía y sostén en mi travesía por estos caminos, a mis maestros y asesores quienes fueron mi apoyo principal en la elaboración de esta investigación.

INDICE DEL CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
INDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	15
3.1. Tipo y diseño de investigación	15
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización	15
3.3. Escenario de estudio	17
3.4. Participantes	17
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.6. Procedimiento	18
3.7. Rigor científico	19
3.8. Método de análisis de información	19
3.9. Aspectos éticos	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21

V. CONCLUSIONES	29
V. RECOMENDACIONES	30
BIBLIOGRAFÍA	31
ANEXOS	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Comparación de la biomasa de algas con la biomasa terrestre

Tabla N°2: Antecedentes de la aplicación de algas para elaboración de biocarbón

Tabla N° 3: Matriz de categorización apriorística

Tabla N°4: Sistemas de pirolisis en la elaboración de biocarbón a base de algas

Tabla N°5: Rendimiento de los biocarbones a partir de diferentes métodos de pirolisis

Tabla N°6: Métodos analíticos para determinar las propiedades químicas del biocarbón de algas

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Emisión de dióxido de carbono a la atmósfera por la producción de fertilizantes químicos

Figura N°2: Biocarbón de algas para la sostenibilidad del medio ambiente.

Figura N°3: secuestro de carbono y mitigación de GEI utilizando biocarbón de algas

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Procedimiento de selección de artículos

Gráfico N°2: Proceso térmico de elaboración del biocarbón a base de algas

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

GEI: Gases de efecto invernadero

COV: Compuestos orgánicos volátiles

SCFA: Ácidos grasos de cadena corta

FTIR: Espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo principal determinar el método de acción del biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero, para lo cual se buscó resolver analizar los sistemas de pirolisis, el rendimiento de los biocarbones y los métodos analíticos, presentando una metodología aplicada, donde mediante un proceso de selección de 98 estudios, se incluyó al estudio 22 que cumplieron con todos los criterios de selección.

Se obtuvo que, los sistemas de pirolisis más usados para la producción de biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero se encuentra mediante el proceso térmico de pirolisis en un 77%; así mismo, el sistema de biomasa algal es la pirolisis avanzada. El rendimiento de los biocarbones a partir de diferentes métodos de pirolisis depende del tipo de pirolisis y el rendimiento del producto, siendo la pirolisis lenta y rápida la más usada y la que produce un alto rendimiento de biocarbón, es decir, 32,2 - 62,0% y por último, los métodos analíticos para determinar las propiedades químicas del biocarbón de algas son las técnicas de análisis aproximado, análisis final o elemental y espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier, siendo la técnica de FTIR la más usada para el método de acción del biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: Biocarbón, algas, microalgas, gases de efecto invernadero, biomasa de biocarbón, pirolisis, catalizador

ABSTRACT

The main objective of this study was to determine the method of action of biochar from algae to capture and sequester carbon for the mitigation of greenhouse gases, for which we sought to analyze the pyrolysis systems, the performance of biochar and the analytical methods, presenting an applied methodology, where through a selection process of 98 studies, 22 that met all the selection criteria were included in the study.

It was obtained that, the most used pyrolysis systems for the production of biochar from algae to capture and sequester carbon for the mitigation of greenhouse gases is through the thermal pyrolysis process in 77%; likewise, the algal biomass system is the advanced pyrolysis. The yield of biochar from different pyrolysis methods depends on the type of pyrolysis and the product yield, with slow and fast pyrolysis being the most used and producing a high biochar yield, i.e. 32.2 - 62.0% and finally, the analytical methods to determine the chemical properties of algal biochar are approximate analysis techniques, Fourier transform infrared spectroscopy, being the FTIR technique the most used for the method of action of biochar from algae to capture and sequester carbon for greenhouse gas mitigation.

Key words: Biochar, algae, microalgae, greenhouse gases, biochar biomass, pyrolysis, catalytic.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático debido al calentamiento global es el resultado del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero, que es el problema ambiental más importante de la época actual a escala mundial (Huangpeng Q. et al., 2021, p.3). El cambio climático es un fenómeno que ocurre a largo plazo y varios miles de años (Ghiasi Mohammad et al., 2019, p.2). Recientemente, con el desarrollo de la industria y el crecimiento de la población, la tendencia del cambio climático se ha acelerado (Mir Mahdi et al., 2020, p.1).

Por tal motivo, el cambio climático es el mayor desafío ambiental del siglo XXI que afecta a las comunidades humanas, los recursos naturales y la biodiversidad (Alajmi Reema Gh., 2021, p.2). Hoy en día, todos los países tienen una preocupación por las emisiones de carbono y la contaminación ambiental, que son fuentes vitales del cambio climático (Yazdanpanah M. y Zobeidi T., 2018, p.2).

Ha sido recientemente uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI que ha afectado dramáticamente a las comunidades humanas, los recursos naturales y la biodiversidad (Abdouli M. y Hammami D., 2017, p.1). Ya que, el cambio climático es uno de los determinantes significativos de la disponibilidad de recursos hídricos y la productividad y sostenibilidad de la agricultura (Sabbaghi M. et al., 2020, p.3).

En muchos países, el empeoramiento de las condiciones climáticas es atribuible a factores del sector económico como el crecimiento económico, el capital social, la población, la inversión extranjera directa, etc (Nino F., 2016, p.2). Además, estos factores económicos también juegan un papel esencial en la promoción de la sostenibilidad ambiental (Ren Xiaojun et al., 2021, p.3).

Pero, las prácticas agrícolas son un componente importante de las emisiones de gases de efecto invernadero agrícolas (Vetter Sylvia H. et al., 2017, p.3). La agricultura es una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial (Shamel A. y Ghadimi N., 2016, p.2).

Debido a ello, el cambio climático ha causado problemas ambientales, como impactos drásticos en los recursos hídricos y la productividad agrícola, especialmente en ambientes áridos y semiáridos (Sarkodie D. y Ozturk L., 2020, p.4). Cambios en los patrones de precipitación, el derretimiento de los glaciares polares y el aumento del

nivel del mar (Xu Zhiying et al., 2020, p.1). El aumento de las temperaturas globales es el resultado del aumento de los gases de efecto invernadero y la absorción excesiva de energía de la atmósfera terrestre; el aumento de los gases de efecto invernadero además ha alterado el equilibrio energético entre el sol y la Tierra (Feng Yu et al., 2018, p.2).

En consecuencia, para superar los efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud, se ha producido un cambio hacia los fertilizantes orgánicos u otros sustitutos, que son respetuosos con el medio ambiente y ayudan a mantener un entorno sostenible (Akbari Paria et al., 2019, p.2).

Las microalgas tienen un potencial de captura de dióxido de carbono (CO₂) y, por tanto, ayudan a mitigar el efecto invernadero, es el sistema biológico más productivo para generar biomasa (Yoshioka H., 2020, p.4). La alta tasa de crecimiento y la mayor eficiencia fotosintética de las especies de algas en comparación con las plantas terrestres las convierten en una magnífica alternativa hacia un medio ambiente sostenible (Yoshioka H. y Yoshioka Y., 2019, p.5). Además, pueden cultivarse en fotobiorreactores o estanques abiertos, lo que a su vez reduce la demanda de tierra cultivable (Jing Zhu et al., 2020, p.3).

El biocarbón derivado de las algas tiene un alto contenido en nutrientes y presenta la propiedad de intercambiar iones (Shardin A. et al., 2017, p.2). Por lo tanto, puede utilizarse para la agricultura sostenible sustituyendo parcialmente los fertilizantes químicos que degradan la fertilidad del suelo a largo plazo (Ramaswamy V. y Saleh F., 2020, p.1).

Es por tal motivo que la presente investigación propone el siguiente problema general: ¿Cuál es el método de acción del biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para así contribuir a la mitigación de gases de efecto invernadero?, y como problemas específicos:

PE1: ¿Cuáles son los sistemas de pirólisis más usados para la producción de biocarbón a partir de las algas, asimismo capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero?

PE2: ¿Cuál es el rendimiento de los biocarbones a partir de diferentes métodos de pirólisis para la mitigación de gases de efecto invernadero?

PE3: ¿Cuáles son los métodos analíticos para determinar las propiedades químicas del biocarbón de algas?

De igual manera se elaboró el siguiente objetivo general: “Determinar el método de acción del biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono y así contribuir a la mitigación de gases de efecto invernadero”, y como objetivos específicos:

OE1: Analizar los sistemas de pirólisis más usados para la producción de biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono y así contribuir a la mitigación de gases de efecto invernadero

OE2: Determinar el rendimiento de los biocarbones a partir de diferentes métodos de pirólisis para la mitigación de gases de efecto invernadero

OE3: Identificar los métodos analíticos para determinar las propiedades químicas del biocarbón de algas

La presente investigación se justifica teóricamente, debido al aporte literario que se pretende brindar a los futuros investigadores, para que se pueda ampliar conocimientos acerca de la aplicación del biocarbón a base de algas, sus propiedades y su efectividad; buscando como finalidad contribuir con la sociedad, debido a la necesidad de resolver la problemática del incremento de gases de efecto invernadero.

II. MARCO TEÓRICO

Desde los inicios de la Tierra, su clima ha cambiado constantemente, pero su velocidad nunca ha sido tan intensa como lo es hoy y según los investigadores, esta tasa de cambio se debe a las actividades humanas y al aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) (Van Rijswick., 2018, p.5).

Los gases de efecto invernadero se definen como 'componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y reemiten radiación infrarroja (Ray Avishek y De Sudipta, 2020, p.2). La concentración de estos gases está directamente relacionada con el aumento de las temperaturas globales (Li Kailing et al., 2021, p.1).

Indiscutiblemente, la emisión de gases de efecto invernadero ha sido desfavorable para el ecosistema (Nabgan et al., 2016, p.2). El metano (CH₄) es un gas traza reactivo fácilmente disponible que puede obtenerse de fuentes naturales y antropogénicas y es el principal constituyente del gas natural (Thogersen Jan et al., 2021, p.1). El CH₄ y el dióxido de carbono (CO₂) son los principales gases antropogénicos presentes en la atmósfera (LaChen Jinghu et al., 2021, p.2).

Ello, es debido al creciente desarrollo de las industrias y la abundancia de fuentes no renovables de carbono y H₂ que han provocado el aumento del depósito de gases de efecto invernadero (Santibanez Borda E. et al., 2021, p.3).

Las emisiones de gases de efecto invernadero son la principal causa del calentamiento global y juegan un papel importante en el cambio climático (Farooqi Ahmad S. et al., 2020, p.1). Otros factores externos que influyen en el cambio climático incluyen procesos como las fluctuaciones en la intensidad de la luz solar y las desviaciones en el camino de la Tierra (Alexander R., Poznikoff A. y Malherbe S., 2018., p.2).

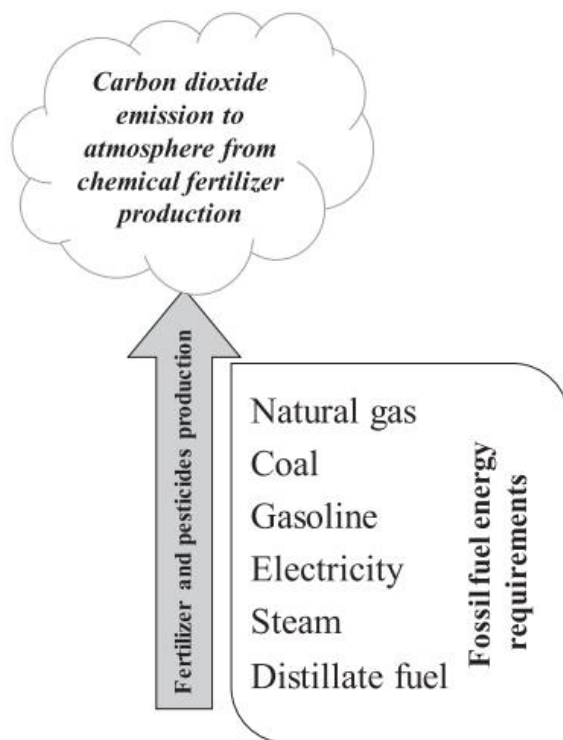
Los seres humanos contribuyen, a través de muchas de sus actividades económicas y de otro tipo, al aumento de las concentraciones atmosféricas de varios gases de efecto invernadero (Clery Diarmaid S. et al., 2021, p.7). Por ejemplo, las emisiones de CO₂ derivadas de la combustión de combustibles fósiles, las emisiones de metano

derivadas del aumento de la actividad humana y las emisiones de CFC contribuyen al efecto invernadero (Andersson O. y Borjesson P., 2021, p.2).

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los procesos y productos textiles son uno de los principales contribuyentes a la contaminación del aire (Magazzino C. et al., 2020, p.1). Algunos de los principales gases y compuestos tóxicos liberados son dióxido de carbono, óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx), mercurio y compuestos orgánicos volátiles (COV) (Lebo M. y Asis P., 2021, p.132).

Así mismo, las seis principales fuentes radiativas de forzamiento climático desde 1750, la agricultura ha influido directamente en cinco: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), carbón negro, óxido nitroso (NO) y ozono troposférico (O₃) (Kolb Sebastian et al., 2021, p.2). Estas fuentes juntas son responsables de aproximadamente el 80% del forzamiento climático contemporáneo y las actividades agrícolas afectan a algunos GEI más que a otros (García Cerrud et al., 2021, p.1).

Figura N°1: Emisión de dióxido de carbono a la atmósfera por la producción de fertilizantes químicos



Fuente: Wang Shuang et al., 2018

Como se muestra en la figura N°1, Los combustibles fósiles utilizados en la generación de fertilizantes químicos provocan la emisión de dióxido de carbono.

Tanto las emisiones directas como las indirectas de la agricultura contribuyen con alrededor del 30% de las emisiones antropogénicas (Klassen Viktor et al., 2016, p.7). Las fuentes de emisiones agrícolas son la conversión del uso de la tierra, la descomposición de la materia orgánica del suelo, la quema de biomasa, el cultivo de arroz, la fermentación entérica en el ganado, el manejo del estiércol, el uso de fertilizantes y el consumo de combustible para las operaciones agrícolas (por ejemplo, arado, fumigación, cosecha, secado de granos) (Klein Bruno C. et al., 2018, p.3).

Además, los fertilizantes contienen oligoelementos junto con los elementos principales, que se acumulan en el sistema del suelo en aplicaciones repetidas. Estos oligoelementos también se acumulan en los cultivos, afectando negativamente a la salud humana y formando parte de la cadena alimentaria (Tampio Elina A. et al., 2019, p.2).

Por ejemplo, los fertilizantes químicos con fosfato se fabrican a partir de la roca fosfórica, que contiene una gran variedad de oligoelementos naturales como el arsénico, el cadmio y el plomo, que pasan a formar parte de las mezclas NPK que contienen fosfato monoamónico, fosfato diamónico y superfosfato triple (Malyan Sandeep K. et al., 2016, p.3).

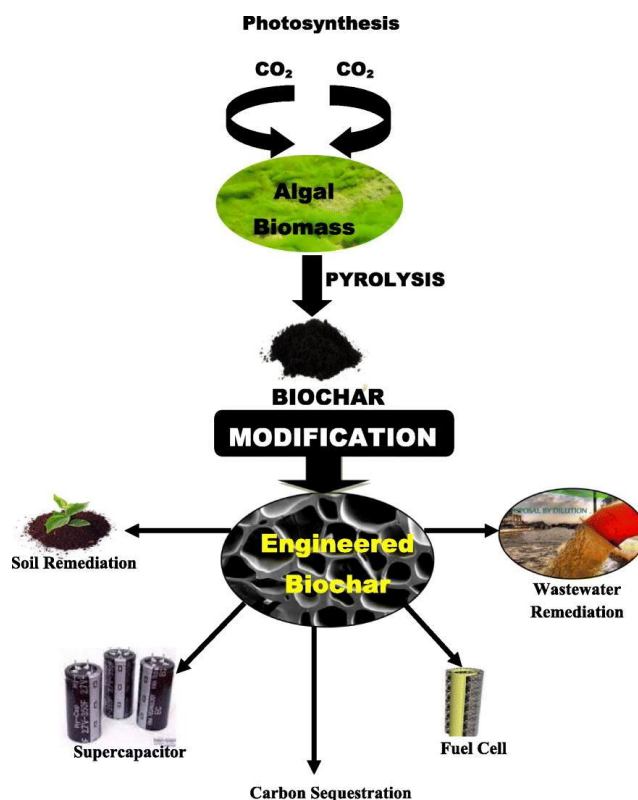
La concentración varía de cero a 21, 130 y 43 mg kg⁻¹ para As, Cd y Pb respectivamente, en los fosfatos de roca de todo el mundo (Fagodiya Ram K., 2020, p.6). Además, se sabe que los fertilizantes químicos de N afectan a la composición de la comunidad microbiana del suelo, el pH del suelo, la movilización y la capacidad de lixiviación de diferentes iones, más del 80% de los estudios informaron que la composición microbiana del suelo es sensible a los fertilizantes NPK (Kumar Amit et al., 2020, p.2).

De manera sintetizada, la agricultura es una de las principales fuentes importantes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial, no solo por su contribución directa a las emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), sino también por las emisiones asociadas con el cambio de uso de la tierra, la industria y transporte (a través de insumos como fertilizantes, pesticidas, combustible, electricidad y maquinaria) (Norouzi Omid et al., 2016, p.4).

Pero, la agricultura también tiene un gran potencial para reducir las emisiones y capturarlas; dado que los fertilizantes químicos no son sostenibles desde el punto de vista medioambiental, se necesitan otras opciones respetuosas con el suelo y el medio ambiente para mantener el equilibrio de nutrientes en el suelo y mejorar la productividad (Wang Duo et al., 2020, p.5).

El biocarbón es una de las formas más efectivas de enmendar el suelo cuando se compara con otras estrategias como la fijación biológica de nitrógeno o los inhibidores sintéticos de la nitrificación (Yuan Chuan et al., 2019, p.3). El biocarbón, un producto de la pirólisis de la materia orgánica, ha recibido una amplia atención como medio para mejorar la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos, y para absorber los contaminantes del suelo y secuestrar carbono para mitigar el cambio climático (Duan Xu et al., 2019, p.1).

Figura N°2: Biocarbón de algas para la sostenibilidad del medio ambiente.



Fuente: Singh Asha et al., 2021

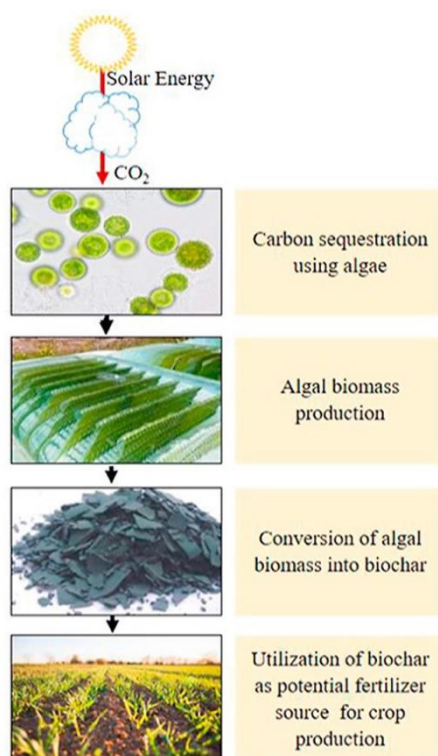
Como se muestra en la Figura N°2, biocarbón modificado a base de algas sirve para la remediación de contaminantes, fertilidad del suelo, absorber los contaminantes del suelo y secuestrar carbono, además del desarrollo de sistemas bioelectroquímicos

entre otros para la producción renovable, sostenible y de bajo costo de biosorbentes para la remediación.

La fijación biológica del nitrógeno presenta el problema de la volatilización del amoníaco, mientras que el inhibidor de la ureasa sólo es eficaz durante 7e14 días (Zhang Hao et al., 2020, p.2). Por otro lado, el biocarbón puede prevenir la lixiviación de nitrógeno, puede retener el exceso de nitrógeno y, por lo tanto, reduce la emisión de N2O (Panlanisamy M. et al., 2017, p.2). Además, el nitrógeno retenido se libera del biochar gradualmente cuando el nitrógeno del suelo se vuelve deficiente para apoyar el crecimiento de las plantas (Li Simeng y Chen Gang, 2019, p.4).

Las microalgas han llamado la atención como un enfoque alternativo para una fuente renovable rentable y respetuosa con el medio ambiente y útil para crear un entorno libre de contaminación (Oumette Andrew P. et al., 2018, p.1).

Figura N°3: secuestro de carbono y mitigación de GEI utilizando biocarbón de algas



Fuente: Mona Sharma et al., 2021

De acuerdo a la Figura N°3, se muestra como el biocarbón de macroalgas tiene propiedades que proporcionan beneficios de nutrientes directos a los suelos como producto de biocarbón, por lo tanto, a la productividad de los cultivos, y será particularmente útil para su aplicación en suelo.

En comparación con las plantas terrestres, las microalgas poseen una mayor capacidad de aumentar rápidamente la biomasa y tienen el potencial de ser utilizadas como biocombustibles como biodiésel, biohidrógeno, biogás, producir biolípidos y otros valiosos productos de biorrefinería como nutracéuticos, cosmeceúticos, productos farmacéuticos, biofertilizantes y también actúan como agente biorremediador además de secuestrar carbono (C) (Arun Jayaseelan et al., 2020, p.1).

Al procesar las algas, el contenido en lípidos genera biocrudo, y la pirólisis de la biomasa algal que contiene carbohidratos y proteínas produce biocarbón. Los polisacáridos de las algas también son muy útiles (Nagappan et al., 2019, p.7). Las ventajas y la importancia de la biomasa de algas frente a la biomasa terrestre se recogen en la Tabla N°1, de acuerdo al estudio realizado por Karthik et al., 2020, p.5).

Tabla N°1: Comparación de la biomasa de algas con la biomasa terrestre

Función	Biomasa de algas	Biomasa terrestre
Eficiencia fotosintética	6–8%	1.8–2.2%
Fijación de CO ₂	Alta	Comparativamente baja
Materia volátil	Más	Menos
Tierras de cultivo	No necesario	Necesario
Capacidad de captura de carbono	Alta	Baja
Ciclo de crecimiento	Más corto	Más largo

Fuente: Karthik et al., 2020

El biocarbón de algas, debido a sus propiedades físicas y químicas únicas, puede utilizarse adecuadamente en diferentes investigaciones y aplicaciones prácticas.

En particular, debido a su alta superficie específica, a los grupos funcionales oxigenados unidos a su superficie, a su carácter hidrofílico, a su superficie porosa y a su bajo coste, los biocarbones de algas son un buen sustituto de algunos nanocarbuos utilizados en los materiales de electrodos (nanotubos de carbono (CNT) y grafeno) (Gao Zan et al., 2017, p.1).

Las especies de microalgas más utilizadas para la preparación de biocarbón son *Arthrospira platensis*, *Desmodesmus communis*, *Dunaliella salina*, *Nannochloropsis oculata* (Placido J. et al., 2019, p.4), etc.

Entre las macroalgas, las especies utilizadas principalmente son *Caulerpa taxifolia*, *Chaetomorpha indica*, *Chaetomorpha linum*, *Cladophora coelothrix*, *Cladophora*

patentiramea, *Cladophora vagabunda* (Anto et al., 2021). Pero cabe recalcar que las macroalgas marinas son comparativamente más útiles en la eliminación de metales pesados (Poo Kyung Min et al., 2018, p.3).

Ellos se cultivan fácilmente en estanques abiertos o en fotobiorreactores en condiciones controladas y optimizadas (Bordoloi Neonjyoti et al., 2016, p.4). Las algas pueden ser autótroficas y heterótroficas y son capaces de generar una biomasa sustancial que contiene proteínas, polisacáridos y lípidos (Nhat et al., 2018, p.2).

Por lo tanto, las algas son un potencial recurso alternativo de biomasa para la producción de bioenergía y biomateriales sostenibles, como el biometano y los ácidos grasos de cadena corta (SCFA), a través de procesos anaeróbica (Yu Kai Ling et al., 2017, p.7).

En la tabla N°2 se detallan 15 del total de antecedentes

Tabla N°2: Antecedentes de la aplicación de algas para elaboración de biocarbón

Autor	Especies de algas	Metodología	Resultados
Ahmed Ashfad et al., 2018	<i>Chaetoceros muelleri</i> <i>Synechococcus Dunaliella tertiolecta</i>	Se realizó un balance de masa para calcular los rendimientos de diferentes productos junto con la caracterización del bioaceite y el biocarbón producido. Los experimentos se llevaron a cabo en un reactor de lecho fijo a una temperatura de pirólisis de 500 ° C, una velocidad de calentamiento de 25 ° C / min y una velocidad de flujo de gas nitrógeno de 100 cm ³ / min para la materia prima de biomasa que tiene un tamaño de partícula entre 0,5 y 1 mm.	Las propiedades de los biocarbones indicaron su idoneidad para la energía, así como para otras aplicaciones, como la remediación del suelo y la adsorción.
Roberts David A. et al., 2016	Algas rojas (<i>Gracilaria</i> , <i>Eucheuma</i> y <i>Kappaphycus</i>) Algas pardas (<i>Saccharina</i> , <i>Undaria</i> y <i>Sargassum</i>).	El biocarbón de algas se produjo a partir de seis especies de algas y cada una de estas especies se recolectó en dos ubicaciones geográficamente distintas que son representativas de las fuentes dominantes de cada materia prima de biomasa. Se produjeron tres muestras independientes de	Las muestras de biocarbón fueron relativamente consistentes con respecto a su contenido de C, H y O, independientemente de la especie, ubicación o división (que varían de 22 a 35%, 1.1 a 2.8% y 14 a 25% para C, H y O respectivamente) y el

		biocarbón de cada especie recolectada en cada ubicación para tener en cuenta cualquier heterogeneidad en la muestra y en el proceso de pirólisis en sí.	contenido de C orgánico comprendió más del 85% del contenido total de C para todas las muestras.
Ly Hoang Vu et al., 2016	<i>Saccharina japonica</i>	La pirólisis rápida de <i>Saccharina japonica</i> se realizó en un reactor de lecho fluidizado burbujeante en diversas condiciones. Se investigaron sistemáticamente los efectos de la temperatura de pirólisis y la velocidad de fluidización sobre el rendimiento del producto y la calidad del bioaceite.	Cuando la temperatura de pirólisis aumentó de 350 ° C a 500 ° C, el rendimiento de bioaceite disminuyó constantemente desde 44,99% en peso a 26,67% en peso. Los compuestos principales en el bioaceite fueron di-anhidromanitol y 2-metil furil cetona, mostrando las selectividades más altas de 24,08% y 17,18%, respectivamente.
Hong Yu et al., 2017	<i>Porphyra</i> <i>Spirulina</i> <i>Chlorella</i>	Se pirolizaron tres biomásas marinas diferentes, es decir, microalgas-espirulina, clorella y macroalgas-porphyra, en una cavidad de microondas multimodo a escala de laboratorio a 400, 550 y 700 ° C. La ovoalbúmina y la celulosa también se eligieron como compuestos modelo para simular algas.	Se descubrió que la porfiria era la más reactiva y producía la fracción gaseosa más grande (87,1 % en peso) entre las tres algas, que comprendía 73,3 % vol de gas de síntesis. Se descubrió que los compuestos nitrogenados del bioaceite se derivaban de las proteínas de las algas, mientras que los carbohidratos conducían a la formación de HAP.
Kawale H. y Kishore N., 2019	<i>Oscillatoria</i>	Se realizó hidrólisis no catalítica, catalítica e hidrólisis a 550 ° C de temperatura y 1 bar de presión para producir biocombustibles a partir de una biomasa de algas ignorada de <i>Oscillatoria</i> mediante un estudio de degradación termoquímica en un reactor tubular con un diámetro interno de 25 mm y 300 mm de diámetro. longitud activa cubierta por un horno de una sola zona de calentamiento.	El pH de estos bioaceites obtenidos a partir de algas verdes varía en el rango de 8,25 a 6,07, lo que indica la menor cantidad de compuestos oxigenados a diferencia de los bioaceites de pH muy bajo obtenidos de otros tipos de materia prima de biomasa.
Wang Shuang et al., 2018	<i>Enteromorpha clathrata</i>	La macroalga verde <i>Enteromorpha clathrata</i> fue pirolizada con o sin catalizadores a una	Los resultados sugirieron que <i>E. clathrata</i> tenía potencial como materia prima de pirólisis para

		temperatura de 550 ° C para producir bioaceite de alta calidad. Se introdujeron los catalizadores ZSM-5 y 1,2,3 mmol Mg-Ce / ZSM-5 para investigar los rendimientos y la distribución de componentes del bioaceite.	producir bioaceites de alta calidad con grandes cantidades de C 5- C 7 compuestos y bajo contenido relativo de ácidos cuando se utilizó el catalizador de 1 mmol de Mg-Ce / ZSM-5.
Norouzi Omid et al., 2017	<i>Gracilaria gracilis</i>	La conversión de <i>Gracilaria gracilis</i> (<i>G. gracilis</i>) en bioproductos se llevó a cabo mediante pirólisis a diferentes temperaturas para determinar su potencial de bioaceite rico en fenol. Co-Mo soportado en zeolitas (HZSM-5), catalizadores mesoporosos (HMS) y sus compuestos (ZH) fueron investigados y comparados entre sí en procesos de pirólisis catalítica.	En ensayos no catalíticos, el porcentaje máximo en peso de bioaceite fue 42 % en peso a 500 ° C y tenía la cantidad máxima de fenol (6,28 % en peso).
Yu Kai Ling et al., 2018	<i>Chlorella vulgaris</i> FSP-E	La microalga autóctona <i>Chlorella vulgaris</i> FSP-E se cultivó en fotobiorreactores en ambiente controlado con diferentes CO ₂ concentraciones de gas como única fuente de carbono. La pirólisis de biomasa de microalgas se realizó posteriormente en un reactor de lecho fijo para producir biocarbón y otros coproductos.	<i>C. vulgaris</i> FSP-E mostró una productividad máxima de biomasa de 0,87 g L ⁻¹ día ⁻¹ . Se obtuvo un rendimiento de biocarbón del 26,9% a partir de la pirólisis a una temperatura óptima de 500 ° C a una velocidad de calentamiento de 10 ° C min ⁻¹ . El biocarbón de <i>C. vulgaris</i> FSP-E mostró un valor de pH alcalino de 8.1 con relaciones atómicas de H / C y O / C beneficiosas para el secuestro de carbono y la aplicación al suelo.
Palanisamy M. et al., 2017	<i>Chlamydomonas</i> sp. JSC4	Se realizó un ensayo enzimático en suelo de maceta de fosfatos ácidos y alcalinos Se tomó 1 gramo de suelo (<2 mm) en un matraz Erlenmeyer de 50 ml y Se añadieron 0,2 ml de tolueno, 4 ml de MUB (pH 6,5 para el ensayo de la fosfatasa ácida o pH 11 para el ensayo de la fosfatasa alcalina).	Los resultados mostraron que la actividad de la fosfatasa ácida fosfatasa ácida del suelo y los fosfatos alcalinos aumentaron en el tratamiento con Biochar.
Yao Changhong et al., 2016	<i>Arthrospira platensis</i>	Se aplicó la carbonización hidrotermal para recuperar N del residuo de biomasa de <i>Arthrospira platensis</i>	La acumulación de biomasa bajo + N en los cultivos con AP por debajo de 190 ° C se incrementó

		<p>extraído con agua caliente en fase acuosa (AP) en diferentes condiciones de operación y evaluó la utilización de N, el rendimiento de biomasa y la calidad de cultivos de <i>A. platensis</i> utilizando AP como única fuente de N. Con el aumento de la temperatura a 190-210 ° C o el tiempo de reacción de 2-3 h, la tasa de recuperación de N disminuyó con el cultivo de repleción de nitrógeno (+ N), mientras que, por el contrario, aumentó con el cultivo con limitación de nitrógeno (-N).</p>	<p>en un 41-67% en comparación con la de NaNO₃, y el contenido de proteína más alto de 51.5% DW alcanzado por debajo de 200 ° C-2 h también fue 22% más alto. El contenido de carbohidratos de 71,4% DW bajo cultivo -N alcanzado bajo 210 ° C-3 h fue 14% más alto que el del NaNO₃. La estrategia de cultivo de algas HTC en modo -N podría ahorrar un 60% de N.</p>
<p>Bordoloi Neonjyoti et al., 2016</p>	<p><i>Scenedesmus dimorphus</i></p>	<p>Los experimentos se llevaron a cabo en un rango de temperatura de 300 a 600 ° C con una tasa de calentamiento de 40 ° C / min y una tasa de flujo de nitrógeno de 100 ml / min. Se encontró que el rendimiento de bioaceite era máximo (39,6%) a la temperatura de 500 ° C y se fraccionó adicionalmente en subfracciones de n -hexano, tolueno, acetato de etilo y metanol mediante cromatografía en columna líquida.</p>	<p>El biocarbón producido como coproducto puede ser una enmienda potencial del suelo con múltiples beneficios, incluida la fertilidad del suelo y el secuestro de C. La presente investigación sugiere la idoneidad de <i>Scenedesmus dimorphus</i> como materia prima potencial para la explotación de energía y biomateriales mediante conversión pirolítica.</p>
<p>Conti Roberto et al., 2016</p>	<p><i>Desmodesmus communis</i></p>	<p>Se produjo un conjunto de 22 biocarros a partir de diferentes materias primas y condiciones de pirólisis utilizando el mismo reactor de pirólisis de lecho fijo. Los sustratos originales incluían madera blanda, madera dura y biomasa herbácea (pino, corteza, tallo de maíz, miscanto, álamo, pasto varilla), microalgas (<i>Desmodesmus communis</i>, espirulina), desechos y residuos (estiércol de gallina, arena para setas, orujo de aceituna). Los biocarros se caracterizaron por análisis definitivo y</p>	<p>La relación 1-metilnaftaleno / naftaleno fue un índice general de la estabilidad térmica del biocarbón menos influenciado por la composición de la materia prima original.</p>

		próximo y por pirólisis analítica.	
Chang Yuan Ming et al., 2016	<i>Chlorella based algal residue</i>	Se investigó la pirólisis lenta (10 ° C / min) de residuos a base de clorella para la producción de biocarbón en un sistema termogravimétrico bajo las diferentes temperaturas de 300 a 700 ° C y tiempos de mantenimiento de 0 a 60 min.	Los resultados mostraron que la biomasa de microalgas secas y sus biocarros resultantes contenían altas concentraciones de N y elementos inorgánicos, incluidos P, Fe, Ca, K y Mg. El contenido de C del biocarbón se incrementó del 56,3% (300 ° C) a un valor máximo de 66,2% (500 ° C), y luego disminuyó ligeramente a aproximadamente 65% (700 ° C). Por otro lado, los contenidos de hidrógeno (H) y nitrógeno (N) mostraron una tendencia decreciente con la temperatura.
Parsa Mehran et al., 2018	<i>Gracilaria gracilis</i>	Se ha investigado el potencial de las especies de macroalgas <i>Gracilaria gracilis</i> (<i>G. gracilis</i>) y <i>Cladophora glomerata</i> (<i>C. glomerata</i>) recolectadas en el Mar Caspio para la producción de aceite biocrudo bajo la reacción de Licuefacción Hidrotermal (HTL) a 350 ° C y 15 min. Además, se estudió el efecto de utilizar una fase acuosa reciclada como disolvente de reacción de HTL.	El rendimiento de biocrudo para <i>G. gracilis</i> y <i>C. glomerata</i> fue de 15,7 y 16,9% en peso, respectivamente, con un poder calorífico superior (HHV) de 36,01 y 33,06 MJ / kg. Las fuentes de cada componente existente en el bioaceite fueron identificadas por GC-MS en base a sus vías de reacción sugeridas.
Li Bing et al., 2017	<i>Enteromorpha prolifera</i>	tres materiales de biocarbón modificado: tratamiento alcalino de biocarbón (BC-NaOH), impregnación de biocarbón con KMnO ₄ (BC-MnO _x) y tratamiento magnético FeCl ₃ de biocarbón (BC-FeO _x), fueron investigados. Se utilizaron isotermas de adsorción-desorción de nitrógeno, espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), titulació	Los resultados muestran que el óxido de manganeso partículas se transportan con éxito dentro del biocarbón, lo que contribuye a la creación de microporos, aumentando el área de superficie específica y formando complejos de la esfera interna con grupos que contienen oxígeno, al tiempo que aumenta el número de grupos que contienen oxígeno.

Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es cualitativa, siendo descrita por Ceroni Galloso M., (2010, p.4), una investigación que cubre una variedad de técnicas para recopilar y analizar datos sobre las opiniones, actitudes, percepciones y entendimientos de personas y grupos en diferentes contextos.

El tipo de investigación es aplicada, ya que de acuerdo con Veland Siri, et al., (2018, p.14), este tipo de investigación busca resolver una problemática, mediante la captación de la mayor información posible, para comprenderla, analizarla y aplicarla al problema planteado. Este tipo es considerado para este estudio debido a que se va analizar y estudiar diversas literaturas actuales a nivel mundial con el fin de resolver la problemática del método de acción del biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero.

El diseño es narrativo de tópico; de acuerdo con Salgado, A., 2007, (Pág. 73) el investigador analiza diversas cuestiones del estudio como la historia de vida o pasaje, ambiente en el cual vivió, la persona o grupo o donde sucedieron los hechos y es así como mediante de estos análisis la persona construye la historia. Mientras que los tópicos de la narrativa se enfocan en una temática suceso o fenómeno (Mocada, 2018, Pág. 1). Es así que se aplicará la narrativa de tópico, buscando resolver los acontecimientos o fenómenos sucedidos en la aplicación del biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero.

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

En el instrumento de la matriz de categorización se elaboraron subcategorías, las cuales van a profundizar en las tres categorías planteadas para resolver los problemas específicos descritos en la matriz apriorística (Ver tabla N°2).

Tabla N° 3: Matriz de categorización apriorística

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍAS	SUB CATEGORÍAS	CRITERIO 1	CRITERIO 2
¿Cuáles son los sistemas de pirolisis más usados para la producción de biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero?	Analizar los sistemas de pirolisis más usados para la producción de biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero	Sistemas de pirolisis más usados para la producción de biocarbón (Ahmed Ashfad et al., 2018, p.6)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pirolisis convencional ▪ Pirolisis avanzada (Norouzi Omid et al., 2017, p.3)	De acuerdo a la temperatura de pirolisis	De acuerdo al tiempo de pirolisis
¿Cuál es el rendimiento de los biocarbones a partir de diferentes métodos de pirólisis para la mitigación de gases de efecto invernadero?	Determinar el rendimiento de los biocarbones a partir de diferentes métodos de pirólisis para la mitigación de gases de efecto invernadero	Rendimiento de los biocarbones con diferentes métodos de pirolisis (Nhat et al., 2018, p.2)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pirólisis lenta ▪ Pirólisis rápida ▪ Pirólisis asistida por microondas ▪ Pirólisis catalítica (Arun Jayaseelan et al., 2020, p.1)	De acuerdo al tipo de alga empleada como MP	De acuerdo al rendimiento del producto
¿Cuáles son los métodos analíticos para determinar las propiedades químicas del biocarbón de algas?	Identificar los métodos analíticos para determinar las propiedades químicas del biocarbón de algas	Métodos analíticos para determinar las propiedades químicas del biocarbón de algas (Yuan Chuan et al., 2019, p.3)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de proximidad ▪ Análisis elemental final ▪ Análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) (Gao Zan et al., 2017, p.1)	De acuerdo a los grupos funcionales	De acuerdo al análisis orgánico

Fuente: Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

El escenario de estudio es considerado como el lugar o sitio donde los investigadores llevan a cabo el análisis de la investigación; debido a ello los escenarios considerados en el presente trabajo se encuentran enfocados en los campos y laboratorios donde se realizaron los procesos de pirólisis así como los análisis fisicoquímicos del biocarbón a base de algas; estos se encuentran en las literaturas extraídas a nivel mundial en idiomas como inglés, español, francés y portugués.

3.4. Participantes

El presente estudio al ser una revisión sistemática considerará como participantes del trabajo a las fuentes de información, que nos proporcionen los artículos científicos usados en el estudio; estos participantes son las bibliotecas virtuales que permiten el acceso a estudios científicos a nivel nacional e internacional; existe una amplia variedad de estos sitios web, pero los usados en esta investigación serán únicamente los que nos permitan literaturas indizadas. Los participantes son: scielo, scopus y sciencedirect.

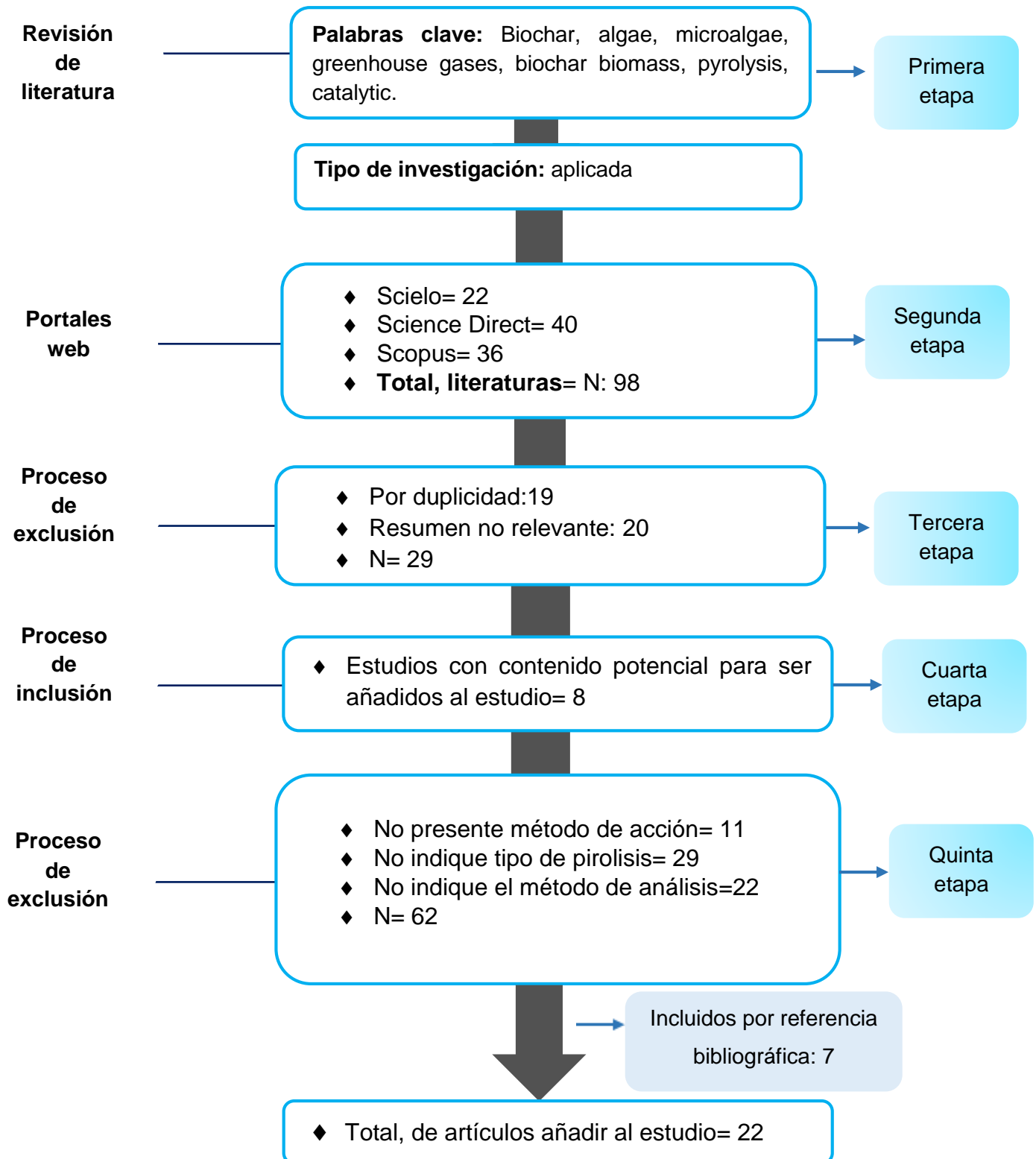
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En este trabajo de investigación se aplicará la técnica de análisis documental o también conocido como análisis de contenido, además, el instrumento de recolección de datos será la ficha de análisis.

De acuerdo con Hernández et al., (2014, p. 415), esta técnica empleada es usada para que el investigador estudie, analice y extraiga información que permita un mayor fácil acceso y una rápida lectura de lo que ahonda el documento original. Esto es mediante la ficha, la cual en el presente trabajo se propuso la ficha ubicada en el anexo n°1, este documento llamado ficha presenta detalles del documento original como; la investigación, objetivo, palabras claves usadas, el tipo de pirolisis, el método empleado, resultados y conclusiones.

3.6. Procedimientos

Gráfico N° 1: Procedimiento de selección de artículos



Elaboración propia

3.7. Rigor científico

La presente investigación cumplirá con los criterios de dependencia, confirmabilidad, transferencia y credibilidad; criterios que permitirán que el estudio presente el rigor científico el cual hace que la investigación sea creíble; de acuerdo con (Guba y Lincoln, 1989, pp. 241-243); se describe lo siguiente:

El criterio de dependencia, muestra la coherencia y firmeza de los datos que se expongan, siendo esto señalado como un criterio difícil de conseguir, pero se puede alcanzar si se brinda información posible de evitar que existan inconsistencias para los lectores. Este criterio se obtiene brindando la mayor información de las metodologías, análisis y todos los datos posibles de los estudios utilizados, así como el uso de apoyo de otros investigadores para respaldar que la información es verídica.

La credibilidad es el logro del investigador para que los resultados que genere sean iguales o parecidos a los de otros estudios, y pueda ser respaldado o apoyado con otras investigaciones. Este criterio es obtenido en la discusión del presente estudio, donde los hallazgos obtenidos son corroborados y respaldados por otros autores, presentando cierta aproximación a lo que ellos tuvieron.

El criterio de transferibilidad se refiere a la posibilidad de transferir los datos de un estudio a otro, esto es señalado por los investigadores siendo ellos quienes determinan la posibilidad. Dicho ello, el presente estudio si puede ser transferido, ya que se brinda la mayor información posible de los autores y estudios de donde se extrajeron los datos.

El criterio de auditabilidad, es un criterio que señala al investigador y su capacidad seguir las pistas dejadas por el autor de un estudio, para de esta manera continuarlo. Este criterio se consigue mediante el análisis y transcripción exacta de los datos obtenidos en las investigaciones originales dejadas por los informantes.

3.8. Método de análisis de información

El método de análisis de información usado es la matriz de categorización, la cual nos describe las categorías y subcategorías a detallar en los resultados, permitiendo resultados claros y exactos.

Categorías:

Sistemas de pirólisis más usados para la producción de biocarbón

Rendimiento de los biocarbones con diferentes métodos de pirolisis

Métodos analíticos para determinar las propiedades químicas del biocarbón de algas

Subcategorías:

- ❖ Pirolisis convencional
- ❖ Pirolisis avanzada

- ❖ Pirolisis lenta
- ❖ Pirolisis rápida
- ❖ Pirolisis asistida por microondas
- ❖ Pirolisis catalítica

- ❖ Análisis de proximidad
- ❖ Análisis elemental final
- ❖ Análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

3.9. Aspectos éticos

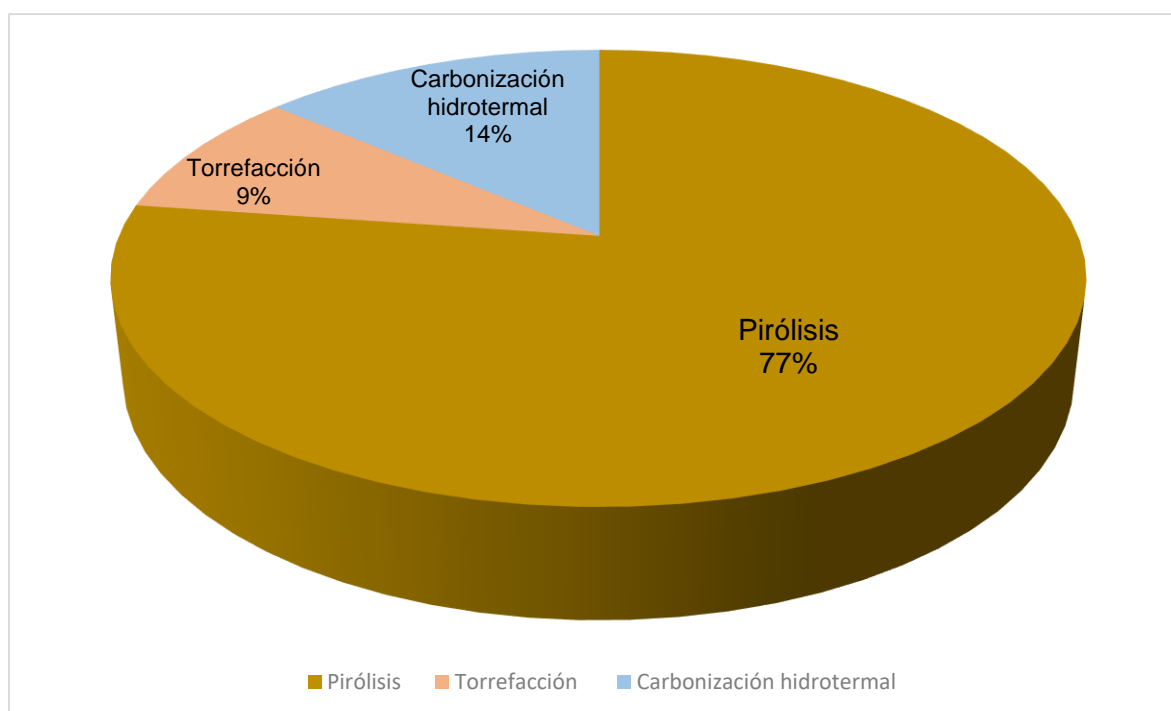
Los aspectos éticos con los que cumple el presente estudio son respeto a la autoría, siguiendo la Norma ISO 690 y 690-2, así como el uso de la guía de productos observables establecido por la resolución rectoral N° 0089-2019 y el uso del programa anti plagio turnitin, confirmando la autenticidad de la información proporcionada.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El biocarbón de algas puede formarse a partir de biomasa de algas mediante varios procesos termoquímicos procesos como la pirólisis, la torrefacción y la carbonización hidrotermal (Yu et al., 2017a; Gan et al., 2018). Estos procesos cambian el estado físico y la composición química de la biomasa de forma irreversible, lo que es uno de los principales factores para determinar el método de acción del biocarbón (Qambrani et al., 2017).

Debido a ello se presenta en el gráfico 2 y tabla 4, los resultados del análisis de los sistemas de pirólisis más usados para la producción de biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero.

Gráfico N°2: Proceso térmico de elaboración del biocarbón a base de algas



Elaboración propia

Además, estos procesos cambian el estado físico y la composición química de la biomasa de forma irreversible (Qambrani et al., 2017); por tal, el biocarbón producido junto con su rendimiento a través de diferentes métodos termoquímicos a partir de diferentes especies de algas se muestran en la tabla 4.

Tabla N°4: Sistemas de pirolisis en la elaboración de biocarbón a base de algas

Pirolisis de biomasa de algas	Tipos de pirolisis	T° de pirolisis	Fuentes
pirolisis convencional	Pirolisis lenta	500°C	10
	Pirolisis lenta	450°C	
	Pirolisis rápida	350 - 500°C	
	Pirolisis rápida	500°C	
	Pirolisis intermedia	300 - 600°C	
	Pirolisis lenta	300 - 700°C	
	Pirolisis rápida	650 - 850 °C	
	Pirolisis lenta	300°C	
	Pirolisis rápida	500 °C	
	Pirolisis lenta	425 - 500 °C	
pirolisis avanzada	Pirolisis asistida por microondas	400 - 700 °C	12
	Pirolisis catalítica	550°C	
	Pirolisis catalítica	550°C	
	Pirolisis catalítica	500°C	
	Torrefacción	500°C	
	Carbonización hidrotérmica	190°C	
	Copirólisis	500°C	
	Licuefacción Hidrotermal	350 ° C	
	Torrefacción húmeda	160 - 180 °C	
	Carbonización hidrotermal	300 - 600 °C	
	Pirolisis catalítica	500 - 600 °C	
	Pirolisis de lecho fijo	400 - 600 °C	

Elaboración propia

De acuerdo al gráfico 2, el sistema de pirolisis más usados para la producción de biocarbón se encuentra mediante el proceso térmico de pirolisis en un 77%. así mismo, el sistema de biomasa algal es la pirolisis avanzada, siendo ello, donde 12 de los 22 estudios lo confirman y 10 del total usan la pirolisis convencional.

Los siguientes autores lo respalda, Ahmed Ashfad et al., 2018, Roberts David A. et al., 2016, Ly Hoang Vu et al., 2016, Yu Kai Ling et al., 2018, Bordoloi Neonjyoti et al.,

2016, Chang Yuan Ming et al., 2016, Wu Zhiqiang et al., 2019, Yuan Chuan et al., 2019, Anand V. et al., 2017 y Wang Xin et al. 2016.

Además, de acuerdo a la temperatura de pirolisis con temperaturas de 400 a 600 °C es la más utilizada, ello debido, que en el proceso termoquímico de formación de biocarbón a partir de la biomasa en un entorno anaeróbico se produce eficientemente en un rango superior de temperatura que varía de 400 a 600°C.

Así mismo Ahmed Ashfad et al., 2018 corrobora la afirmación mencionada, generando 3 muestras de diferentes tipos de algas para las cuales empleó una temperatura de pirolisis de 500°C. También, Roberts David A. et al., 2016, usando una temperatura de 450°C para 5 muestras de diferentes tipos de algas.

Ello es respaldado por Lee et al., (2020, p.3), quien afirma que la composición estructural de la biomasa, es decir, las hemicelulosas, la celulosa, la pectina y la lignina, se despolimerizan, se entrecruzan y se fragmentan eficientemente durante la pirólisis a temperaturas mayores a los 400°C, y la biomasa se transforma en biocarbón junto con pequeñas cantidades de productos líquidos y bioaceite; biosíntesis y otros gases condensables y no condensables.

así mismo, Ahmed Ashfad et al., 2018, manifiesta que realizó un balance de masa para calcular los rendimientos de diferentes productos junto con la caracterización del bioaceite y el biocarbón producido donde los experimentos se llevaron a cabo en un reactor de lecho fijo a una temperatura de pirólisis de 500 ° C, una velocidad de calentamiento de 25 ° C / min y una velocidad de flujo de gas nitrógeno de 100 cm³/min para la materia prima de biomasa que tiene un tamaño de partícula entre 0,5 y 1 mm.

Por su parte Kawale H. y Kishore N., 2019, realizó una hidrólisis no catalítica, catalítica e hidrólisis a 550 ° C de temperatura y 1 bar de presión para producir biocombustibles a partir de una biomasa de algas. Lo que es apoyado por el estudio de Wang Shuang et al., 2018, pirolizando la macroalga verde con y sin catalizador a 550°C para producir bioaceite de alta calidad obteniendo en sus resultados que *E. clathrata* tenía potencial como materia prima de pirólisis para producir bioaceites de alta calidad a ese rango de temperatura.

El biocarbón con mayor contenido de carbono podría ser capaz de adsorber más moléculas de CO₂.

Por otro lado, se determinó el rendimiento de los biocarbones a partir de diferentes métodos de pirolisis para la mitigación de gases de efecto invernadero, de acuerdo a tipo de alga usada y al rendimiento del producto, como se muestra en la tabla 5.

Tabla N°5: Rendimiento de los biocarbones a partir de diferentes métodos de pirolisis

Método de pirolisis	T° de pirolisis	Tiempo	Especies de algas	Rendimiento del producto sólido (wt%)	Autor
Pirolisis lenta	500°C	-	<i>Chaetoceros muelleri</i>	53	Ahmed Ashfad et al., 2018
	500°C	-	<i>Synechococcus</i>	44	
	500°C	-	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	63	
Pirolisis lenta	450°C	60 min.	<i>Gracilaria</i>	59.8 - 61.8	Roberts David A. et al., 2016
	450°C	60 min.	<i>Eucheuma</i>	60.3 - 62.4	
	450°C	60 min.	<i>Kappaphycus</i>	57.2 - 61.7	
	450°C	60 min.	<i>Undaria</i>	54.1 - 59.2	
	450°C	60 min.	<i>Sargassum</i>	49.0 - 61.9	
Pirólisis rápida	350 y 500 °C	2 seg.	<i>Saccharina japonica</i>	31.9 - 40.9	Ly Hoang Vu et al., 2016
Pirólisis asistida por microondas	400 a 700 °C	20 min.	<i>Porphyry</i>	10.2 - 12.2	Hong Yu et al., 2017
	400 a 700 °C	20 min.	<i>Spirulina</i>	5.1 - 9.6	
	400 a 700 °C	20 min.	<i>Chlorella</i>	5.3 - 11.6	
Pirólisis catalítica	550°C	120 min.	<i>Oscillatoria</i>	43.05	Kawale H. y Kishore N., 2019
Pirólisis catalítica	550°C	60 min.	<i>Enteromorpha clathrata</i>	45.20 - 46.80	Wang Shuang et al., 2018
Pirólisis catalítica	500°C	30 min.	<i>Gracilaria gracilis</i>	35.6	Norouzi Omid et al., 2017
Pirólisis rápida	500°C	10°C por min.	<i>Chlorella vulgaris FSP-E</i>	31	Yu Kai Ling et al., 2018
Torrefacción	500°C	-	<i>Chlamydomonas sp. JSC4</i>	47	Palanisamy M. et al., 2017
Carbonización hidrotérmica	190°C	35min.	<i>Arthrospira platensis</i>	36.7	Yao Changhong et al., 2016

Pirólisis intermedia	300 a 600°C	40min.	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	36	Bordoloi Neonjyoti et al., 2016
Copirólisis	500°C	30 min.	<i>Desmodesmus communis</i>	36	Conti Roberto et al., 2016
Pirólisis lenta	300 a 700°C	10 ° C / min	<i>Chlorella based algal residue</i>		Chang Yuan Ming et al., 2016
Licuefacción Hidrotermal	350 ° C	15 min.	<i>Gracilaria gracilis</i>	36	Parsa Mehran et al., 2018
Pirólisis rápida	650-850 °C	-	<i>Algas verdes</i>	36	Wu Zhiqiang et al., 2019
Torrefacción húmeda	160 a 180 °C	30 min.	<i>Chlorella vulgaris ESP-31</i>	45.20 - 46.80	Bach Quang Vu et al., 2017
Pirólisis lenta	300°C	45 min.	<i>Enteromorpha clathrata</i>	45.20 - 46.80	Yuan Chuan et al., 2019
Carbonización hidrotermal	300 a 600 °C	-	<i>Laminaria japonica</i>	14.40	Fang June et al., 2018
Pirólisis rápida	500 °C	5 horas	<i>Schizochytrium limacinum</i>	8.90	Anand V. et al., 2017
Pirólisis catalítica	500 a 600 °C	10 ° C / min	<i>Chlamydomonas debaryana</i>	27	Ansah Emmanuel et al., 2018
Pirólisis lenta	425 a 500 °C.	-	<i>Isocrisis</i>	45	Wang Xin et al. 2016
Pirólisis de lecho fijo	400 a 600 °C	-	<i>Cladophora glomerate</i>	44 - 31	Norouzi Omid et al., 2016

Elaboración propia

Diversos reactores de pirólisis operan según el mismo principio básico influenciado por la disponibilidad de O₂; sin embargo, los productos finales deseados difieren debido a las diferencias en otros factores como la presión, la tasa de calentamiento y el tiempo de residencia (Fakayode Olugbenga A. et al., 2020, p.2). Por ello, el rendimiento de los biocarbones depende del método de pirolisis, que puede ser de los siguientes tipos basados en los factores como el tiempo de residencia, la temperatura, la tasa de calentamiento, el rendimiento y la composición del biocarbón producido, pirólisis rápida y lenta, pirolisis asistida por microondas y pirolisis catalítica (Gabhane Jagdish W. et al., 2020, p.5).

Siendo de acuerdo a la comparación de 22 literaturas a nivel nacional e internacional que el rendimiento de los biocarbones, depende del tipo de pirolisis y el rendimiento

del producto, siendo la pirólisis lenta y rápida la más usada y la que produce un alto rendimiento de biocarbón, es decir, 32,2 - 62,0%.

Esto es debido a que el biocarbón con mayor contenido de carbono podría ser capaz de adsorber más moléculas de CO₂ y de tal manera minimizar los GEI (Behera B. et al., 2020, p.3).

Qambrani Naveed A. et al., (2017, p.2), afirma que, el biocarbón producido por pirólisis rápida tiene más estructuras aromáticas conjugadas y el proceso de pirólisis lenta produce biocarbón con tiempo de retención de partículas mucho más largo, por otro lado, los procesos de pirólisis rápida producen componentes de biocarbón parcialmente pirolizados.

El contenido de C del biocarbón se incrementó del 56,3% (300 ° C) a un valor máximo de 66,2% (500 ° C), y luego disminuyó ligeramente a aproximadamente 65% (700 ° C) (Chang Yuan Ming et al., 2016).

Estos resultados son opuestos por Kawale H. y Kishore N., (2019, p.7), quien señala que, por el contrario, el método de pirólisis catalítica favorece más de productos sólidos. Ello es también apoyado por, Wang Shuang et al., (2018, p.2), manifestando que usó la alga *Enteromorpha clathrata* con una pirólisis catalítica de 550°C y obtuvo un rendimiento del producto sólido 45.20 - 46.80.

Debido a ello Phusunti N. et al., (2018, p.4), considera que la aplicación de biocarbón al suelo, debería considerarse como un mecanismo de secuestro de carbono, afirmando en su investigación mediante el análisis del ciclo de vida del biocarbón que se puede reducir las emisiones de GEI en diversas magnitudes, dependiendo del tipo de materia prima y de los sistemas de pirólisis empleados para producirlo.

Por último, se identifica los métodos analíticos para determinar las propiedades químicas del biocarbón de algas (ver

Tabla N°6: Métodos analíticos para determinar las propiedades químicas del biocarbón de algas

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BIOCARBÓN	Análisis aproximado	Contenido de cenizas Contenido de carbono fijo Contenido de volátiles Contenido de humedad	Yao Changhong et al., 2016 Bordoloi Neonjyoti et al., 2016 Conti Roberto et al., 2016 Chang Yuan Ming et al., 2016 Wu Zhiqiang et al., 2019 Bach Quang Vu et al., 2017
	Análisis final / elemental	Análisis orgánicos (C, H, O)	Fang June et al., 2018 Anand V. et al., 2017
		Análisis inorgánicos (C, H, O)	Norouzi Omid et al., 2017 Kawale H. y Kishore N., 2019 Yu Kai Ling et al., 2018
	Espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR)	Grupos funcionales	Wang Xin et al. 2016 Ly Hoang Vu et al., 2016 Hong Yu et al., 2017 Norouzi Omid et al., 2016 Parsa Mehran et al., 2018 Yuan Chuan et al., 2019 Ansah Emmanuel et al., 2018 Wang Shuang et al., 2018 Palanisamy M. et al., 2017

Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 6 para identificar los métodos analíticos para determinar las propiedades químicas del biocarbón de algas, se identificó que son las técnicas de análisis son el análisis aproximado, análisis final o elemental y espectroscopia de

infrarrojo por transformada de Fourier, siendo la técnica de análisis de espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) la más usada para el método de acción del biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero.

Según, Conti Roberto et al., (2016) en la tabla 6, el análisis proximal da información sobre el contenido de cenizas el contenido de humedad, la materia volátil, el pH y el contenido de carbono fijo del biocarbón.

Así mismo, Tag et al. (2016, p.2), afirma que mediante la técnica de análisis proximal determinó el pH del biocarbón de algas, lo que ayuda a la estabilización de los metales pesados del suelo, además, el pH depende de la temperatura de pirólisis y de las características de la materia prima; y en su estudio el pH y el contenido de cenizas mostraron una correlación positiva.

Pero también, los investigadores Fang June et al., 2018, Anand V. et al., 2017, Norouzi Omid et al., 2017, Yu Kai Ling et al., 2018 afirman que la técnica de análisis final proporciona información esencial sobre los elementos orgánicos e inorgánicos del biocarbón.

Kawale H. y Kishore N., 2019, manifiesta que la composición elemental se alterada durante la formación del biocarbón; el aumento de parámetros como como la temperatura de torrefacción y el tiempo de residencia aumenta el contenido de carbono mientras que el contenido de hidrógeno y oxígeno disminuye debido a la desvolatilización y deshidratación.

Así mismo, Gan Yong Y. et al., (2018, p.2), indica que la composición elemental del biocarbón también está influenciada por la temperatura de pirólisis y esta muestra diferencias dentro de las mismas especies de algas.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados mostrados para determinar el método de acción del biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero se puede concluir lo siguiente:

1. Los sistemas de pirolisis más usados para la producción de biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero se encuentra mediante el proceso térmico de pirolisis en un 77%; así mismo, el sistema de biomasa algal es la pirolisis avanzada, siendo ello, donde 12 de los 22 estudios lo confirman y 10 del total usan la pirolisis convencional.
2. El rendimiento de los biocarbones a partir de diferentes métodos de pirolisis para la mitigación de gases de efecto invernadero depende del tipo de pirolisis y el rendimiento del producto, siendo la pirolisis lenta y rápida la más usada y la que produce un alto rendimiento de biocarbón, es decir, 32,2 - 62,0%. Esto es debido a que el biocarbón con mayor contenido de carbono podría ser capaz de adsorber más moléculas de CO₂ y de tal manera minimizar los GEI.
3. Los métodos analíticos para determinar las propiedades químicas del biocarbón de algas son las técnicas de análisis aproximado, análisis final o elemental y espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier, siendo la técnica de análisis de espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) la más usada para el método de acción del biocarbón a partir de las algas para capturar y secuestrar carbono para la mitigación de gases de efecto invernadero.

VI. RECOMENDACIONES

En base al análisis sistemático realizado se puede recomendar hacer las siguientes recomendaciones a los futuros investigadores:

1. Se recomienda ampliar en el uso de la aplicación del biocarbón, ya que se puede evaluar el uso del biocarbón como un catalizador aumentando la efectividad para el secuestro de los gases de efecto invernadero
2. Así mismo, se recomienda realizar estudios a escala piloto para determinar el nivel de cada tipo de especie de alga y su efectividad en la captura de dióxido de carbono
3. Por último, se recomienda en las futuras investigación realizar una comparación mediante un intervalo de como las macroalgas y las microalgas podrían afectar a las cualidades de los productos pirolíticos a partir de la pirolisis convencional.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABDOULI, Mohamed; HAMMAMI, Sami. The impact of FDI inflows and environmental quality on economic growth: an empirical study for the MENA countries. *Journal of the Knowledge Economy*, 2017, vol. 8, no 1, p. 254-278. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13132-015-0323-y>
2. AKBARY, Paria, et al. Extracting appropriate nodal marginal prices for all types of committed reserve. *Computational Economics*, 2019, vol. 53, no 1, p. 1-26. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10614-017-9716-2>
3. ALAJMI, Reema Gh. Factors that impact greenhouse gas emissions in Saudi Arabia: Decomposition analysis using LMDI. *Energy Policy*, 2021, vol. 156, p. 112454. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112454>
4. ALEXANDER, Richard; POZNIKOFF, Andrew; MALHERBE, Stephan. Greenhouse gases: the choice of volatile anesthetic does matter. *Canadian Journal of Anesthesia/Journal canadien d'anesthésie*, 2018, vol. 65, no 2, p. 221-222. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12630-017-1006-x>
5. ANAND, V.; GAUTAM, Ribhu; VINU, R. Non-catalytic and catalytic fast pyrolysis of *Schizochytrium limacinum* microalga. *Fuel*, 2017, vol. 205, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.05.049>
6. ANDERSSON, Öivind; BÖRJESSON, Pål. The greenhouse gas emissions of an electrified vehicle combined with renewable fuels: Life cycle assessment and policy implications. *Applied Energy*, 2021, vol. 289, p. 116621. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116621>
7. ANSAH, Emmanuel, et al. Catalytic pyrolysis of raw and hydrothermally carbonized *Chlamydomonas debaryana* microalgae for denitrogenation and production of aromatic hydrocarbons. *Fuel*, 2018, vol. 228, p. 234-242. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.04.163>

8. ARUN, Jayaseelan, et al. Sustainable and eco-friendly approach for phosphorus recovery from wastewater by hydrothermally carbonized microalgae: study on spent bio-char as fertilizer. *Journal of Water Process Engineering*, 2020, vol. 38, p. 101567. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101567>
9. AHMED, Ashfaq, et al. Intermediate pyrolysis of *Acacia cincinnata* and *Acacia holosericea* species for bio-oil and biochar production. *Energy Conversion and Management*, 2018, vol. 176, p. 393-408. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.09.041>
10. BACH, Quang-Vu, et al. Wet torrefaction of microalga *Chlorella vulgaris* ESP-31 with microwave-assisted heating. *Energy Conversion and Management*, 2017, vol. 141, p. 163-170. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.035>
11. BEHERA, Bunushree, et al. Algal biodiesel production with engineered biochar as a heterogeneous solid acid catalyst. *Bioresource technology*, 2020, vol. 310, p. 123392. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123392>
12. BORDOLOI, Neonjyoti, et al. Characterization of bio-oil and its sub-fractions from pyrolysis of *Scenedesmus dimorphus*. *Renewable energy*, 2016, vol. 98, p. 245-253. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.081>
13. CHANG, Yuan-Ming; TSAI, Wen-Tien; LI, Ming-Hsuan. Chemical characterization of char derived from slow pyrolysis of microalgal residue. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 2016, vol. 111, p. 88-93. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.12.004>
14. CHEN, Jinghu, et al. Facile construction of highly porous carbon materials derived from porous aromatic frameworks for greenhouse gas adsorption and separation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2021, vol. 326, p. 111385. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101821>
15. CLERY, Diarmaid S., et al. Bringing greenhouse gas removal down to earth: Stakeholder supply chain appraisals reveal complex challenges. *Global Environmental Change*, 2021, vol. 71, p. 102369. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102369>

16. CONTI, Roberto, et al. Comparison of chemical and physical indices of thermal stability of biochars from different biomass by analytical pyrolysis and thermogravimetry. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2016, vol. 122, p. 160-168. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.10.003>
17. DUAN, Xu, et al. New method for algae comprehensive utilization: Algae-derived biochar enhances algae anaerobic fermentation for short-chain fatty acids production. *Bioresource technology*, 2019, vol. 289, p. 121637. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121637>
18. FAGODIYA, Ram Kishor. *Molecular and ecological perspectives of nitrous oxide producing microbial communities in agro-ecosystems*. 2020.
19. FAKAYODE, Olugbenga Abiola, et al. Co-pyrolysis of lignocellulosic and macroalgae biomasses for the production of biochar—A review. *Bioresource technology*, 2020, vol. 297, p. 122408. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122408>
20. FANG, June, et al. Minireview of potential applications of hydrochar derived from hydrothermal carbonization of biomass. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2018, vol. 57, p. 15-21. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.08.026>
21. FAROOQI, Ahmad Salam, et al. Catalytic conversion of greenhouse gases (CO₂ and CH₄) to syngas over Ni-based catalyst: Effects of Ce-La promoters. *Arabian Journal of Chemistry*, 2020, vol. 13, no 6, p. 5740-5749. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.04.012>
22. FENG, Yu, et al. Long-term hydropower generation of cascade reservoirs under future climate changes in Jinsha River in Southwest China. *Water*, 2018, vol. 10, no 2, p. 235. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w10020235>
23. GAN, Yong Yang, et al. Torrefaction of microalgal biochar as potential coal fuel and application as bio-adsorbent. *Energy Conversion and Management*, 2018, vol. 165, p. 152-162. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.03.046>

24. GABHANE, Jagdish W., et al. Recent trends in biochar production methods and its application as a soil health conditioner: a review. SN Applied Sciences, 2020, vol. 2, no 7, p. 1-21. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3121-5>
25. GAO, Zan, et al. Biomass-derived renewable carbon materials for electrochemical energy storage. Materials Research Letters, 2017, vol. 5, no 2, p. 69-88. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/21663831.2016.1250834>
26. GARCÍA-CERRUD, Carmen; DE LA MOTA, Idalia Flores; ANGUIANO, Francisca Irene Soler. Proposal for greenhouse gas emissions reduction in public passenger transportation. Case Studies on Transport Policy, 2021, vol. 9, no 3, p. 1358-1366. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.07.009>
27. GHIASI, Mohammad; GHADIMI, Noradin; AHMADINIA, Esmail. An analytical methodology for reliability assessment and failure analysis in distributed power system. SN Applied Sciences, 2019, vol. 1, no 1, p. 1-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42452-018-0049-0>
28. HONG, Yu, et al. Microwave-enhanced pyrolysis of macroalgae and microalgae for syngas production. Bioresource technology, 2017, vol. 237, p. 47-56. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.006>
29. HUANGPENG, Qizi; HUANG, Wenwei; GHOLINIA, Fatemeh. Forecast of the hydropower generation under influence of climate change based on RCPs and Developed Crow Search Optimization Algorithm. Energy Reports, 2021, vol. 7, p. 385-397. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.01.006>
30. JING, Zhu, et al. Flood control ability of river-type reservoirs using stochastic flood simulation and dynamic capacity flood regulation. Journal of Cleaner Production, 2020, vol. 257, p. 120809. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120809>
31. KAWALE, Harshal D.; KISHORE, Nanda. Production of hydrocarbons from a green algae (Oscillatoria) with exploration of its fuel characteristics over different reaction atmospheres. Energy, 2019, vol. 178, p. 344-355. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.103>

32. KLASSEN, Viktor, et al. Efficiency and biotechnological aspects of biogas production from microalgal substrates. *Journal of biotechnology*, 2016, vol. 234, p. 7-26. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.07.015>
33. KLEIN, Bruno Colling; BONOMI, Antonio; MACIEL FILHO, Rubens. Integration of microalgae production with industrial biofuel facilities: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 82, p. 1376-1392. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.063>
34. KOLB, Sebastian, et al. Life cycle greenhouse gas emissions of renewable gas technologies: A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 146, p. 111147. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111147>
35. KUMAR, Amit, et al. Molecular and ecological perspectives of nitrous oxide producing microbial communities in agro-ecosystems. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 2020, p. 1-34. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09554-w>
36. Lebo Maduna, Asis Patnaik. Management of air quality. *Waste Management in the Fashion and Textile Industries. The Textile Institute Book Series*. 2021, Pages 131-141. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818758-6.00006-5>
37. LI, Bing, et al. Adsorption of Cd (II) from aqueous solutions by rape straw biochar derived from different modification processes. *Chemosphere*, 2017, vol. 175, p. 332-340. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.061>
38. LI, Kailing, et al. Forecasting greenhouse gas emissions with the new information priority generalized accumulative grey model. *Science of The Total Environment*, 2021, p. 150859. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150859>
39. LI, Simeng; CHEN, Gang. Contemporary strategies for enhancing nitrogen retention and mitigating nitrous oxide emission in agricultural soils: present and future. *Environment, Development and Sustainability*, 2020, vol. 22, no 4, p. 2703-2741. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00327-2>

40. LY, Hoang Vu, et al. Fast pyrolysis of macroalga *Saccharina japonica* in a bubbling fluidized-bed reactor for bio-oil production. *Energy*, 2015, vol. 93, p. 1436-1446. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.011>
41. MAGAZZINO, Cosimo; MELE, Marco; SCHNEIDER, Nicolas. The relationship between municipal solid waste and greenhouse gas emissions: Evidence from Switzerland. *Waste Management*, 2020, vol. 113, p. 508-520. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.033>
42. MALYAN, Sandeep K., et al. Methane production, oxidation and mitigation: a mechanistic understanding and comprehensive evaluation of influencing factors. *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 572, p. 874-896. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.182>
43. MIR, Mahdi, et al. Application of hybrid forecast engine based intelligent algorithm and feature selection for wind signal prediction. *Evolving Systems*, 2020, vol. 11, no 4, p. 559-573. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12530-019-09271-y>
44. MONA, Sharma, et al. Towards sustainable agriculture with carbon sequestration, and greenhouse gas mitigation using algal biochar. *Chemosphere*, 2021, p. 129856. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129856>
45. NAGAPPAN, Senthil, et al. Passive cell disruption lipid extraction methods of microalgae for biofuel production—a review. *Fuel*, 2019, vol. 252, p. 699-709. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.092>
46. NINO, F. United Nations Sustainable Development Goals—Goal 8: Promote Inclusive And Sustainable Economic Growth, Employment and Decent Work For All. United Nations, 2016.
47. NOROUZI, Omid, et al. Promotion of hydrogen-rich gas and phenolic-rich bio-oil production from green macroalgae *Cladophora glomerata* via pyrolysis over its bio-char. *Bioresource technology*, 2016, vol. 219, p. 643-651. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.017>

48. NOROUZI, Omid, et al. Catalytic upgrading of bio-products derived from pyrolysis of red macroalgae *Gracilaria gracilis* with a promising novel micro/mesoporous catalyst. *Bioresource technology*, 2017, vol. 243, p. 1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.072>
49. OUIMETTE, Andrew P., et al. Carbon fluxes and interannual drivers in a temperate forest ecosystem assessed through comparison of top-down and bottom-up approaches. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, vol. 256, p. 420-430. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.03.017>
50. PALANISAMY, M., et al. Effect of application of algal biochar on soil enzymes. *J Alg Biom Util*, 2017, vol. 8, p. 1-9. Disponible en: ISSN: 2229 – 6905
51. PARSA, Mehran, et al. Hydrothermal liquefaction of *Gracilaria gracilis* and *Cladophora glomerata* macro-algae for biocrude production. *Bioresource technology*, 2018, vol. 250, p. 26-34. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.10.059>
52. PHUSUNTI, Neeranuch; PHETWAROTAI, Worasak; TEKASAKUL, Surajit. Effects of torrefaction on physical properties, chemical composition and reactivity of microalgae. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2018, vol. 35, no 2, p. 503-510. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11814-017-0297-5>
53. PLÁCIDO, J., et al. Microalgae biochar-derived carbon dots and their application in heavy metal sensing in aqueous systems. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 656, p. 531-539. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.393>
54. POO, Kyung-Min, et al. Biochars derived from wasted marine macro-algae (*Saccharina japonica* and *Sargassum fusiforme*) and their potential for heavy metal removal in aqueous solution. *Journal of environmental management*, 2018, vol. 206, p. 364-372. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.056>
55. QAMBRANI, Naveed Ahmed, et al. Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,

2017, vol. 79, p. 255-273. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.057>

56. QIN, Yong, et al. Improving methane yield from organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) with magnetic rice-straw biochar. *Bioresource technology*, 2017, vol. 245, p. 1058-1066. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.047>
57. RAMASWAMY, V.; SALEH, F. Ensemble Based Forecasting and Optimization Framework to Optimize Releases from Water Supply Reservoirs for Flood Control. *Water Resources Management*, 2020, vol. 34, no 3, p. 989-1004. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02481-8>
58. RAY, Avishek; DE, Sudipta. Renewable Electricity Generation–Effect on GHG Emission. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11015-X>
59. REN, Xiaojun, et al. Predicting optimal hydropower generation with help optimal management of water resources by Developed Wildebeest Herd Optimization (DWHO). *Energy Reports*, 2021, vol. 7, p. 968-980. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.02.007>
60. ROBERTS, David A., et al. Biochar from commercially cultivated seaweed for soil amelioration. *Scientific reports*, 2015, vol. 5, no 1, p. 1-6. Disponible en:
<https://doi.org/10.1038/srep09665>
61. SABBAGHI, Mohammad Aghapour, et al. Economic impacts of climate change on water resources and agriculture in Zayandehroud river basin in Iran. *Agricultural Water Management*, 2020, vol. 241, p. 106323. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106323>
62. SANTIBANEZ-BORDA, Ernesto, et al. A multi-objective optimisation model to reduce greenhouse gas emissions and costs in offshore natural gas upstream chains. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 297, p. 126625. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126625>
63. SARKODIE, Samuel Asumadu; OZTURK, Ilhan. Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis in Kenya: a multivariate analysis.


- Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020, vol. 117, p. 109481.
Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109481>
64. SHAMEL, Ali; GHADIMI, Noradin. Hybrid PSOTVAC/BFA technique for tuning of robust PID controller of fuel cell voltage. 2016. Disponibile en: ISSN: 0975-0991
65. SHARDIN, Anton A.; WUNDERLICH, Ralf. Partially observable stochastic optimal control problems for an energy storage. Stochastics, 2017, vol. 89, no 1, p. 280-310. Disponibile en: <https://doi.org/10.1080/17442508.2016.1166506>
66. SINGH, Asha, et al. Engineered algal biochar for contaminant remediation and electrochemical applications. Science of The Total Environment, 2021, p. 145676. Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145676>
67. TAMPIO, Elina A., et al. Volatile fatty acids (VFAs) and methane from food waste and cow slurry: comparison of biogas and VFA fermentation processes. Gcb Bioenergy, 2019, vol. 11, no 1, p. 72-84. Disponibile en: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12556>
68. THØGERSEN, Jan, et al. Greenhouse gas capture by triboelectric charging. Chemical Physics Letters, 2021, p. 139069. Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2021.139069>
69. VETTER, Sylvia H., et al. Greenhouse gas emissions from agricultural food production to supply Indian diets: Implications for climate change mitigation. Agriculture, ecosystems & environment, 2017, vol. 237, p. 234-241. Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.024>
70. WANG, Duo, et al. Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review. Science of The Total Environment, 2020, vol. 723, p. 137775. Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137775>
71. WANG, Shuang, et al. A comparative study on the quality of bio-oil derived from green macroalga Enteromorpha clathrata over metal modified ZSM-5 catalysts. Bioresource technology, 2018, vol. 256, p. 446-455. Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.134>

72. WANG, Xin; ZHAO, Bingwei; YANG, Xiaoyi. Co-pyrolysis of microalgae and sewage sludge: biocrude assessment and char yield prediction. *Energy Conversion and Management*, 2016, vol. 117, p. 326-334. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.03.013>
73. WU, Zhiqiang, et al. Co-pyrolysis behavior of microalgae biomass and low-rank coal: Kinetic analysis of the main volatile products. *Bioresource technology*, 2019, vol. 271, p. 202-209. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.076>
74. XU, Zhiying, et al. Computer-aided diagnosis of skin cancer based on soft computing techniques. *Open Medicine*, 2020, vol. 15, no 1, p. 860-871. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/med-2020-0131>
75. YANG, Changyan, et al. Pyrolysis of microalgae: A critical review. *Fuel Processing Technology*, 2019, vol. 186, p. 53-72. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.12.012>
76. YAO, Changhong, et al. Evaluation of the integrated hydrothermal carbonization-algal cultivation process for enhanced nitrogen utilization in *Arthrospira platensis* production. *Bioresource technology*, 2016, vol. 216, p. 381-390. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.110>
77. YAZDANPANA, MASOUD; ZOBEIDI, TAHEREH. Beliefs and Risk Perception of Farmers' of Khuzestan Province toward Climate Change. 2018.
78. YOSHIOKA, Hidekazu. Mathematical modeling and computation of a dam-reservoir system balancing environmental management and hydropower generation. *Energy Reports*, 2020, vol. 6, p. 51-54. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.10.036>
79. YOSHIOKA, Hidekazu; YOSHIOKA, Yumi. Modeling stochastic operation of reservoir under ambiguity with an emphasis on river management. *Optimal Control Applications and Methods*, 2019, vol. 40, no 4, p. 764-790. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/oca.2510>

80. YU, Kai Ling, et al. Recent developments on algal biochar production and characterization. *Bioresource technology*, 2017, vol. 246, p. 2-11. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.009>
81. YU, Kai Ling, et al. Biochar production from microalgae cultivation through pyrolysis as a sustainable carbon sequestration and biorefinery approach. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2018, vol. 20, no 9, p. 2047-2055. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1521-7>
82. YUAN, Chuan, et al. Optimization of hydrothermal co-liquefaction of seaweeds with lignocellulosic biomass: Merging 2nd and 3rd generation feedstocks for enhanced bio-oil production. *Energy*, 2019, vol. 173, p. 413-422. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.091>
83. ZHANG, Hao, et al. Production of biochar from waste sludge/leaf for fast and efficient removal of diclofenac. *Journal of Molecular Liquids*, 2020, vol. 299, p. 112193. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112193>

ANEXO

Anexo 1: Ficha de recolección de datos

	FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO	
Páginas utilizadas:	Año de publicación:	Lugar de publicación:
Tipo de investigación:		
Palabras claves:		
Objetivos:		
Tipos de alga:		
Metodología:		
Resultados:		

Elaboración propia