



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Prototipo para la Producción de Biodiesel con Micro Alga
Chlorella vulgaris en el Desarrollo de Biotecnología Energética.
Revisión Sistemática 2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Cavero Gonzales, Ana María (ORCID: 0000-0002-8194-4606)

Solis Balbuena, Giomar Ayrton (ORCID: 0000-0001-8066-4939)

ASESOR:

Dr. Túllume Chavesta, Milton César (ORCID: 0000-0002-0432-2359)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mi familia, que siempre me apoyo incondicionalmente en especial a mi madre por haberme formado como la persona que soy, a mi bebé por ser la fuerza para culminar esta meta.

Ana Cavero

Le dedico esta tesis a mis padres por su apoyo y deseo de éxito de este proyecto.

Giomar Solis

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por guiarnos y permitirnos concluir con nuestras metas.

Al Dr. Milton Túllume por orientarnos y acompañarnos en el planteamiento y desarrollo de nuestra investigación. A la Universidad César Vallejo por brindarnos la oportunidad de culminar con nuestro desarrollo profesional.

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	12
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	12
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización	12
3.3. Escenario de estudio.....	14
3.4. Participantes	14
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	14
3.6. Procedimientos.....	15
3.7. Rigor científico	17
3.8. Método de análisis de la información	17
3.9. Aspectos éticos	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
V. CONCLUSIONES.....	26
VI. RECOMEDACIONES	27
REFERENCIAS.....	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de biodiesel y diésel para algunos parámetros	4
Tabla 2: Comparación de las propiedades de biodiesel micro algal, diésel y estándar ASTM para el Biodiesel.....	5
Tabla 3: Propiedades del Biodiesel y el Diésel.....	6
Tabla 4: Ventajas y Desventajas de los sistemas de lagunas abiertas y foto biorreactores	7
Tabla 5: Matriz de categorización Apriorística	13
Tabla 6: Criterios de búsqueda	16
Tabla 7: Estudios realizados del proceso fotosintético del <i>Chlorella vulgaris</i> en su producción de biodiesel	19
Tabla 8: Contenido de Lípidos según materia prima utilizada	21
Tabla 9: Características del Biodiesel del micro alga <i>Chorella vulgaris</i>	24
Tabla 10: Comparación del Biodiesel y el Diésel.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: La producción de energía por la conversión de biomasa de micro algas usando procesos de combustión directa, bioquímicos, termoquímicos y químicos	8
Figura 2: Procedimiento para la investigación.	15
Figura 3: Fotosíntesis del alga <i>Chlorella vulgaris</i>	20
Figura 4: Contenido de Lípidos	22
Figura 5: Proceso para la producción de biodiesel	23
Figura 6: Emisión de Gases de escape.....	24

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad determinar si el prototipo para la producción de biodiesel con micro alga *Chlorella vulgaris* favorece en el desarrollo de la biotecnología energética. Se utilizó la técnica de recolección de datos, identificando la capacidad de fijación de CO₂, la incidencia de la composición bioquímica de la biomasa de esta micro alga y evaluando la eficiencia del biodiesel producido por la micro alga *Chlorella vulgaris*. Los resultados obtenidos muestran que la fijación óptima del CO₂ durante el proceso fotosintético, depende de la concentración administrada de luz solar o sintética y la capacidad de adaptación del cultivo durante la adsorción del CO₂. Asimismo, se observó que dentro de todas las materias primas más utilizadas para la producción de biodiesel el micro alga *Chlorella vulgaris* tiene un contenido de lípidos de un 57% siendo el porcentaje más alto a comparación de estos. También se demostró que el biodiesel de *Chlorella vulgaris* no causaría ninguna alteración en ninguna de las formas de uso de este biocombustible. Resaltando que el uso de un biocombustible si genera un impacto positivo en el ambiente, disminuyendo la contaminación por emisiones, usando de manera adecuada nuestros recursos naturales, favoreciendo la economía de nuestro país.

Palabras clave: *Biodiesel, Micro algas, Chlorella vulgaris, Biotecnología Energética.*

ABSTRACT

This research aims to determine whether the prototype for the production of biodiesel with micro algae *Chlorella vulgaris* favors the development of energy biotechnology. The data collection technique was used, identifying the CO₂ binding capacity, the incidence of the biochemical composition of the biomass of this micro algae and evaluating the efficiency of the biodiesel produced by the micro algae *Chlorella vulgaris*. The results show that the optimal fixation of CO₂ during the photosynthetic process depends on the administered concentration of sunlight or synthetic light and the adaptive capacity of the crop during the adsorption of CO₂. It was also observed that among all the raw materials most used for biodiesel production the micro algae *Chlorella vulgaris* has a lipid content of 57% being the highest percentage compared to these. It was also shown that the biodiesel of *Chlorella vulgaris* would not cause any alteration in any of the forms of use of this biofuel. Stressing that the use of a biofuel if it generates a positive impact on the environment, reducing pollution by emissions, using our natural resources appropriately, favoring the economy of our country.

Keywords: *Biodiesel, Micro algae, Chlorella vulgaris, Energy Biotechnology.*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad no es novedad que la principal fuente de energía para el mundo son los combustibles fósiles y atraen a muchos usuarios en diferentes aplicaciones y sectores como lo son el transporte, los negocios, las industrias, entre otros. Es por ello que el agotamiento de este recurso se va acelerando cada vez más debido al uso incontrolado y a la falta de alternativas que puedan suplantar el uso de estos, causando un impacto mínimo en el medio ambiente.

Esta investigación se realiza con el micro alga *Chorella vulgaris*, debido a que es una micro alga nativa de nuestro departamento, generando así el uso adecuado de nuestros recursos naturales como soluciones ecológicas ante esta problemática ambiental.

La biotecnología ambiental describe la aplicación del sistema biológico (por ejemplo, microorganismos, plantas, algas) para mejorar la calidad ambiental mediante la eliminación de contaminantes (Vallero, 2016 págs. 1-44). De esta manera, se busca suplantar los combustibles fósiles por las alternativas ecológicas dentro de estas el biocombustible de micro algas, para reducir los impactos negativos o por el contrario sean mínimos. Estudios previos han demostrado el potencial de producción de biodiesel para algunos alimentos (soja y aceite de palma), sin embargo, existe cierta controversia sobre la factibilidad de utilizarlo como energía, porque puede competir directamente con el uso de los recursos naturales. (Castillo, y otros, 2017 pág. 2)

La producción de biocombustibles a partir de micro algas, que representa una gran promesa para el suministro de energía, enfrenta muchos desafíos para competir económicamente. Desde las últimas décadas, se han desarrollado vigorosamente diversas técnicas de biofiltración de micro algas (procesos químicos, bioquímicos, termoquímicos, etc.) para lograr la viabilidad económica de todo el proceso integrado. Actualmente se están investigando procesos de producción basados en varios tipos de algas y micro algas, como la producción a pequeña escala de biodiesel hidrogenado, dimetil éter y biogás natural. (Jimenez y Castillo, 2021)

Ante lo expuesto, se determinó como objetivo general: Determinar si el prototipo para la producción de biodiesel con micro alga *Chlorella vulgaris* favorece en el desarrollo de biotecnología energética.

De la misma forma se plantearon como objetivos específicos:

Objetivo Específico 1: Identificar si la capacidad de fijación del CO₂ del micro alga *Chlorella vulgaris* incide en el desarrollo de biotecnología energética.

Objetivo Específico 2: Determinar si la composición bioquímica de la biomasa del micro alga *Chlorella vulgaris* incide en el desarrollo de biotecnología energética.

Objetivo Específico 3: Evaluar si la eficiencia del biodiesel producido por la micro alga *Chlorella vulgaris* incide en el desarrollo de biotecnología energética.

Asimismo, se planteó el problema general: ¿Cómo el prototipo para la producción de biodiesel con micro alga *Chlorella vulgaris* incide en el desarrollo de biotecnología energética?

Siendo los problemas específicos:

Problema Específico 1: ¿De qué manera la capacidad de fijación del CO₂ del micro alga *Chlorella vulgaris* incide en el desarrollo de biotecnología energética?

Problema Especifico 2: ¿En qué medida la composición bioquímica de la biomasa del micro alga *Chlorella vulgaris* incide en el desarrollo de biotecnología energética?

Problema Especifico 3: ¿Cuál es la eficiencia del biodiesel producido por del micro alga *Chlorella vulgaris* que incide en el desarrollo de biotecnología energética?

La siguiente investigación abarca la sobreexplotación de los combustibles fósiles siendo un tema de preocupación debido a que este recurso natural es no renovable, y la sociedad actual está dejando de lado aspectos que son importantes y solo se está centrando en una ganancia económica.

Nuestro país y ciudad por su ubicación y por biodiversidad tiene muchas condiciones que favorecen la producción de biodiesel de algas. Además, que contamos con varios de los parámetros que se toman en cuenta a la hora de la producción de este combustible. Los combustibles son de uso diario, por lo que disminuirlos generaría un impacto significativo en la sociedad, como ha sido en

diferentes países que ya han puesto en práctica este combustible. Además, el uso de este biocombustible generaría un impacto positivo en la economía de nuestra ciudad y de nuestro país.

La justificación ambiental de esta investigación se basa en obtener información referente a estudios de producción de biodiesel del micro alga *Chlorella vulgaris* que tenga la capacidad de reducir los impactos ambientales producidos por la elevada concentración de emisiones contaminantes que se pueden encontrar actualmente en la atmosfera por el aumento vehicular y el uso excesivo de combustibles en diferentes actividades, esta contaminación atmosférica genera una problemática mundial en crecimiento, generando el desequilibrio de los ecosistemas y dejando pocas posibilidades para poder recuperarnos de los efectos del calentamiento global. Este estudio detalla el conocimiento desarrollado de diferentes modelos experimentales que demuestran la eficiencia de esta biotecnología energética como un combustible sostenible.

A diferencia de los combustibles biodiesel de cultivos, y grasas de ganado, las algas se producen con ventajas como un material de alto contenido de combustible, un periodo de crecimiento corto, además, tiene un espacio adecuado para su eficiente desarrollo y un efecto natural positivo para el ambiente. (Sathish, T.; Singaravelu, Dinesh, 2020 págs. 843-845)

La justificación teórica de esta investigación se basa en evidencias que demuestran la viabilidad de los diferentes atributos del micro alga *Chlorella vulgaris*, sobre la fijación de las emisiones antropogénicas, causante de una problemática ambiental en todo el mundo, esta biotecnología asegura la sostenibilidad al minimizar la pérdida de biodiversidad y los daños a la salud de la sociedad.

II. MARCO TEÓRICO

El biodiesel tiene propiedades considerablemente similares al diésel del petróleo, por este motivo los motores no requieren de ningún cambio para poder usarlo.

Tabla 1: Comparación de biodiesel y diésel para algunos parámetros

Propiedad	Unidad	Diésel	Biodiesel
Propiedades estándar			
Densidad	Kg/m^3	820-860	875-900
Viscosidad cinemática	mm^2/s	2.00-4.50	3.50-5.0
Punto de Ignición	°C	>55	>110
Contenido de azufre	%(peso)	<0.20	<0.01
Numero de cetano		>46	>51
Propiedades adicionales			
Contenido de oxígeno	%(peso)	0	10.9
Poder calorífico	MJ/dm^3	35.6	32.9
Grado de eficiencia	%	38.2	40.7

Fuente: Tomado de (Arce, 2018)

Esta tabla muestra el punto de inflamación del biodiesel es más alto que el del diésel, lo que garantiza la seguridad durante el transporte y el almacenamiento. El número de cetanos en el biodiesel suele ser mayor. Los cetanos son una forma de medir la inflamabilidad de un combustible, que afecta la emisión de humos y la calidad en la combustión. Con índices de cetanos más altos, existe un arranque mejorado en frío, un motor menos ruidoso, mayor vida útil del motor y menores emisiones. El azufre indica el desgaste del motor y la aparición de depósitos, cuya importancia varía mucho según el funcionamiento del motor. Además, pueden afectar el funcionamiento del sistema de control de emisiones y los límites ambientales. Las emisiones de biodiesel de dióxido de azufre suelen ser cero, porque contiene una pequeña cantidad de azufre 16. Las emisiones de los principales contaminantes son mínimas. El poder calorífico no cambia significativamente, sin embargo, es alrededor de un 10% más bajo en biodiesel, aunque en la práctica no se descuida. (Arce, 2018 pág. 28)

Tabla 2: Comparación de las propiedades de biodiesel micro algal, diésel y estándar ASTM para el Biodiesel

Propiedades estándar	Biodiesel de aceite de micro algas	Diésel	Estándar ASTM Biodiesel
Densidad ($kg \cdot L^{-1}$)	0.864	0.838	0.86-0.90
Viscosidad (mm^2s^{-1} , cSt a 40 °C)	5.2	1.9-4.1	3.50-5.0
Punto de Inflamabilidad (°C)	115	75	Min 100
Punto de solidificación (°C)	-12	-50 a 10	Verano máximo 0 Invierno máximo <-15 Max 0.5
Punto de obstrucción filtro frío (°C)	-11	-3	
Valor ácido ($mg \text{ KOH } g^{-1}$)	0.374	Max 0.5	
Poder calorífico ($MJ \text{ kg}^{-1}$)	41	40.45	
Proporción H/C	1.81	1.81	

Fuente: Tomado de (López, 2017)

Se pueden obtener varias ventajas del biodiesel debido a que es una fuente de energía biodegradable y renovable (Tabla 2) y consigue producir una reducida cantidad de contaminantes (Cox, Sox, entre otros) desde su combustión debido a su estado oxigenado, obteniéndose menos nocivo. Asimismo, tiene propiedades lubricantes que reducen el desgaste del motor y es seguro de transportar, almacenar y manipular debido a su baja volatilidad y alto punto de inflamación (100-170°C). (López, 2017 pág. 34)

El uso de micro algas para producir biodiesel es una alternativa viable por su alto contenido en lípidos y configuración ideal para obtenerlo. Además de las otras propiedades de las micro algas son una alta eficiencia fotosintética, la capacidad de prosperar en ambientes marinos, de agua dulce y de aguas residuales, así como una tasa de crecimiento relativamente alta. Las micro algas pueden minimizar emisiones de CO₂, por lo que se considera que tienen el potencial de capturar biocombustibles de tercera generación. Seleccionar las micro algas es el primer paso en el desarrollo del proceso de producción, el cual debe tener características idóneas a determinadas condiciones de cultivo, para obtener un producto específico. En este sentido, informan que la búsqueda de nuevas especies capaces de estabilizar altas concentraciones de dióxido de carbono (15%) o utilizar el carbono contenido en rocas (por ejemplo, mármol) ofrece el potencial para obtener

microbiología beneficiosa para biodiesel de bajo costo., indica que el uso de bajas concentraciones de sacarosa para la acumulación de lípidos en *Chlorella vulgaris* resulta ser el sustrato más económico en relación costo-beneficio. (Castillo, y otros, 2017 pág. 2).

Tabla 3: Propiedades del Biodiesel y el Diésel.

Propiedades	Biodiesel	Diesel
Metil éster	95,5-98%	-
Carbono (%peso)	77	86,5
Azufre (%peso)	0,0024	0,05 máx.
Agua (ppm)	0,05 % máx.	161
Oxígeno (%peso)	11	0
Hidrógeno (%peso)	12	13
Número de cetano	48-55	48-55
PCI (KJ/Kg)	37700	41860
Viscosidad cinemática (40°C)	1,9-6,0	1,3-4,1
Punto de inflamación (°C)	100-170	60-80
Punto de ebullición (*C)	182-338	188-343
Gravedad específica (Kg/L) (60°C)	0,88	0,85
Relación aire/combustible	13,8	15

Fuente: (Arce, 2018)

El biodiesel es un combustible oxidante, por lo que se quema completamente y produce menos gases contaminantes que el diésel. Tiene un punto de inflamación relativamente alto (150 °C), por lo que es menos volátil que el diésel y más seguro de transportar. Además, tiene una gravedad específica de 0,88, mientras que la del gasóleo es de 0,85. Por esta razón, es un poco más pesado que el diésel, por lo que inyectar una mezcla de biodiesel en el combustible diésel es una forma común de completar el proceso de mezcla. El biodiesel está libre de nitrógeno y compuestos aromáticos y normalmente contiene menos de 15 ppm de azufre. Contiene un 11% de oxígeno en peso, lo que explica por qué tiene un calor de combustión ligeramente inferior al del diésel y tiene bajas emisiones de monóxido de carbono, partículas, hollín e hidrocarburos (Arce, 2018).

El cultivo, por otro lado, es un medio artificial en el que crecen las algas, existen muchos sistemas para cultivarlas. Es muy importante elegir medios artificiales para una población de células, cuyas condiciones de hábitat son complejas y variables, ya que inevitablemente inducen un período de adaptación durante el cual el

crecimiento de la población se ralentizará, no se producirá o será muy lento. En teoría, las condiciones de cultivo deberían ser lo más cercanas posible al entorno natural de las algas (Jimenez y Castillo, 2021). Las principales técnicas son:

Tabla 4: Ventajas y Desventajas de los sistemas de lagunas abiertas y foto biorreactores

Medio de cultivo	Ventajas	Desventajas
Lagunas abiertas	Más baratas de construir y más fáciles de operar Mantenimiento y limpieza más fácil que foto biorreactores	Baja productividad, por lo tanto, más terreno necesario para el cultivo Contaminantes provenientes del ambiente Número de especies de micro algas limitadas para este cultivo
Lagunas cerradas	Producción continua, trabajo mínimo y mejor proceso y gestión Puede usar luz natural y artificial, lo que aumenta el rendimiento total de las especies de micro algas Mejor control sobre las condiciones de cultivo y mayor número de especies cultivadas	Costo inicial mayor Alto consumo de energía

Fuente: Tomado de (Torres, y otros, 2017)

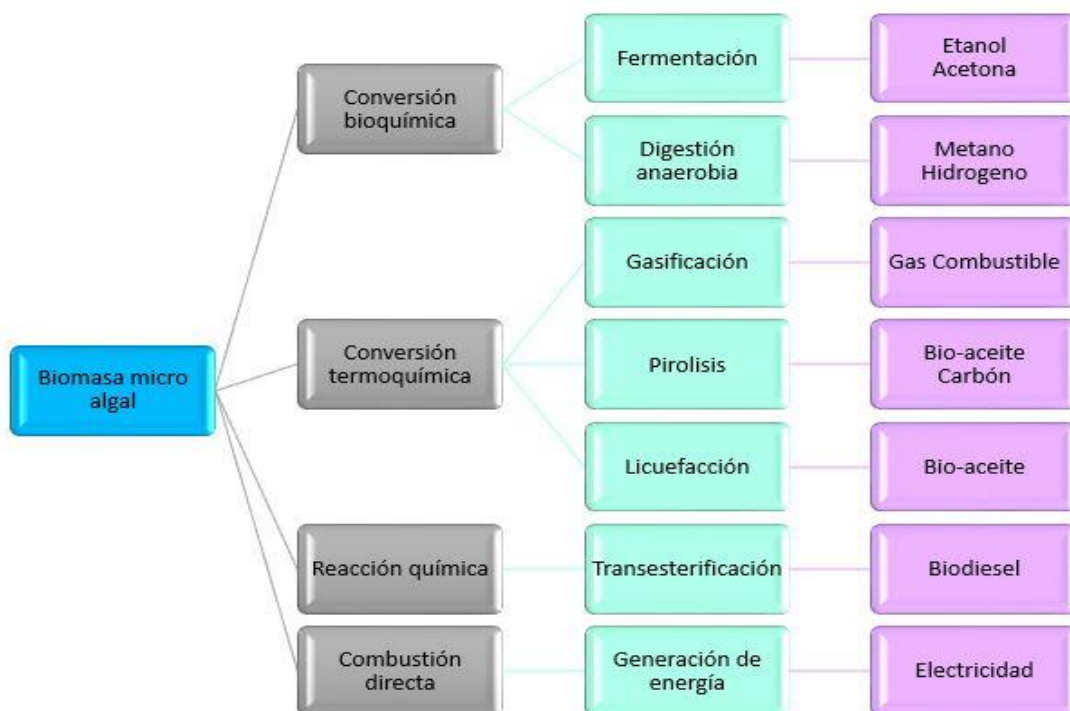
a) Cultivo en sistema abiertos. Estos son los sistemas más comunes, fáciles de construir y operar y económicos utilizados en el cultivo masivo de algas y cianobacterias. El entorno puede ser natural (lagos y estanques) o creado por el hombre (estanques verticales o circulares, construidos en diferentes estilos) que solo pueden soportar un número limitado de especies que pueden tolerar las condiciones. El ambiente es duro y relativamente inadecuado para el crecimiento de la mayoría de las algas. (Bibi, y otros, 2017)

b) Foto biorreactores Son sistemas independientes que brindan un mejor control de la contaminación, el transporte masivo y otras condiciones relacionadas; Fue desarrollado para superar los problemas de los sistemas abiertos e ineficientes (requerimientos de áreas grandes, contaminación, ambiente no controlado, evaporación, idoneidad de especies limitada, bajo rendimiento volumétrico)). Un sistema integrado, foto biorreactor cerrado y abierto, que combina ventajas individuales, demuestra eficiencia. Los foto biorreactores se pueden ubicar en

interiores o exteriores, según el sistema de recolección y distribución de luz y la viabilidad comercial.

c) Los fermentadores utilizados en las granjas de algas heterótrofas deben proporcionar suficiente oxígeno para descomponer materia orgánica que se consumirá como única fuente de carbono y energía; Incluyendo condiciones de fermentación, un alto grado de control del proceso, eliminación de luz, independencia de las condiciones climáticas y costos de cosecha reducidos (Bibi, y otros, 2017)

Figura 1: La producción de energía por la conversión de biomasa de micro algas usando procesos de combustión directa, bioquímicos, termoquímicos y químicos



Fuente: Tomado de (López, 2017)

Se recolectó toda la información pertinente sobre investigaciones anteriores de producción de biodiesel como también en diseños de producción de biodiesel de algas. Esta información se obtuvo a través de las distintas fuentes bibliográficas disponibles que estaban directamente relacionadas con el tema de estudio, siendo los más relevantes para nuestra investigación los siguientes:

Kumar Sharma, Kumar Sahoo, Singhal, & Joshi (2016) exploraron el enfoque integrado para la obtención de biodiesel a base de micro algas *Chlorella vulgaris*.

Estas se cultivaron en canales de estanqueidad abierto de 10 m² de manera semi continua con una producción óptima volumétrica y areal de 28.105 kg / L / año y 71.51 t / h / año. Se usó alumbre como floculante para obtener las micro algas y se optimizó el pH. El lípido se extrajo usando cloroformo: metanol (2:1) y con 12,39 % de FFA. Se analizó el resultado de diversos escenarios de reacción, como el catalizador, la relación metanol: lípido, la T° y el tiempo de reacción referente a los rendimientos de biodiesel, además, bajo irradiación de microondas; y el 84,01 % del rendimiento de biodiesel se obtuvo en condiciones de reacción optimizada. También se realizó una comprobación entre las producciones de biodiesel bajo calefacción convencional e irradiación de microondas.

El artículo presentado por Xaaldi kalhor & et al. (2016) se realizó con el objetivo de obtener una alternativa valiosa como fuente de energía no convencional. En los últimos años, la contaminación de las aguas residuales ha causado muchos problemas ambientales, por lo tanto, la fitorremediación de las aguas residuales ha atraído la atención internacional. Se analizó el cultivo de *Chlorella vulgaris* en un ambiente contaminado por petróleo crudo para la realización de biodiesel. Las concentraciones previstas fueron de 10 y 20 g por litro (petróleo crudo/agua) en dos momentos. Los resultados notaron que el crecimiento de la *C. vulgaris* obtuvo mejores resultados en las aguas residuales y la cantidad máxima de masa seca y aceite se produjo la más alta concentración de petróleo crudo (0,41 g y 0,15 g / l. respectivamente), por lo tanto, la masa seca y el rendimiento de aceite de la microalga mejoraron significativamente al aumentar la duración del experimento.

Por parte de Parichehreh, Gheshlaghi, Akhavan Mahdavi, & Elkamel (2019) desarrollaron una red metabólica para detallar el metabolismo de *Chlorella vulgaris* basándose en reacciones enzimáticas conocidas y vías metabólicas típicas de las algas verdes. La simulación reveló que las microalgas serían capaces de generar niveles más altos de contenido de lípidos (43,6%), en tanto que, el cultivo con hambre de N bajo una intensidad de luz de 100 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, aireación de 0,25 vvm con 2% (v/v) de CO₂, 2 mg L⁻¹ PO₄-P y 5 mg L⁻¹ NO₃-N. El estudio de sensibilidad mostró que el CO₂, la energía luminosa, el O₂ y el nitrato eran factores más importantes que dañaban la producción de lípidos en condiciones de deficiencia de nitrógeno.

Así mismo Sakarika & Kornaros (2019) indican que los biocombustibles podrían ser la respuesta para proteger la seguridad energética presentemente cuestionada. De este modo, esta investigación proporciona una comparación entre los enfoques conexos con la transformación de biomasa de microalgas en bioenergía, con miras a una implementación sostenible. Se estudió la valorización energética de la biomasa de *Chorella vulgaris* cultivada en condiciones heterótrofas y limitadas en azufre a través de los biocombustibles biodiesel, biogás (biometano) y biomasa seca para el combustible. La productividad de los lípidos puede lograr el valor de $442.9 \pm 6.5 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$, que contienen ácidos grasos adecuados para la producción de biodiésel. Considerando el procesamiento posterior requerido en cada enfoque, el método de valorización de energía más prometedor es la digestión anaeróbica capaz de alcanzar valores de hasta $20.862 \text{ kJ L}_{\text{reactor}}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en sistemas continuos.

De acuerdo a la investigación de Cevallos, Imbaquingo y Mafla (2021) la búsqueda constante de fuentes de energía alternativas en la industria automotriz y la necesidad de reducir su impacto en el medio ambiente es una de las principales razones de los notables avances en la producción de combustibles que cumplen con los requisitos de los vehículos equipados con motores de encendido por compresión. El proyecto se centra en la reducción de los niveles de contaminación en los gases de escape mediante la mezcla de biocombustibles y combustibles diésel. Para ello se utiliza como materia prima fitoplancton (*Chlorella*) recuperado de recursos de tercera generación. Los resultados de la investigación sobre el índice de turbidez y el coeficiente de absorción de luz del motor Mitsubishi Canter disminuyeron un 20,6 % y B10 disminuyó un 32,12 %, y la conclusión es prometedora. Para obtener futuras encuestas adicionales en una variedad de energía alternativa.

El artículo presentado por Escobedo y Castillo (2021) describe tecnologías promisorias para la obtención de biocombustibles con alta demanda potencial global, tomando en cuenta las características técnicas del proceso, el desempeño de las especies de microalgas producidas y producidas. glucólisis, fermentación y depuración) y biogás (digestión anaerobia). La mayoría de los estudios se han centrado en la producción de lípidos, específicamente *Chlorella vulgaris* y *Nanochloropsis* sp. La *Botryococcus braunii* (A) es la microalga más utilizada para

biodiesel. Sin embargo, hay pocos estudios que se basen en la producción de biomasa a partir de microalgas para producir bioetanol y, por lo tanto, las microalgas *Porphyridium cruentum* y *Spirogira* sp. Se puede utilizar para producir bioalcohol, con la ventaja de no contener lignina.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación básica o sustantiva recibe el nombre de pura porque está genuinamente interesada en los objetivos químicos, motivada por la curiosidad, la gran alegría por descubrir nuevos conocimientos y, como han dicho otros, el amor a la sabiduría. Se dice que es fundamental porque es la base de la investigación aplicada o técnica; Es fundamental porque es necesario para el avance de la ciencia. (Nieto, 2018, p. 01).

El tipo es básico, debido a la compilación de diferentes estudios y artículos científicos acerca de la producción de biodiesel con el micro alga *Chorella vulgaris* en el desarrollo de la biotecnología energética, que busca crear un nuevo cimiento para la investigación aplicada, buscando generar nuevas curiosidades en futuros investigadores.

El diseño de esta investigación es narrativo, recopilando información y datos de diferentes artículos e investigaciones de diferentes autores referentes a la producción de biodiesel, eficiencia de micro algas, y biotecnología, donde se buscó los más relevantes para aclarar nuestro problema general y específicos. Este proceso tiene la finalidad de recolectar datos sobre historias existentes y experiencias determinadas, donde se describen y se analizan (Sánchez et al, 2018, p.79).

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

Se presenta las categorías, subcategorías y la matriz de categorización apriorística de acuerdo a nuestro tema de estudio tratado: Prototipo para la Producción de Biodiesel con Micro Alga *Chlorella vulgaris* en el Desarrollo de Biotecnología Energética.

Tabla 5: Matriz de categorización Apriorística

Objetivo General	Objetivos Específicos	Problema General	Problemas Específicos	Categoría	Sub categoría	Unidad de análisis
Determinar si el prototipo para la producción de biodiesel con micro alga Chlorella Vulgaris favorece en el desarrollo de biotecnología energética	Identificar si la capacidad de fijación del CO ₂ de la micro alga Chlorella Vulgaris incide en el desarrollo de biotecnología energética	¿Cómo el prototipo para la producción de biodiesel con micro alga Chlorella Vulgaris incide en el desarrollo de biotecnología energética?	¿De qué manera la capacidad de fijación del CO ₂ de la micro alga Chlorella Vulgaris incide en el desarrollo de biotecnología energética?	FIJACIÓN DE CO ₂	PROCESO FOTO-SINTÉTICO	<ul style="list-style-type: none"> -(Maña Yopez, y otros, 2018) -(Velasco, y otros, 2021) -(Rendón Castellón, y otros, 2013) -(López González, 2016) -(Herrera Yañez, 2017) -(Pedraza Cuesta, y otros, 2018) -(Malagón Micán, y otros, 2020) -(Mena Bolaños, 2019) -(Ararat Orozco, y otros, 2020) -(Lewendowski, y otros, 2017) -(Benavente Valdés, y otros, 2016) -(Beltrán Rocha, y otros, 2017) -(Yadav, y otros, 2017)
	Determinar si la composición bioquímica de la biomasa de la micro alga Chlorella Vulgaris incide en el desarrollo de biotecnología energética		¿En qué medida la composición bioquímica de la biomasa de la micro alga Chlorella Vulgaris incide en el desarrollo de biotecnología energética?	COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA	LÍPIDOS	<ul style="list-style-type: none"> -(Malagón Micán, y otros, 2020) -(Lucero Esteban, 2018) -(González Ángel y otros, 2016) -(Félix Mónica, 2017) -(Flores Ana, 2020) -(Arce John, 2018) -(Pérez María y otros, 2018) -(Castillo Omar y otros, 2017) -(Cobos Marianela y otros, 2016) -(Rokicka Magdalena y otros, 2020) -(Choi Yong-Keun y otros, 2018) -(Seyhaneyiliz Safak y otros, 2021)
	Evaluar si la eficiencia del biodiesel producido por la micro alga Chlorella Vulgaris incide en el desarrollo de biotecnología energética		¿Cuál es la eficiencia del biodiesel producido por de la micro alga Chlorella Vulgaris que incide en el desarrollo de biotecnología energética?	EFICIENCIA DEL BIODIESEL	COMBUSTIÓN COMPLETA	<ul style="list-style-type: none"> -(Arce John, 2018) -(Imbanquingo Navarrete, y otros, 2020) -(Ramirez Lizana, 2018) -(Antón Fernández, 2021) -(Franco Palo, 2019) -(Gómez Moreno, y otros, 2017) -(Álvarez Gallegos, 2018) -(Acosta Escobar, 2018) -(Yáñez Torres, 2016) -(Arias Peñaranda, y otros, 2013) -(Mojur, y otros, 2019) -(Rajek, y otros, 2020) -(Deshmukh, y otros, 2019)

3.3. Escenario de estudio

La revisión sistemática se caracteriza por tener y describir un proceso de desarrollo transparente y comprensible para la recolección, selección, valoración crítica y síntesis de toda la evidencia disponible sobre la efectividad del sistema, tratamiento, diagnóstico, pronóstico, etc. (Begoña, et. al., 2018). Asimismo, el enfoque cualitativo, gracias a un sólido diseño teórico, capaz de generar teorías transfiriendo gradualmente los resultados individuales de los estudios de caso hacia relaciones más generales y abstractas, luego de una evaluación rigurosa de la veracidad e integridad de los datos, la integridad del proceso de investigación y la "base empírica" sobre la cual (Sánchez, 2019).

El escenario de estudio de la investigación es una revisión sistemática de la producción de biodiesel con el micro alga *Chorella vulgaris* en base a los diferentes enfoques de pesquisas que han realizado estudios, generando el desarrollo de la biotecnología energética.

3.4. Participantes

Los participantes se conforman por artículos de revistas, libros, investigaciones de universidades de nivel nacional e internacional, entre otros. Estos fueron extraídos de diferentes bases de datos mencionadas a continuación: Google académico, scielo, scopus, sciencedirect, repositorios de universidades nacionales e internaciones, depósitos de investigaciones de diferentes universidades, siendo así, las fuentes que se utilizaron para recopilar la información de la presente investigación.

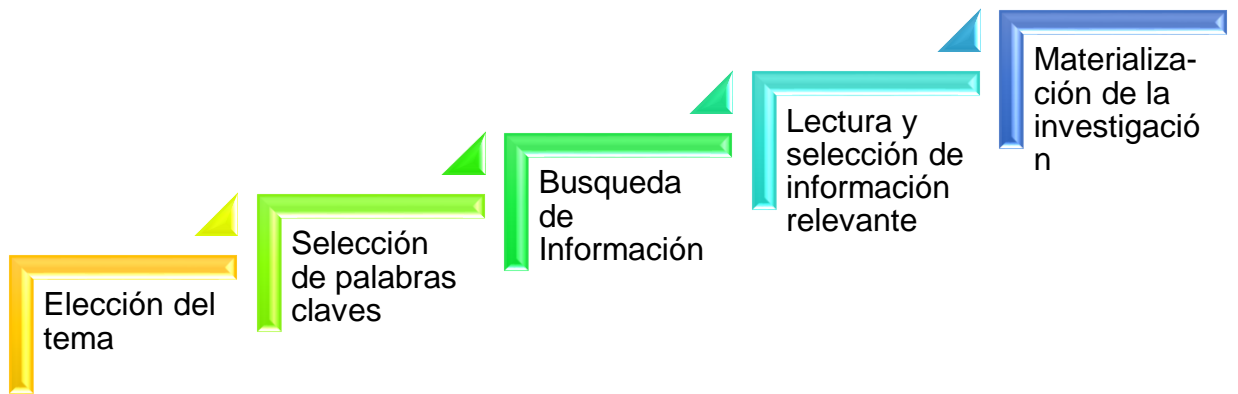
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica para esta investigación es el análisis documental, generando una extracción científico-informativa, donde se analiza y selecciona aquellos que son más relevantes para nuestro tema de interés, contribuyendo a la toma de decisiones, al cambio de curso de acciones y de estrategias (Dulzaides y Molina, 2004). De esta manera, nuestro instrumento principal son las diferentes plataformas digitales.

3.6. Procedimientos

Se inició con la elección del tema, el cual fue de vital importancia debido a que concatena los siguientes pasos mostrados a continuación:

Figura 2: Procedimiento para la investigación.



Fuente: Elaboración Propia

Además, para los pasos 3 y 4, se recopila la información teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión, lo que nos ayuda a obtener información auténtica y de alta calidad, que se muestra en la tabla a continuación:

Tabla 6: Criterios de búsqueda

TIPO DE DOCUMENTO	DOCUMENTOS REFERIDOS A	CANTIDAD	PALABRAS CLAVE DE BÚSQUEDA	CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
ARTÍCULO CIENTÍFICO	Producción de Biodiesel	39	Producción de Biodiesel	Artículos de scielo, scopus, sciencedirect	Referencias duplicadas
	Composición de <i>Chorella Vulgaris</i>				
	Emisión de gases por combustión				
LIBROS (PARRAFOS Y/O CAPÍTULOS)	Desarrollo de la biotecnología	3	Desarrollo de la biotecnología	Publicaciones relevantes para la investigación	
	Biodiesel de micro algas				
TESIS	Desarrollo de la biotecnología	12	Composición bioquímica de <i>Chorella vulgaris</i>	Publicaciones relevantes para la investigación	
	Biodiesel de micro algas				
GOOGLE ACADÉMICO	Biología energética	1	Eficiencia de Biodiesel	Publicaciones en español, inglés y portugués	Periodo de publicación antes de 2018
	Producción de Biodiesel				
	Eficiencia de las Micro algas		Contaminación con combustibles		
	Composición bioquímica de micro algas				

Fuente: Elaboración propia

3.7. Rigor científico

El rigor es un concepto general en el desarrollo de la investigación y la evaluación de la aplicación científica y rigurosa de los métodos de investigación y las técnicas analíticas para la recopilación y el procesamiento de datos. (Noreña, et. al. , 2012), entre los cuales tenemos:

La dependencia o consistencia lógica es el grado en que diferentes investigadores recopilan datos similares en el campo y realizan los mismos análisis, produciendo resultados equivalentes (Rojas Bravo, y otros, 2017 pág. 66). De esta manera se recopiló los datos de diferentes fuentes confiables, donde diferentes autores explican la producción de biodiesel con micro alga *Chorella vulgaris* en el desarrollo de la biotecnología energética.

El criterio de credibilidad o valor de la verdad, es un requisito importante porque permite resaltar fenómenos y vivencias humanas tal como son percibidas por los autores (Noreña, et. al. , 2012). Siendo así, en la presente investigación se tomaron artículos publicados en páginas autorizadas como scielo, scopus, entre otros, de los cuales la información extraída no ha sido modificada.

La transferencia aborda la responsabilidad del investigador de proporcionar información suficiente sobre el trabajo de campo y el contexto de investigación para permitir la transferencia y comparación de resultados con otros contextos. (Varela y Vives, 2016 pág. 194). Por ello, se seleccionó la información de acuerdo a nuestro propósito, que quedará como base para futuras investigaciones.

3.8. Método de análisis de la información

El análisis cualitativo es el conjunto de actividades empíricas y conceptuales a través de las cuales se generan y procesan los datos para su interpretación. Para realizar un análisis cualitativo, se hacen las siguientes recomendaciones: centrarse en el tema de la investigación, ampliar el plan para la recopilación y revisión de datos, leer repetidamente la información recopilada, revisar la literatura sobre el tema de investigación. (Marín, Hernández y Flores, 2016 pág. 4), Presentados en la matriz apriorística y los criterios de búsquedas.

3.9. Aspectos éticos

La presente investigación guarda respeto a la autoría de las fuentes de información, siendo estas citadas según lo indicado en el manual de estilo ISO 690 y el cumplimiento del código de Ética de Investigación de la Universidad César Vallejo. Asimismo, mediante nuestro rigor científico asegurándonos que la información recolectada es verídica y de fuentes confiables.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se revisaron y analizaron 39 artículos científicos relacionados con la producción de biodiesel con la micro alga *Chlorella vulgaris* en el desarrollo de la biotecnología energética. Basados en la información recopilada se reportó lo siguiente:

1) Se identificó si la capacidad de fijación del CO₂ del micro alga *Chlorella Vulgaris* incide en el desarrollo de biotecnología energética. Según se avanzó la investigación, captamos la importancia de la fijación de CO₂ del micro alga mediante su proceso fotosintético, el cual, revela la importancia de este componente para su crecimiento y así realizar un biodiesel de resultados óptimos como se indica en las siguientes investigaciones:

Tabla 7: Estudios realizados del proceso fotosintético del Chlorella vulgaris en su producción de biodiesel

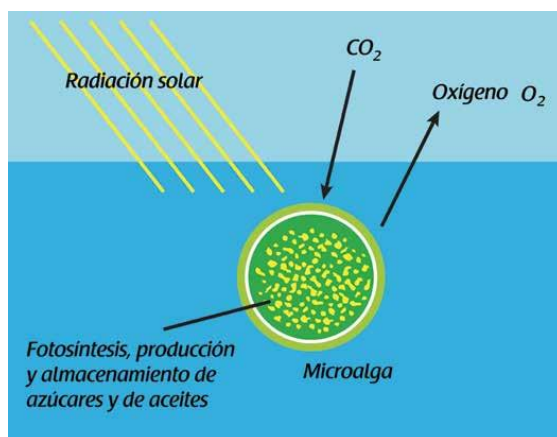
ESTUDIO Y/O INVESTIGACIÓN	PAIS	AÑO	ESPECIE	CONDICION DEL ESTUDIO	TIEMPO	FACTORES	RESULTADO	REFERENCIA
Diseño de un fotobiorreactor tubular para la producción de <i>Chlorella vulgaris</i>	PERU	2016	<i>Chlorella vulgaris</i>	Se define el diseño de forma detallada, pasando por la definición de condiciones de trabajo como la temperatura, intensidad lumínica y el pH, y determinando el detalle del proceso de desoxygenación, las necesidades de bombeo y el sistema de refrigeración	6 días	Co ₂ : 10% en volumen de una concentración en el medio de 150 mg/L. Iluminación: Rango 400-700 nm Crecimiento: 0,247 g C. vulgaris /l día	Considerando que la tasa de fijación de dióxido de carbono media para <i>C. vulgaris</i> , se encuentra en los 0,5g CO ₂ /g C. vulgaris, y que la tasa de crecimiento de la microalga en nuestro reactor es de 0,247 g C. vulgaris /l día se extrae que la concentración de CO ₂ en medio variará de forma que para mantenerla en los 150mg/L deseados	Paula (2016)
DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN DE ALTO DESEMPEÑO DEL PROCESO DE FIJACIÓN DE CO ₂ PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN FOTOBORREACTORES TUBULARES A ESCALA PLOTO	MEXICO	2017	<i>Chlorella sp.</i>	El objetivo de este trabajo fue evaluar las condiciones ambientales de nutrientes, luminosidad y CO ₂ sobre el crecimiento celular de la microalga <i>Chlorella sp.</i> y su producción de carbohidratos, lípidos, proteínas y dorofitas	23 días	Luminosidad: 4000 Lux Co ₂ 2 % v/v de CO ₂ Crecimiento: 7,26 x10 ⁷ cel/mL	Los mejores resultados obtenidos fue una dosis de 1,5 mL/L de nutrientes, 4000 Lux de luminosidad y 2 % v/v de CO ₂ . Obteniendo un máximo crecimiento celular de 7,26x10 ⁷ cel/mL.	María (2017)
EVALUACIÓN DE LA BIOfIJACIÓN DE CO ₂ Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA A PARTIR DE LAS MICROALGAS BAJO CONDICIONES DE FOTOBORREACTOR A ESCALA LABORATORIO	COLOMBIA	2018	<i>Scenedesmus dimorphus</i> <i>Chlorella vulgaris</i>	El presente trabajo de investigación evaluó la biofijación de CO ₂ y producción de biomasa a partir de las microalgas <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus dimorphus</i> , donde se determinó cuál microalga presentó una mayor biofijación bajo condiciones de operación establecidas	8 días	Co ₂ : 0-3% Luminosidad: 700 nm (21 W potencia) <i>Scenedesmus dimorphus</i> Crecimiento: 4,58x 10 ⁶ cel/mL <i>Chlorella vulgaris</i> Crecimiento: 2,61x 10 ⁷ cel/mL	El suministro de un porcentaje de (0-3%) de dióxido de carbono proporciona un crecimiento mayor para las dos especies cultivadas. <i>Scenedesmus dimorphus</i> Crecimiento: 4,58x 10 ⁶ cel/mL. <i>Chlorella vulgaris</i> Crecimiento: 2,61x 10 ⁷ cel/mL.	María y María (2018)
EFFECTO DE LA DOSIFICACIÓN DE CO ₂ EN LA CINÉTICA DE CRECIMIENTO DE MICROALGAS <i>Chlorella vulgaris</i> Y <i>Scenedesmus obliquus</i>	COLOMBIA	2021	<i>Chlorella vulgaris</i> <i>Scenedesmus obliquus</i>	El propósito de este estudio es evaluar del efecto de la inducción de CO ₂ en diferentes concentraciones sobre la cinética de crecimiento de <i>Chlorella Vulgaris</i> CV 2714 y <i>Scenedesmus Obliquus</i> SOB 001	5 días	Co ₂ : 0, 2, 6,5, 12,8 L.d ⁻¹ .m ⁻¹ Luminosidad: 4400 lúmenes <i>Chlorella vulgaris</i> Crecimiento: 2,59 x 10 ⁷ cel.m ⁻¹ .l ⁻¹ <i>Scenedesmus obliquus</i> Crecimiento: 4,62 x 10 ⁶ cel. m ⁻¹ .l ⁻¹	El diseño experimental estandarizado cuyas fuentes de variación fueron: especie microalga y dosificación de CO ₂ (0, 2, 6,5, y 12,8 L. día ⁻¹) con iluminación artificial por lámpara fluorescente de 4400 lúmenes. <i>Chlorella vulgaris</i> Crecimiento: 2,59 x 10 ⁷ cel.m ⁻¹ .l ⁻¹ <i>Scenedesmus obliquus</i> Crecimiento: 4,62 x 10 ⁶ cel. m ⁻¹ .l ⁻¹	Milón et al. (2021)
Influencia de la concentración inicial de <i>Chlorella vulgaris</i> y CO ₂ en la producción de lípidos	COLOMBIA	2020	<i>Chlorella vulgaris</i>	se desarrollaron cuatro pruebas de crecimiento de microalga, con concentraciones de CO ₂ (0-3%; 3-6%; 6-9%; 9-12 %) como fuente de carbono para la producción de Biomasa.	5 días	Co ₂ : 0,3% y 6%-9% Luminosidad: 21 W (2 bombillas) de luz roja, 12/12 (Luz oscuridad) <i>Chlorella vulgaris</i> Crecimiento: 3,65x10 ⁷ cel/mL	El rendimiento definido como la cantidad de biomasa seca en gramos por cada litro de medio de cultivo fue de 0,55 g/L para la prueba 1 y de 0,79 g/L para la prueba 3, lo que genera una evidencia que la adición de CO ₂ en los intervalos señalados favorece el rendimiento.	Martha y Mnyam (2020)

Fuente: Elaboración propia-

En esta Tabla 6, se observa como los autores de estas investigaciones experimentaron con diferentes concentraciones de CO₂ e iluminación, identificando como esta materia de análisis el *Chlorella Vulgaris* se desarrolló hasta conseguir un rendimiento y crecimiento óptimo.

Esta micro alga es una biofactoría celular impulsada por la luz, realizando la conversión de dióxido de carbono en varios componentes biológicos celulares como proteínas, pigmentos, lípidos, vitaminas y polisacáridos a través del transporte de electrones inducido por la luz. (Daniela Mena, 2019). Al crecer en condiciones foto tróficas, captan la luz y utilizan su energía para convertir el dióxido de carbono (CO₂) en energía química en forma de biomasa a través de la fotosíntesis, es decir, en organismos ricos en carbono. (Lewandowski et al., 2018), Además, la producción varía con el aumento o la disminución de la intensidad de la luz, por lo que la cantidad total de luz por día es importante para el crecimiento de algas, que puede controlarse mediante foto ciclado. (Benavente et al., 2016) Es razonable utilizar CO₂ como fuente de carbono inorgánico, ya que es la forma más biodisponible en las micro algas, en contraste a las especies HCO₃⁻ y CO₃²⁻ que también mejoran la absorción de nutrientes al convertirlos en CO₂ para la fotosíntesis (producción de biomasa). (Julio et al., 2017), Por lo tanto, se encontró que el gran tamaño del inóculo acorta la incubación o la aclimatación e induce una entrada más temprana en la fase de crecimiento, lo que resulta en una mayor asimilación de carbono y rendimiento de biomasa. (Yadav & Sen, 2017).

Figura 3: Fotosíntesis del alga *Chlorella Vulgaris*



Fuente: Tomado de: (Rendón Castrillón, y otros, 2013)

2) Se determinó si la composición bioquímica de la biomasa del micro alga *Chlorella vulgaris* incide en el desarrollo de biotecnología energética. Para ello como se estableció en la matriz apriorística se tuvo que revisar la composición bioquímica del micro alga, esto nos llevó a centrarnos en los lípidos que se podían obtener de las diferentes materias primas que se utilizan para la producción de biodiesel como se muestra en la siguiente tabla:

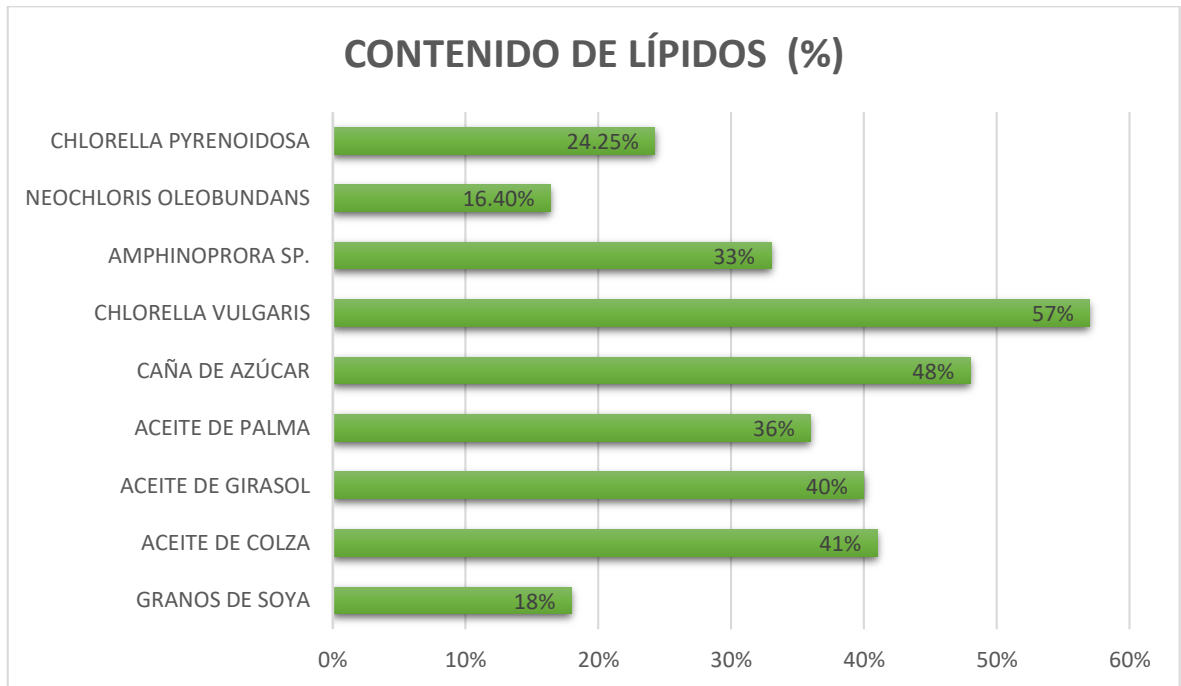
Tabla 8: Contenido de Lípidos según materia prima utilizada

MATERIA PRIMA	CONTENIDO DE LÍPIDOS (%)
GRANOS DE SOYA	18%
ACEITE DE COLZA	41%
ACEITE DE GIRASOL	40%
ACEITE DE PALMA	36%
CAÑA DE AZÚCAR	48%
CHLORELLA VULGARIS	57%
AMPHINOPRORA SP.	33%
NEOCHLORIS OLEOBUNDANS	16.40%
CHLORELLA PYRENOIDOSA	24.25%

Fuente: Adaptado de: (Lucero Esteban, 2018) (González Ángel y otros, 2016) (Félix Mónica, 2017)

Tomamos como referencia de comparación solo las materias primas que han sido más estudiados por diferentes investigadores, para así tener resultados verídicos. De esta manera podemos observar que dentro de todas las materias primas más utilizadas el micro alga *Chlorella vulgaris* tiene un contenido de lípidos de un 57% a comparación de estos.

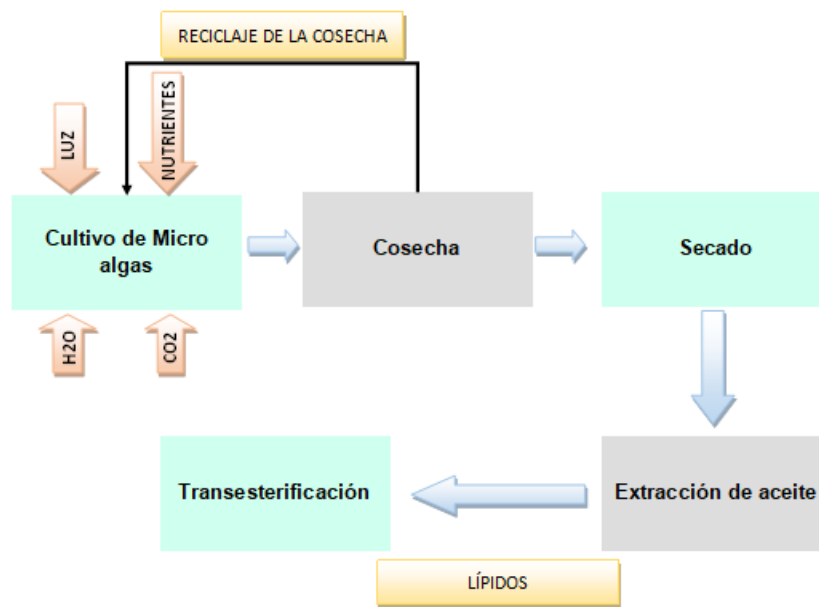
Figura 4: Contenido de Lípidos



Fuente: Elaboración propia

El crecimiento de micro algas en condiciones óptimas da entre 20 a 50% de lípidos sin embargo los cambios en varios parámetros permiten una mayor producción de lípidos, además algunas micro algas tienen la capacidad de adaptarse a ambientes hostiles. (Flores Rosales, 2020). Cabe resaltar que la micro alga *Chorella vulgaris* tiene una acumulación máxima de lípidos a una Temperatura de 25°C, además la intensidad de la luz juega un papel muy importante, cuando la intensidad es muy baja, la concentración de la biomasa disminuye, por tanto, la producción de lípidos también disminuye. (Lucero Rouzaud, 2018). El micro alga *Chlorella Vulgaris* tiene un tiempo de adaptación de 2 días, por lo que puede llegar a su máximo crecimiento en el día 5. Cuando permitimos las mejores condiciones se puede llegar a obtener hasta un 61.8% de lípidos (4.93g de biomasa seca = 3.05g lípidos) (Malagón Micán, y otros, 2020 pág. 66). Otros investigadores han llegado a alcanzar hasta un 77.74% de extracción de lípidos.

Figura 5: Proceso para la producción de biodiesel



Fuente: Adaptado de: (Pérez, y otros, 2018)

Por ultimo establecimos que el prototipo más eficiente para la obtención de la concentración optima de lípidos para la producción de biodiesel se muestra en la figura 4 donde mostramos el proceso para la producción de biodiesel donde en la etapa final es de suma importancia la cantidad de lípidos que se extraen, debido a la cantidad de estos obtendremos mayor o menor cantidad de biodiesel. Concordando con diferentes autores la micro alga elegida en esta investigación es la más viable debido a la alta cantidad de lípidos que podemos extraer de esta, siendo nativa de nuestra región lo que tendría un valor agregado a tener un mejor aprovechamiento de nuestros recursos naturales. Por lo expuesto anteriormente se determinó que composición bioquímica de la biomasa del micro alga *Chlorella Vulgaris* si incide en la producción de biodiesel para el desarrollo de la biotecnología energética.

3)Se evaluó si la eficiencia del biodiesel producido por la micro alga *Chlorella vulgaris* incide en el desarrollo de biotecnología energética tomándose en cuenta las diferentes características que presentan los biocombustibles y combustibles. Encontrando las características mostradas a continuación:

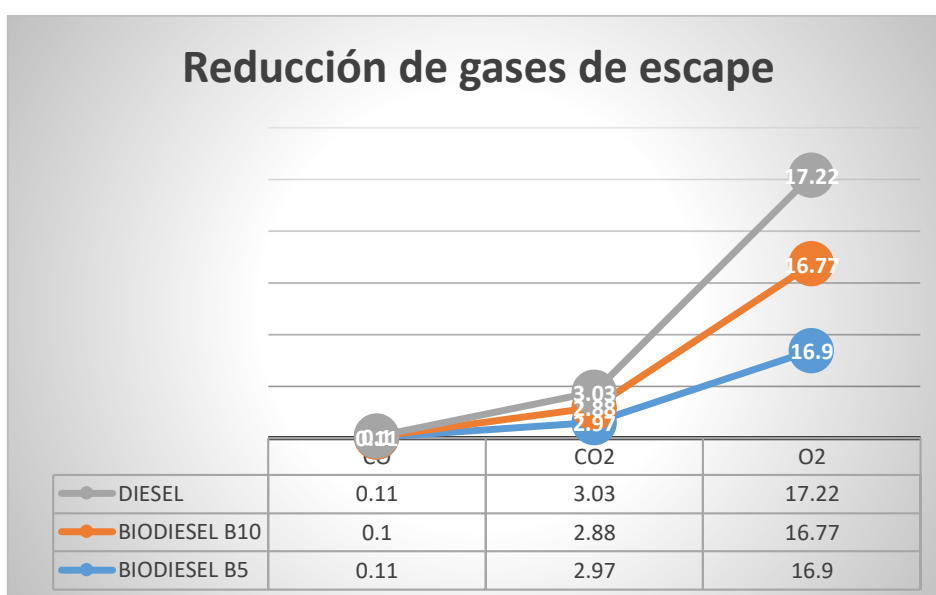
Tabla 9: Características del Biodiesel del micro alga *Chorella vulgaris*

MATERIA PRIMA	BIODIESEL DE CHLORELLA VULGARIS
RENDIMIENTO (%)	85.60%
DENSIDAD(Kg/m ³)	881.31
PUNTO DE INFLAMACIÓN(°C)	123.58
NUMERO DE CETANOS	42.83

Fuente: Adaptado de: (Ramirez Lizana, 2018) (Antón Fernández, 2021) (Franco Pallo, 2019)

Diferentes investigadores realizaron pruebas en motores para verificar la eficiencia de diferentes biocombustibles, provenientes de diferentes alternativas ecológicas, destacando el biodiesel de *Chlorella Vulgaris*, no solo por su rendimiento como biocombustible sino por la reducción de gases de escape que emite. Además, tiene la capacidad de mezclarse en diferentes concentraciones con diésel de B5, B10 e incluso se han realizado estudios con mezclas B25. A continuación se muestra un gráfico con las emisiones de los gases más comunes:

Figura 6: Emisión de Gases de escape



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6 podemos apreciar un gráfico donde se muestran las emisiones de gases en partes por millón (ppm) donde 1ppm equivale a 1 unidad de volumen por cada millón de unidades de aire, es decir 1 litro del gas contaminante en 1 millón de litros de aire, siendo de esta manera el Biodiesel B10 el generador de menos gases contaminantes, seguido del Biodiesel B5.

De esta manera se determinó lo siguiente:

Tabla 10: Comparación del Biodiesel y el Diésel

BIODIESEL	DIESEL
La elaboración del biodiesel genero buenos porcentajes de rendimientos en los procesos	Tiene altos rendimientos pero es derivado del petróleo.
Sus propiedades fisicoquímicas demandan una alta eficiencia para ser utilizado ya sea puro o mezclado con otros combustibles.	Sus características hacen que sea un combustible eficiente, pero su uso genera gases contaminantes
Es un recurso renovable y amigable con el medio ambiente.	Recurso altamente contaminante al medio ambiente ya que es procedente de combustibles fósiles.

Fuente: Adaptado de: (Álvarez Gallegos, 2018) (Acosta Escobar,2018) (Yáñez Torres, 2016)

Al tener una eficiencia alta de un 85.6%, podemos decir que la producción se puede realizar a gran escala, próximamente comercializándolo, generando un ahorro económico. Además, en el proceso se generan subproductos como la glicerina al cual se le puede dar un uso extra, reduciendo los residuos y mitigando todo tipo de contaminación. Por lo tanto, la eficiencia del biodiesel producido por la micro alga *Chlorella Vulgaris* incide en el desarrollo de biotecnología energética al tener una eficiencia parecida a los combustibles convencionales, teniendo un valor agregado al reducir la emisión de gases contaminantes.

V. CONCLUSIONES

En los últimos años, más investigadores se están enfocando en buscar nuevas fuentes de energía no convencional, siendo las micro algas fuente de estudio para la producción de biodiesel, realizando investigaciones en diferentes especies de micro algas, coincidiendo muchos de estos autores con la viabilidad del micro alga *Chlorella vulgaris*. De esta manera llegamos a la conclusión que nuestro prototipo para la producción de biodiesel con la micro alga si favorece en el desarrollo de la biotecnología energética.

La fijación optima del CO₂ durante el proceso fotosintético, depende de la concentración administrada de luz solar o sintética y la capacidad de adaptación del cultivo durante la adsorción del CO₂, debido a esto, el alga *Chlorella vulgaris* se le considera como una especie capaz de lograr sacarle el mejor provecho a estos nutrientes, y usarlos en su crecimiento y producción de biomasa.

La composición bioquímica de la biomasa del micro alga *Chlorella vulgaris* tiene mucha incidencia en la producción de biodiesel, siendo los lípidos de vital importancia como componente del biodiesel. Además, las condiciones de crecimiento del micro alga influyen en la extracción de lípidos, siendo los parámetros más importantes la intensidad de la luz, los nutrientes, la T°, entre otros.

Por último, queda demostrado que el biodiesel de *Chlorella vulgaris* no causaría ninguna alteración en ninguna de las formas de uso de este biocombustible, debido a que la eficiencia del biodiesel producido tiene un porcentaje alto el cual no hace diferencia entre usar combustibles fósiles o biodiesel de *Chlorella vulgaris* a nivel de rendimiento. Resaltando que el uso de un biocombustible si genera un impacto positivo en el ambiente, disminuyendo la contaminación por emisiones, usando de manera adecuada nuestros recursos naturales, favoreciendo la economía de nuestro país.

VI. RECOMEDACIONES

- Se recomienda utilizar la información plasmada en esta investigación para iniciar con la parte experimental, teniendo como base los resultados obtenidos. Empezando con nuevos objetivos y estableciendo hipótesis basadas en esta investigación.
- Se sugiere a futuros investigadores ahondar, en las condiciones óptimas para el crecimiento del micro alga *Chlorella vulgaris* tomando como referencia los resultados de esta investigación.
- Se sugiere continuar con estudios de investigación para identificar los mejores candidatos como nutrientes que ayudarían a un rápido crecimiento y producción de lípidos.
- Se recomienda evaluar diferentes técnicas en los procesos de producción (Estanques, sistemas abiertos, cerrados, entre otros) evaluando el proceso más viable y rentable sin disminuir la calidad del producto final.

REFERENCIAS

Acosta Escobar, Emanuel. 2018. *Análisis comparativo del rendimiento de un motor M-Power-178-FD utilizando mezclas de biodiésel-diésel fabricado por transesterificación en reactor batch y ultrasonido.* Querétaro : Universidad Autónoma de Querétaro, 2018.

Álvarez Gallegos, Alberto. 2018. *El cultivo de energía renovable.* Mexico : Centro de investigación en Ingeniería y Ciencias aplicadas, 2018.

Antón Fernández , Marlon. 2021. *Caracterización del biodiesel elaborado a partir de microalgas y aceites vegetales.* Piura : UCV, 2021.

Ararat Orozco, Milton Cesar, Sanclemente Reyes, Oscar Eduardo y Vergara Patiño , Leonardo. 2020. *Efecto de la dosificación de CO₂ en la cinética de crecimiento de microalgas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus obliquus*.* s.l. : Revista de investigación agraria y Ambiental, 2020. págs. 89-100. Vol. 12.

Arce Portugal, John Alberto. 2018. *CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE BIODIESEL A PARTIR DE LA.* Perú : Universidad Nacional de San Agustín, 2018.

Arias Peñaranda, Martha, Matínez Roldán, Alfredo y Cañizares Villanueva, Rosa. 2013. *Biodiesel Production from Microalgae: Cultivation Parameters that Affect Lipid Production.* Bogotá : Acta Biológica Colombiana, 2013. Vol. 18. 0120-548X.

Beltrán Rocha, Julio, y otros. 2017. *Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del pH, nutrientes (C, N y P) y enriquecimiento con CO₂.* Chile : Revista de biología marina y oceanografía, 2017. págs. 417-427. Vol. 52. 0718-1957.

Benavente Valdés, Juan Roberto, y otros. 2016. *Strategies to enhance the production of photosynthetic pigments and lipids in chlorophyceae species.* s.l. : Biotechnology Reports, 2016. págs. 117-125. Vol. 10.

Bibi, Riaz, y otros. 2017. *Algal bioethanol production technology: A trend towards sustainable development.* Pakistan : Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. 976-985.

Castillo, Omar S., y otros. 2017. *Producción de biodiésel a partir de microalgas: avances y perspectivas biotecnológicas.* Ciudad de México : Hidrobiológica, 2017. Vol. 27. 0188-8897.

Choi, Yong Keun, Jang, Min Jang y Kan, Eunsung. 2018. *Microalgal Biomass and Lipid Production on Dairy Effluent Using a Novel Microalga, Chlorella sp. Isolated from Dairy Wastewater.* Korea : Biotechnology and Bioprocess Engineering, 2018. Vol. 23. 1226-8372.

Cobos Ruiz, Marianela, Paredes Rodríguez, Jae y Castro Gómez , Juan. 2016. *INDUCCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LÍPIDOS TOTALES EN MICROALGAS SOMETIDAS A ESTRÉS NUTRITIVO.* Bogotá : Acta Biológica Colombiana, 2016. Vol. 21. 0120-548X.

Deshmukh, Suchit, Kumar, Ritunesh y Bala, Kiran. 2019. *Microalgae biodiesel: A review on oil extraction, fatty acid composition, properties and effect on engine performance and emissions.* India : Fuel Processing Technology, 2019. págs. 232-247. Vol. 191.

Dulzaides Iglesias, María Elinor y Molina Gómez, Ana María. 2004. *Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso.* La Habana : ACIMED, 2004. Vol. 12. 1024-9435.

Esteban Nieto, Nicomedes. 2018. *Tipos de Investigación.* s.l. : CONCYTEC, 2018.

Félix Castro, Mónica Bettina. 2017. *Evaluación del potencial en la producción de biodiesel de la microalga Neochloris Oleoabundans transformada con un gen transportador de lípidos.* La Paz : Centro de Investigaciones biológicas del noreste, 2017.

Flores Rosales, Ana Luisa. 2020. *PROPIEDADES Y BENEFICIOS DEL USO DE LAS MICROALGAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BODIESEL.* Perú : Universidad Científica del Sur, 2020.

Franco Pallo, Jessica Tatiana. 2019. *Síntesis de biodiésel a partir de aceite producido por microalgas antárticas.* Ecuador : UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2019.

Gómez Moreno, Alvaro Sebastián y Oscullo Castillo, Edison Darío. 2017. “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR MITSUBISHI 4D31T CON EL USO DE BIODIÉSEL A BASE DE ALGAS, EMPLEANDO MEZCLA B5. Ecuador : Universidad Técnica del Norte, 2017.

González Delgado, Ángel Darío, Perarlta Ruiz, Yeimmy Yolima y Kafarov, Viatcheslav. 2016. *Ajuste experimental y evaluación económica de la extracción HBE de aceite de microalgas para biocombustibles y bioproductos.* Barranquilla : Prospectiva, 2016. Vol. 14. 1692-8261.

Hernández Macedo, Maria Lucila, y otros. 2020. *Environmental Biotechnology: Challenges and perspectives in applying combined technologies to enhance remediation and renewable energy generation.* Perú : Revista Peruana de biología, 2020. Vol. 27. 1727-9933.

Herrera Yañez, Maria. 2017. *DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN DE ALTO DESEMPEÑO DEL PROCESO DE FIJACIÓN DE CO2 PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN FOTOBIORREACTORES TUBULARES A ESCALA PILOTO.* México : Tecnológico de Orizaba, 2017.

Imbanquingo Navarrete, Rommel Paúl, Cevallos González, Andrés Felipe y Mafla Yépez, Carlos Nolasco. 2020. *Disminución de la opacidad en las emisiones de gases contaminantes en motores de encendido por compresión mediante el uso de biodiésel B5 y B10 a base de algas (Chlorella).* Ecuador : Ingeniería y Desarrollo, 2020. Vol. 38. 2145-9371.

Jimenez Escobedo, Manuel y Castillo Calderón, Augusto. 2021. *Microalgal biomass with high potential for the biofuels production.* Perú : Scientia Agropecuaria, 2021. Vol. 12. 2077-9917.

Kumar Sharma, Amit, y otros. 2016. *Exploration of upstream and downstream process for microwave assisted sustainable biodiesel production from microalgae Chlorella vulgaris.* India : Bioresource Technology, 2016. págs. 793-800. Vol. 216.

Lewandowski, I., y otros. 2017. *Primary Production.* s.l. : Springer, Cham, 2017. 978-3-319-68152-8.

Llanes Cedeño, Edilberto Antonio, y otros. 2017. *Producción e impacto del biodiesel: Una revisión.* Ecuador : Innova Research Journal, 2017. págs. 59-76. Vol. 2. 2477-9024.

López González, Paula. 2016. *Diseño de un fotobiorreactor tubular para la producción de Chlorella Vulgaris.* Barcelona : Escola Técnica Superior, 2016.

López Rosales, Alan Rodrigo. 2017. *Potencial de cepas de microalgas aisladas de la costa de yucatán para la producción de biodiesel.* Mérida : Centro de Investigación Científica de Yucatán, 2017.

Lucero Rouzaud, Esteban Alberto. 2018. *Variaciones del contenido de lípidos en microalgas con potencial biotecnológico sometidas a diferentes condiciones de estrés.* La Paz : Universidad Autónoma de Baja California Sur, 2018.

Luco Arenas, Ricardo Pérez, y otros. 2017. *Taxonomía de diseños y muestreo en investigación cualitativa.* 2017.

Malagón Micán, Martha Lucía y Suárez Chaparro, Miryam Yesenia. 2020. *Influencia de la concentración inicial de Chlorella vulgaris y CO₂ en la producción de lípidos.* s.l. : Corporación Universitaria Lasallista, Editorial Lasallista, 2020. Vol. 17. 1794-4449.

Marín, Angie, Hernández, Elybe y Flores, Jesús. 2016. *Metodología para el análisis de datos cualitativos en investigaciones orientadas al aprovechamiento de fuentes renovables de energía.* Venezuela : Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía, 2016. págs. 60-75. Vol. 1. 2542-3088.

Mena Bolaños, Daniela Victoria. 2019. *EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DE LA MICROALGA Chlorella sp. A LA PRESENCIA DE METAL CROMO (VI) EN AGUAS SINTÉTICAS.* Quito : Universidad Politécnica Salesiana, 2019.

Mofijur, y otros. 2019. *Recent Development in the Production of Third Generation Biodiesel from Microalgae.* Japon : Energy Procedia, 2019. 1876-6102.

Moreno, Begoña, y otros. 2018. *Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas.* Santiago : Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral, 2018. ISSN 0719-0107.

Noreña, Ana Lucía, y otros. 2012. *Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa.* Bogotá : Aquichan, 2012. págs. 263-274. Vol. 12. 1657-5997.

Parichehreh, Roya, y otros. 2019. *Optimization of lipid production in Chlorella vulgaris for biodiesel production using flux balance analysis.* India : Biochemical Engineering Journal, 2019. págs. 131-145. Vol. 141.

Pedraza Cuesta, María Camila y Prada Gravita, María Camila. 2018. *EVALUACIÓN DE LA BIOFIJACIÓN DE CO2 Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA A PARTIR DE LAS MICROALGAS BAJO CONDICIONES DE FOTOBIORREACTOR A ESCALA LABORATORIO.* Bogotá : Universidad de América, 2018.

Pérez, María, y otros. 2018. *Comparación de las eficiencias de recuperación de lípidos de las microalgas Chlorella y Scenedesmus obtenidas con diferentes disolventes.* s.l. : Maskana, 2018. Vol. 9.

Rajak, Upendra, Nashine, Prerana y Verna , Tikendra. 2020. *Effect of spirulina microalgae biodiesel enriched with diesel fuel on performance and emission characteristics of CI engine.* India : Fuel, 2020. Vol. 268. 117305.

Ramirez Lizana, Wilmer. 2018. *Eficiencia del biodiesel del aceite de semillas de Ricinus communis (higuerilla) como combustible alternativo, Chiclayo.* Chiclayo : UCV, 2018.

Rendón Castrillón, Leidy Johanna, Ramírez Carmona, Margarita Enid y Vélez Salazar, Yesid. 2013. *Microalgas para la industria alimenticia.* Bolivia : Universidad Pontificia Bolivariana, 2013. 978-958-764-030-4.

Rojas Bravo, Xiomara y Osorio A., Belkis. 2017. *Criterios de Calidad y Rigor en la Metodología Cualitativa.* Caracas : s.n., 2017. pág. 66. 0435 - 026X.

Rokicka, Magdalena, y otros. 2021. *Effects of Ultrasonic and Microwave Pretreatment on Lipid Extraction of Microalgae and Methane Production from the Residual Extracted Biomass.* s.l. : BioEnergy Research, 2021. Vol. 14. 752–760.

Sakarika, Myrsini y Kornaros, Michael. 2019. *Chlorella vulgaris as a green biofuel factory: Comparison between biodiesel, biogas and combustible biomass production.* Grecia : Bioresource Technology, 2019. págs. 237-243. Vol. 273.

Sánchez Carlessi, Hugo, Reyes Romero, Carlos y Mejía Sáenz, Katia. 2018. *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística.* 1. Perú : Universidad Ricardo Palma, 2018. 978-612-47351-4-1.

Sánchez Flores, Fabio Anselmo. 2019. *Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos.* Lima : Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria, 2019. Vol. 13. 2223-2516.

Sathish, T y Singaravelu, Dinesh Kumar. 2020. *Diesel Engine Performance on Chlorella vulgaris Biodiesel.* India : NISCAIR-CSIR, 2020. págs. 843-845. Vol. 79. 0975-1084.

Vallero, Daniel A. 2016. *Biología Ambiental.* s.l. : Routledge, 2016. 978-0-12-375089-1.

Varela Ruiz, Margarita y Vives Varela, Tania. 2016. *Autenticidad y calidad en la investigación educativa cualitativa: multivocalidad.* México : Investigación en educación médica, 2016. págs. 191-198. Vol. 5. 2007-5057.

Xaaldi kalhor, Aadel, y otros. 2016. *Biodiesel production in crude oil contaminated environment using Chlorella vulgaris.* India : Bioresource Technology, 2016. págs. 190-194. Vol. 222.

Yadav, Geetanjali y Sen, Ramkrishna. 2017. *Microalgal green refinery concept for biosequestration of carbon-dioxide vis-à-vis wastewater remediation and bioenergy production: Recent technological advances in climate research.* India : Journal of CO2 Utilization, 2017. págs. 188-206. Vol. 17.

Yáñez Torres , Patricia Ivonne. 2016. CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL BIODIESEL PRODUCIDO A PARTIR DEL CULTIVO MIXTO DE MICROALGAS DURANTE EL TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS Y GRISES. Sangolquí : Universidad de las fuerzas armadas, 2016.