



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Producción de biodiesel utilizando el género *Chlorella*: Revisión sistemática y meta-análisis**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera ambiental

**AUTORAS:**

Damian De la Sota, Megan Ibeté (ORCID: 0000-0001-8489-8548)

Vasquez Quispe, Karen Imelda (ORCID: 0000-0002-1057-2999)

**ASESOR:**

Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto (ORCID: 0000-0002-8683-5054)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

## **Dedicatoria**

A nuestras familias por habernos forjado como las personas que somos en hoy en día, muchos de nuestros logros se lo debemos a ustedes, entre los que se incluye este. Nos formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas nos motivaron constantemente para alcanzar nuestros anhelos.

## **Agradecimiento**

En primera instancia agradezco a mi asesor, persona de gran sabiduría que se ha esforzado en ayudarnos a llegar al punto en el que nos encontramos. Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de transmitirnos sus conocimientos y dedicación que los ha regido, hemos logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de nuestro trabajo de investigación con éxito

## Índice de contenido

Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	viii
Abstract .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA .....	12
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	12
3.2. Variables y operacionalización .....	13
3.3. Población, muestra y muestreo .....	13
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	14
3.5. Procedimiento .....	15
3.5.1. Planteamiento de la pregunta de investigación .....	17
3.5.2. Criterios de inclusión y exclusión .....	17
3.5.3. Selección de las fuentes de información .....	17
3.5.4. Estrategia de búsqueda .....	17
3.5.5. Identificación de documentos relevantes .....	19
3.5.6. Evaluación de la calidad .....	19
3.5.7. Descripción de estudios .....	20
3.6. Método de análisis de datos .....	20
3.7. Aspectos éticos .....	21
IV. RESULTADOS .....	22
V. DISCUSIÓN .....	53
VI. CONCLUSIONES .....	58
VII. RECOMENDACIONES .....	59
REFERENCIAS .....	60
ANEXOS .....	73

## Índice de tablas

Tabla 1. Valoración de instrumentos .....	15
Tabla 2. Estrategia de Búsqueda .....	18
Tabla 3. Características de los estudios seleccionados en la revisión sistemática .....	25
Tabla 4. Características de los estudios.....	30
Tabla 5. Crecimiento de la microalga .....	31
Tabla 6. Productividad de biomasa y contenido de lípidos respecto a la concentración del medio de cultivo. ....	39
Tabla 7. FAME (éster metílico de ácido graso) del género Chlorella.....	46
Tabla 8. Cantidad de biodiesel obtenido por el género Chlorella. ....	50

## Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento de la revisión sistemática .....	16
Figura 2. Diagrama de Venn de la cantidad de artículos encontrados en las bases de datos Web of Science y Scopus .....	19
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de selección de las investigaciones para la meta-análisis. ....	22
Figura 4. Ámbito geográfico de las investigaciones incluidas.....	28
Figura 5. Especies empleadas en las investigaciones incluidas. ....	29
Figura 6. Concentración del medio de cultivo en las investigaciones incluidas. ...	33
Figura 7. pH del medio de cultivo en las investigaciones incluidas. ....	34
Figura 8. Cantidad de microalgas utilizadas en las investigaciones incluidas. ....	35
Figura 9. Temperatura del medio de cultivo en las investigaciones incluidas. ....	36
Figura 10. Intensidad lumínica del medio de cultivo en las investigaciones incluidas. ....	37
Figura 11. Tiempo empleado para el crecimiento de microalgas en las investigaciones incluidas. ....	38
Figura 12. Meta-análisis de la productividad de biomasa respecto a la concentración del medio de cultivo. ....	41
Figura 13. Meta-análisis del contenido de lípidos respecto a la concentración del medio de cultivo.....	42
Figura 14. Productividad de biomasa respecto a la concentración del medio de cultivo. ....	44
Figura 15. Contenido de lípidos respecto a la concentración del cultivo. ....	45

Figura 16. FAME (éster metílico de ácido graso) del género Chlorella en el ensayo 1.....	48
Figura 17. FAME (éster metílico de ácido graso) del género Chlorella en el ensayo 2.....	49
Figura 18. Contenido de biodiesel obtenido en las investigaciones incluidas. ....	52

## Resumen

La presente investigación mediante una revisión sistemática y meta-análisis tuvo como objetivo estudiar la capacidad del género *Chlorella* para la producción de biodiésel. Para ello, se recopiló estudios de las bases de datos de Web of Science y Scopus para el periodo de setiembre de 2011 hasta setiembre de 2021, obteniendo un total de 2036 investigaciones. Los resultados mostraron que solo 18 investigaciones fueron incluidas y sometidas a un meta-análisis en el software Review Manager 5.4.1. Estos estudios indicaron que el aumento de la concentración del medio de cultivo incrementa la productividad de biomasa y el contenido de lípidos. Así mismo, se determinó que los valores máximos en productividad de biomasa y contenido de lípidos fueron alcanzados utilizando el medio de cultivo DWW (Aguas residuales), cuyos valores fueron de 800 mg/L y 51.7%, respectivamente. Finalmente, se concluye que el género *Chlorella* es eficiente en la producción de biodiesel debido a su rápida producción de biomasa, infiriéndose que la concentración del medio de cultivo tiene una relación directamente proporcional con la productividad de biomasa y el contenido de lípidos.

**Palabras claves:** *Chlorella*, biodiesel, revisión sistemática, biomasa, meta-análisis.



## Abstract

The present research through a systematic review and meta-analysis aimed to study the capacity of the genus *Chlorella* for the production of biodiesel. For this purpose, studies were collected from the Web of Science and Scopus databases for the period from September 2011 to September 2021, obtaining a total of 2036 research studies. The results showed that only 18 studies were included and subjected to a meta-analysis in the Review Manager 5.4.1 software. These studies indicated that increasing the concentration of the culture medium increases biomass productivity and lipid content. Likewise, it was determined that the maximum values in biomass productivity and lipid content were reached using the DWW (Wastewater) culture medium, whose values were 800 mg/L and 51.7%, respectively. Finally, it is concluded that the genus *Chlorella* is efficient in the production of biodiesel due to its rapid biomass production, inferring that the concentration of the culture medium has a directly proportional relationship with biomass productivity and lipid content.

**Keywords:** *Chlorella*, biodiesel, systematic review, biomass, meta-analysis.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento del fuego hasta convertir el movimiento de las olas en energía, se demuestra que durante el transcurso del tiempo nuestro sistema energético fue evolucionando, logrando grandes cambios en la vida del hombre. De esta forma, cada transición energética en el tiempo resultó un crecimiento exponencial en el consumo de la energía (Ahmad et al., 2020). El uso de combustibles fósiles, también se ven inmersos en la evolución de la energía, su uso y aprovechamiento ha traído grandes avances tecnológicos, sociales y económicos. Sin embargo, este tipo de combustible provoca un impacto negativo para el medio ambiente, ya que afecta a la atmósfera provocando el cambio climático, en otras palabras, altera la temperatura produciendo daños a los ecosistemas (Albarracín, 2007). Por tal motivo, uno de los desafíos más grandes que enfrentará la humanidad, será satisfacer el aumento de la demanda energética de manera sustentable y segura, pues se considera que para el año 2030 el consumo de la energía se incremente hasta los 18,000 Mtoe (millones de toneladas de equivalente de petróleo) (Amaro et al., 2011). Es por ello, que el hombre está en búsqueda de nuevas fuentes de energía que no repercutan significativamente en el medio ambiente (Fernández, 2003).

En la década de los 70' hubo una crisis energética debido al agotamiento de las reservas fósiles, generando altos precios de los combustibles, por esta razón, se instó a tomar conciencia sobre la importancia del adecuado uso de los recursos naturales como fuentes de energía (Badenas y Aurell, 1999). En la época actual, la red energética se enfoca principalmente en la extracción de combustibles fósiles, pero el exorbitante consumo y el agotamiento de las reservas aumentan la crisis energética (ONU, 2021). Según el diario El Economista (2021), los combustibles fósiles (Carbón, petróleo y gas) fueron el 82% del consumo de energía en el 2019, siendo una décima menos que el valor del 2009. A pesar de ello, las energías renovables, solo representan el 12% de la energía global, no logrando sustituir a los combustibles fósiles.

El Perú no escapa de esta realidad, puesto que depende de los combustibles fósiles en un 72% para el desarrollo de sus actividades, uno de ellos es el petróleo,

que a su vez provoca el incremento de los niveles de contaminación ambiental en el país (Gamio, 2017). En ciudades principales como Lima, la presencia del parque automotor antiguo y abastecido principalmente por diésel está causando el incremento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera contaminando el aire (Ocrosopoma, 2008).

Dentro de las alternativas que a nivel mundial se viene planteando para reducir los niveles de contaminación producto de la quema de combustibles fósiles, están los biocombustibles que son una alternativa sostenible y amigable con el ambiente, porque reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (Ahmad et al., 2020). Por este motivo, muchos países del mundo están implementando dentro de sus políticas, que los combustibles tradicionales sean mezclados con los biocombustibles, con la finalidad de reducir los niveles de emisión de CO<sub>2</sub>. El Perú cuenta con un marco legal en relación a la producción y uso de biocombustibles de manera general, en la cual se ha decretado la mezcla de etanol con gasolina (7.8%) y biodiesel con diésel (5%), intensificando el mercado interno sobre la producción de biocombustibles (Bojórquez, 2008). Por ende, muchos consideran a los biocombustibles como un reemplazo de los combustibles fósiles, que al final serán la fuente de energía con mayor crecimiento a corto plazo (Botella y Zamora, 2017). En la actualidad hay dos biocombustibles que están resaltando en el escenario energético global, uno de ellos es el bioetanol que es obtenido del maíz o cultivos de caña, mediante la destilación y transformación del azúcar (Cordero, 2009). Otro de ellos es el biodiesel que se obtiene de la transformación de aceites y grasas por medio de la transesterificación (Gebremariam y Marchett, 2018). Para la producción de biodiesel existen diversos medios tecnológicos que permitirán la extracción de aceites o grasas de la materia prima (Sánchez y Orrego, 2007). Esta materia prima puede ser sebo de animales, higuera, palma, soja, colza, girasol, microalgas, entre otros (Cortez et al., 2009).

En un contexto nacional, IMARPE (2016) resalta que el Perú tiene diversas especies de microalgas facilitadoras de lípidos naturales que promueven el desarrollo de investigaciones como *Chlorella variabilis* y *Chlorella vulgaris*, que han demostrado ser potenciales candidatos para futuras fuentes de energía. El género *Chlorella* es una de las microalgas más comunes que existe en la naturaleza, a parte tiene la característica de acumular gran cantidad de clorofila dentro de un

microorganismo (Infante et al., 2011). Asimismo, *Chlorella vulgaris* tiene una composición lipídica promedio de 27.8%, lo cual permite que sea idónea para su aprovechamiento como fuente de ácidos grasos para la elaboración de biodiesel (Rodríguez et al., 2015). Por ello, Garzón et al. (2010) realizaron estudios sobre la bioprospección de microalgas para la producción de biodiesel en Ecopetrol Colombia, motivo por el cual incentivó a la búsqueda de combustibles limpios o biocombustibles que sean amigables con el ambiente.

En la necesidad de garantizar los recursos energéticos y promover mejores condiciones de vida a los ciudadanos, la revisión sistemática y meta-análisis sobre la producción de biodiesel utilizando el género *Chlorella*, plantea como problema general: ¿Cuál es la capacidad del género *Chlorella* para la producción de biodiesel? y como problemas específicos: ¿Cuáles son las condiciones de cultivos empleados en el género *Chlorella* para la producción de biodiesel?, ¿Cuál es la productividad de biomasa y contenido de lípidos del género *Chlorella* para la producción de biodiesel? y ¿Cuáles son los ésteres metílicos de ácido graso (FAME) presentes en el biodiesel producido por el género *Chlorella*?

La justificación de la presente investigación se basa en el reto que supone para la humanidad el poder adoptar nuevas fuentes de energía que contribuyan a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, para lo cual se ha realizado una selección minuciosa de información sobre la elaboración de biodiesel a partir de la microalga del género *Chlorella*. En el aspecto ambiental, el uso de estos microorganismos para la obtención del biodiesel ayuda a disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, dado que es una alternativa de combustible limpio en reemplazo a los convencionales, asimismo, ha demostrado tener un gran potencial como materia prima, por la eficiencia fotosintética y el elevado contenido de aceites que producen la fácil obtención del biodiesel. En relación al aspecto económico, el utilizar las microalgas como fuente de materia prima promueve una independencia energética, de igual manera, incrementa la vida útil de los vehículos y se estaría evitando el deterioro del motor. En el aspecto social, se busca generar conocimiento en la población sobre nuevas alternativas viables en la producción de biocombustibles que contribuyan al cuidado del espacio natural para una adecuada calidad de vida.

La presente investigación tiene como objetivo general estudiar la capacidad del género *Chlorella* para la producción de biodiésel y como objetivos específicos describir las condiciones del medio de cultivo empleado en el género *Chlorella* para la producción de biodiesel, analizar la productividad de biomasa y contenido de lípidos del género *Chlorella* para la producción de biodiésel y detallar los ésteres metílicos de ácido graso (FAME) presentes en el biodiesel producido por el género *Chlorella*.

Finalmente, en la investigación de revisión sistemática y meta análisis se aborda como hipótesis: el empleo del género *Chlorella* es eficiente en la elaboración de biodiesel.

## II. MARCO TEÓRICO

**Las microalgas** son especies de varios individuos unicelulares eucariotas y procariotas considerados variables respecto a su tamaño, forma y función ecológica. Estas especies al igual que las plantas, tienen la capacidad para convertir la energía proveniente del sol en fotosíntesis para su crecimiento y desarrollo, debido a que poseen la clorofila y regulan el contenido del dióxido de carbono y oxígeno presentes en el ambiente. Además, estas especies cooperan en el control de lluvias ácidas, efecto invernadero y pérdida de la capa de ozono (Albarracín, 2007).

Las microalgas presentan un tamaño entre 5 - 50  $\mu\text{m}$  y son esenciales para formar materia orgánica (Díaz, 2020). Asimismo, pueden ser clasificadas de distintas maneras. Por su metabolismo pueden ser autótrofos o heterótrofos, los heterótrofos se desarrollan en ausencia de la luz y con fuentes orgánicas de carbono (Huang et al., 2010). En cambio, los de metabolismo autótrofo necesitan  $\text{CO}_2$ , sales y fuente de luz para su desarrollo (Brennan y Owende, 2010). Por su taxonomía, son clasificadas en algas verdes, diatomeas, algas doradas y algas verdes-azules (Khan et al., 2011). Otra clasificación es que en las eucariotas existen nueve divisiones como: *Chlorarachniophyta*, *Glaucophyta*, *Heterokontophyta*, *Rhodophyta*, *Haptophyta*, *Dinophyta*, *Euglenophyta*, *Cryptophyta* y *Chlorophyta*, mientras que, en las procariotas existen solo dos divisiones: *Cyanophyta* y *Prochlorophyta* (Mutanda et al., 2010).

**El género *Chlorella*** pertenece a la clase de microalgas *Chlorophyceae* por ser de color verde debido al dominio de pigmentos de clorofila, se caracteriza principalmente por ser cosmopolitas y frecuentes en lagos alcalinos (Astocondor et al., 2017). Las especies del género *Chlorella* son microalgas esféricas, no presentan movimiento y son unicelulares, además, se encuentran generalmente en agua dulce, a menudo en el suelo y algunas en el mar (Borowitzka, 2018).

La reproducción del género *Chlorella* es asexualmente por mitosis, ya que sus esporas forman cuatro células hijas dentro de la célula madre (Yamamoto et al., 2004). Su crecimiento puede ser por condición autotrófica, porque utiliza el  $\text{CO}_2$  y la luz del sol para transformarlo en energía; por condición mixotrófica, porque la

fotosíntesis desempeña como fuente primaria o por condición heterotrófica, porque solo usa el carbono como fuente de energía, y bajo esas 3 condiciones, las microalgas pueden reunir su biomasa (Madhulika y Wattal, 2014). Este género de microalga ha sido utilizado en diferentes industrias, como la textil, farmacéutica, cosmética y alimenticia (Giraldo et al., 2018). En los últimos años se ha visto que la especie *Chlorella* es una fuente principal para la elaboración de biocombustible, debido a su rapidez en la producción de biomasa y la extracción de grandes cantidades de aceite (Sirakov et al., 2015). Asimismo, tienen la facilidad de crecer en ambientes duros, sin energía solar, pocos nutrientes, cambios de temperatura bruscos, áreas inadecuadas para propósitos agrícolas y hasta pueden usar aguas residuales como medio de cultivo para su crecimiento, la cual reduciría el uso de agua dulce (Borowitzka, 2018).

Mallick et al. (2012) sometieron a *Chlorella vulgaris* a condiciones de escasez de nitrato, fosfato y hierro, logrando una acumulación de lípidos de 55.3% y un total de combustible de 1973,9 mg L<sup>-1</sup>, asimismo, demostraron que el biodiesel de la microalga tuvo un 82% de ácidos grasos saturados, con una densidad de 881 Kg/m<sup>3</sup>, Viscosidad (4.5 mm<sup>2</sup>/s), Índice de acidez (0.6 mg KOH/g), Índice de cetano (54.7), contenido de cenizas (0.01%) y contenido de agua (0.03%) que se encontraba dentro de los límites permitidos por la norma ASTM. De la misma forma, Tang et al. (2011) demostraron que la especie *Chlorella minutissima* al ser privada del nitrógeno aumentaba la biomasa de 560 mg/L a 1240 mg/L, mostrando un gran contenido de lípidos y ácidos grasos. Li et al. (2007) estudiaron al género *Chlorella*, enfocados en aumentar la fermentación en biorreactores de 5 L, 750 L y 11.000 L, en la cual, alcanzaron un contenido de lípidos de 46.1, 48.7 y 44.3% y tasas de producción de biodiesel de 7.02, 6.12 y 6.24 g L<sup>-1</sup> respectivamente. Las propiedades del biodiésel de *Chlorella* cumplieron con la Norma de Estados Unidos para Biodiésel (ASTM 6751).

**La biomasa** es el producto que se obtiene por fotosíntesis de la microalga, capaz de ser convertido en combustible útil para el hombre (Katiyar et al., 2021). De igual forma, Orduz (2016) menciona que la productividad de la biomasa, poseen un elevado contenido de aceites (61% en peso) con pH neutral. Klein et al. (2021) cultivaron a *Chlorella vulgaris* en un medio BG-11 con una concentración de 60

mg/L del medio de cultivo y obtuvieron 198 mg/L-d de productividad de biomasa. Por su parte, Arif et al. (2020) cultivaron a *Chlorella sorokiniana* con una concentración de 100 mg/L del medio de cultivo y obtuvieron 260 mg/L-d de biomasa. Por otro lado, Manzoor et al. (2019) mencionaron que en condiciones foto heterotróficas la productividad de biomasa fue 3 veces mayor, aumentando de 45.33 mg/L-d a 56.69 mg/L-d la producción de biomasa.

**La producción de lípidos** en condiciones normales se encuentra entre el 20 y 35 por ciento de su peso en seco, pero cuando son sometidas a condiciones de estrés, ya sea por la incorporación de otros componentes celulares o por la falta de nutrientes (principalmente nitrógeno), aumenta su fracción lipídica alcanzando valores mayores de 40% (Arias et al., 2013). Entre las condiciones que influyen directamente en la producción de biomasa y lípidos se encuentra la temperatura, la salinidad, la reserva de nutrientes y la magnitud de luz (Martínez et al., 2017).

Mondal et al. (2017) utilizaron el medio de cultivo BG11 en condiciones heterotróficas, y observaron un aumento significativo en el rendimiento de la biomasa y lípidos cuando la concentración del medio de cultivo era mayor, siendo 66,8% el valor máximo de contenido lipídico. De la misma forma, Rajanren e Ismail (2016) lograron un mayor porcentaje de lípidos en el medio basal de Bold (BBM), lograron producir 60.05% de lípidos. Por otro lado, Qiu et al. (2017) afirmaron que, si se emplea mayor concentración del medio de cultivo, el crecimiento de las microalgas será beneficiada. Por su parte, Xue et al. (2018) cultivaron la microalga *Chlorella vulgaris*, logrando un crecimiento en 12 días cuando emplearon la mayor concentración del medio de cultivo (250 mg/L). Similarmente, Moradi et al. (2017) lograron conseguir un crecimiento alto en 9 días. En cambio, Saeedi y Pirouzfard (2018) solo consiguieron un crecimiento de las microalgas en 5 días, debido a que utilizaron menor concentración del medio de cultivo.

Pareja et al. (2008) trabajaron con las microalgas *Chlorella sp*, *nkistrodesmus sp*, *Ankistrodesmus nannoselene*, *Scenedesmus quadricauda* y *Scenedesmus sp*, estas fueron cultivadas en un periodo de seis días en un medio BG11 sin nitrógeno. Se observó que la especie *Ankistrodesmus nannoselene* tuvo una producción de 316 mg/L de biomasa seca, *Scenedesmus sp*. de 243,3 mg/L y *Ankistrodesmus sp*.



de 73 mg/L bajo las mismas condiciones. Sin embargo, en un medio BG11 con nitrógeno, la especie *Scenedesmus quadricauda* y *Chlorella sp* solo lograron producir 159,1 y 221,1 mg/L de biomasa seca, respectivamente. En consecuencia, el mayor contenido de lípidos fue obtenido por las microalgas privadas de nitrógeno, siendo el mayor *Scenedesmus sp*, con 86% de contenido lipídico. De la misma manera, Romeral et al. (2017) emplearon a *leurosigma sp*, *Amphora sp.* y *Amphiprora sp*, estas microalgas fueron cultivadas en un medio BG11 sin nitrógeno con 190 mg/L de concentración del medio de cultivo, el mayor contenido de lípidos fue producido por *Amphiprora sp*, con 41,48%.

En la **extracción de los lípidos**, se emplea una serie de procesos con el propósito de separar gran cantidad de aceite. Primero se realiza la producción de microalgas a través de un medio de cultivo que contiene todos los nutrientes y presenta otros factores ambientales como la luz, el pH y temperatura (García et al., 2017). La concentración de nutrientes se considera un factor fundamental en el cultivo de microalgas y tiene una influencia directa en la cinética su crecimiento, se relaciona estrechamente con la eliminación de nutrientes y la acumulación de lípidos (Xin et al., 2010). Seguidamente, se realiza la recolección de la biomasa, en esta etapa se pueden aplicar diferentes técnicas como la centrifugación, filtración o sedimentación. Luego se procede a extraer el aceite, este proceso se puede realizar con algas deshidratadas mediante prensas, para ello se puede emplear el método de extracción enzimática, el método de extracción con fluidos supercríticos o el método de extracción con ultrasonidos (García et al., 2017). Finalmente se realiza la transesterificación, es decir, la conversión a biodiesel, este proceso consiste en agregar alcohol a los aceites extraídos en presencia de un catalizador, el más utilizado es el Hidróxido de sodio (NaOH), para formar metil ésteres y glicerina (Monthieu, 2010). La recuperación de los lípidos se realiza con solventes como el cloroformo, metanol y hexano (Klein et al., 2021). De esta forma, Mathimani et al. (2021) utilizaron el método de tracción para asegurar la extracción completa de los lípidos con el sistema solvente binario basado en Soxhlet en Cloroformo: metanol (2: 1) mezclado con la biomasa. De la misma, manera Romeral et al. (2017) utilizaron 5 ml de cloroformo y metanol (1: 1 v / v) a 100 mg de polvo de microalgas agitándolo con vórtex.

**El biocombustible** es una fuente de energía que se produce a partir de aceites o azúcares que provienen de plantas como el girasol, caña de azúcar, maíz o soja (Ramos et al., 2016). La biomasa es una buena alternativa energética, ya que a partir de ella se puede conseguir diversos productos, acondicionándose a varios campos que actualmente utilizan combustibles tradicionales. (Fernández, 2003).

Existen tres tipos de biocombustibles, los de primera generación están establecidos por lignocelulósicos derivados de los residuos de las industrias y del sector agrícola, estos contienen aceites, azúcares y almidón y son obtenidos de la palma de soya, coco o semillas de girasol (Tancara, 1993). Los materiales lignocelulósicos son ricos en polímeros de hemicelulosa y celulosa, aproximadamente entre 75 y 80%. Se puede envilecer por transformaciones químicas, físicas y biológicas para la obtención de azúcares y finalmente ser convertida en biocombustible (Korinchuk y Snezhkin, 2018). Por otro lado, la producción de segunda generación es el etanol, metanol y gas porque tienen mayor complejidad, cabe resaltar que la materia prima utilizada es el aserrín, hojas, trigo, caña de azúcar y bagazo (Gandon et al., 2017). Por último, los de tercera generación son obtenidos por los cultivos energéticos de microalgas. La biomasa es elaborada por microorganismos fotosintéticos, ya sea autótrofos o heterótrofos y además de controlar las emisiones de CO<sub>2</sub>, utilizan de la mejor manera el recurso hídrico (Agua y Marinho, 2015).

**El Biodiésel** pertenece a una cadena de compuestos orgánicos de éster monoalquílico de ácidos grasos, como el aceite vegetal no comestible, aceite vegetal puro, sebo, grasa animal y aceite de cocina usado (Gebremariam y Marchetti, 2018). Se puede extraer de diferentes materias primas como la palma, girasol, colza, soja, higuera e incluso de las microalgas (Cortés et al., 2009). Para que los aceites se conviertan en biodiésel son sometidos a una reacción de transesterificación, es decir, mezclar el aceite con un alcohol, luego es catalizada por álcalis utilizando enzimas lipolíticas (Prola, 2013). El resultado es un combustible de color ámbar que presenta una consistencia gelatinosa, la cual se decanta para que sea retirado por bombeo, sifonado o drenado (Oliveira et al., 2012). En cuanto a la generación de biodiésel por microalgas, se consideran

criterios importantes como el rendimiento de ácidos grasos, rendimiento de lípidos, facilidad de extracción de lípidos y procesamiento de biomasa para la obtención de aceites (Kopetz, 1994). Sin embargo, no puede hablarse de una especie específica de microalga que asegure una alta producción de biodiesel (Bravo et al., 2012).

Martínez et al. (2017) cultivaron la microalga *Nannochloropsis oculata* y obtuvieron una productividad de biomasa de  $0.040 \pm 0.0005$  g/L-d con una intensidad de luz de  $650 \mu\text{mol E/m}^2/\text{s}$ . De igual forma, en el trabajo de Limousy et al. (2015) las cepas marinas lograron buenos resultados, uno de ellos es el *Nannochloropsis sp* con una producción de lípidos de 117 mg/L-d y productividad de biomasa de 0.30 g/L-d. Por su parte, Bolori (2012) estudió la microalga *Chlorella vulgaris*, obteniendo una tasa de secuestro en dióxido de carbono de  $17,8 \text{ mg L}^{-1} \text{ min}^{-1}$ , un rendimiento de biomasa de  $20,1 \text{ mg/L}^{-1}\text{h}^{-1}$ , un contenido de lípidos de 27.0% y una producción de lípidos de  $5.3 \text{ mg/L}^{-1}\text{h}^{-1}$ . En cuanto a la productividad de biodiesel, logró conseguir 99,8% de ácidos grasos, cumpliendo con la Norma ASTM 6751 de los Estados Unidos y con la Norma EN14214 de Europa. De igual forma, Arguelles y Martinez (2021) cultivaron la microalga *Chlorella sp* a una temperatura de  $23^\circ\text{C}$  y  $120 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$  de intensidad lumínica, logrando una productividad de lípidos de  $151,14 \text{ mg/L}^{-1}\text{día}^{-1}$  y acumulación de biodiesel de 28,77%. De la misma manera, Bharte y Desal (2019) cultivaron a *Chlorella minutissima* y *Chlorella pyrenoidosa* en un medio BG11, con una temperatura de  $25^\circ\text{C}$  y una intensidad lumínica de  $185 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ , y lograron conseguir una productividad de lípidos de 24% para *Chlorella minutissima* y de 23% para *Chlorella pyrenoidosa*.

Shalaby et al. (2010) utilizaron dos métodos diferentes para la extracción de lípidos de la microalga *Dictyochloropsis splendida*, el sistema de extracción con el disolvente hexano/éter (1:1, v/v), produjo 2.3 – 3.5 % del peso seco de lípidos, siendo un valor bajo en comparación al sistema de extracción con el disolvente cloroformo/metano (2:1; v/v), que resultó ser más eficaz con un valor de 2.5 – 12.5 % del peso seco de lípidos, y lograron conseguir 12.5 % de lípidos y 8.75% de biodiesel.

**El éster metílico de ácido graso (FAME)** es el biocombustible elaborado por la transesterificación de las microalgas y las moléculas de estos aceites son los

ácidos grasos (Katiyar et al., 2021). De este modo, Mandal y Chaurasia (2018) emplearon la especie *Chlorella vulgaris*, y obtuvieron 75 y 100% de contenido de ácidos grasos totales. Asimismo, Qiu et al. (2017) lograron obtener 98% de ácidos grasos y mencionaron que el biodiésel predominaba con componentes de ácidos grasos insaturados, debido a su adaptación a baja temperatura y baja intensidad lumínica. Por otro lado, Pandey et al. (2019) utilizaron la microalga *Chlorella vulgaris* y el total de ácidos grasos obtenido fue de 177.3% con una longitud de cadena de carbono de C16 y C18. Del mismo modo, Cui et al. (2017) obtuvieron la mayor parte del carbono longitudinal con la cadena de carbono (C16 y C18), logrando conseguir un total de 22.8 y 20.2% de ácidos grasos, respectivamente.

**La revisión sistemática** representa el más alto nivel dentro de la jerarquía de la evidencia. Se caracteriza por describir el proceso de elaboración al momento de recolectar la información. Asimismo, es una herramienta que permite obtener información clara y estructurada a partir de una pregunta específica, con lo cual se efectúa una indagación en las bases de datos, obteniendo toda la información necesaria situada a responder la pregunta, una vez conseguida la información se opta por elegir los artículos más relevantes y a partir de ello se obtienen los datos, con la finalidad de realizar análisis crítico y estadístico (Moreno et al., 2018).

**Meta-análisis**, es un instrumento que implica la simplificación cuantitativa de la información incluida por la pregunta planteada, esta respuesta se apoya en las publicaciones de estudios ya realizadas. El meta-análisis tiene características resaltantes como la objetividad, precisión y replicabilidad, permitiendo evaluar la heterogeneidad contemplada en el campo de estudio, así como también poder formular nuevas hipótesis de acuerdo a las variables que se puedan haber omitido (Botella y Zamora, 2017). Para realizar el meta-análisis correctamente, primero se formula la problemática, con la cual se procederá a la ubicación de la información, cuando se llegue a la fase de codificación, se caracterizan los estudios recopilados y se finaliza con un análisis estadístico (Miranda, 2019).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo de investigación sobre la producción de biodiesel utilizando el género *Chlorella* fue de un enfoque cuantitativo y de tipo aplicada. Según Vega et al. (2014), un enfoque cuantitativo se centra en las medidas numéricas, iniciando con la recolección de los datos para responder a las preguntas planteadas y posterior a ello realizar los análisis estadísticos. Por eso, se dice que este enfoque es deductivo e implica la relación entre las variables y que los fenómenos estudiados se puedan medir para posteriormente ser analizados a través de métodos estadístico. Asimismo, es de tipo aplicada, porque busca el empleo de los conocimientos obtenidos con los resultados de la investigación. Fernández (2016) indica que es para tener un producto de forma rigurosa y organizada conociendo la realidad del aspecto sistemático. De igual manera, Lozada (2014) enfatiza que se pretende una originalidad técnica, industrial, artesanal y científica, asimismo, se consideren estudios que exploten teorías para la solución y control de inconvenientes prácticos.

El diseño de la investigación fue no experimental de tipo documental. Según Agudelo y Aigner (2008) indican que un estudio no experimental es una investigación empírica y sistemática donde no se manipula deliberadamente las variables, se realizan sin intervenciones observando tal cual está en el contexto actual. Primero se observan los fenómenos para después analizarlos, no siendo necesario algún laboratorio para que sea controlado o analizado. Asimismo, es de tipo documental porque es una revisión sistemática. Según Alfonso (1994), es un procedimiento de indagación, recolección, organización, análisis e interpretación de información o datos de otros documentos, en relación a un determinado tema. La investigación fue de nivel descriptivo, porque se eligieron variables que son medidas independientemente con la finalidad de describirlas. Sousa y Costa (2007) enfatizan que este nivel de investigación es de proceso preliminar. Además, mencionan que, si el estudio forma parte de un sistema engorroso y extenso, esta investigación permitirá ordenarlo, acortarlo, clasificarlo y categorizarlo, es decir, se realizará una descripción de forma crítica y con análisis a profundidad.

### 3.2. Variables y operacionalización

En la presente investigación de revisión sistemática y meta-análisis se trabajó con variables tanto independiente como dependiente, las cuales se presentan en la matriz de operacionalización de variables, mostrada en el Anexo 1.

- **Variable independiente:** Género *Chlorella*

**Dimensiones:**

- ✓ Especie
- ✓ Medio de cultivo

- **Variable dependiente:** Producción de biodiesel

**Dimensiones:**

- ✓ Biomasa
- ✓ Lípido
- ✓ Características del Biodiesel

### 3.3. Población, muestra y muestreo

Según Otzen y Manterola (2017), la población es un grupo de componentes que participan de acuerdo a las variables del estudio o investigación con características semejantes o forman parte de un espacio común al ser analizado, siendo un referente para la selección de la muestra y conocer datos específicos. El presente trabajo de investigación tuvo como población a 2036 investigaciones, las cuales contienen información sobre la producción de biodiesel utilizando el género *Chlorella*.

De acuerdo con Arias et al. (2016), la muestra es un subgrupo de la población, la cual se selecciona con el propósito de obtener información y conseguir conclusiones de toda la población. La presente investigación tuvo una muestra de 18 estudios, los cuales cumplieron con todos los criterios impuestos por el presente trabajo de investigación.

Sousa y Costa (2007) indican que la unidad de análisis es el objeto o persona que va ser medida. Por ello, se tuvo como unidad de análisis, los estudios o

investigaciones que presentaban información respecto a la producción de biodiesel utilizando el género *Chlorella*.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica que se empleó en esta investigación fue la revisión sistemática, debido a que permitió resumir, sintetizar y analizar las evidencias para responder a la pregunta inicial planteada (Arias et al., 2013). Posterior a ello, se realizó el meta-análisis, que mediante técnicas estadísticas se pudo estudiar de forma cuantitativa los diversos estudios recopilados.

Para la selección de información se elaboraron fichas de registro que sirvieron como instrumentos, y estas se muestran en el Anexo 2.

- **Ficha 1:** Características de los estudios seleccionados en la revisión sistemática
- **Ficha 2:** Cantidad de biodiesel obtenido por el género *Chlorella*
- **Ficha 3:** Crecimiento de la microalga
- **Ficha 4:** FAME (éster metílico de ácido graso) del género *Chlorella*
- **Ficha 5:** Productividad de biomasa y contenido de lípidos respecto a la concentración del medio de cultivo

La validez y confiabilidad del presente estudio fueron determinadas por tres expertos en la línea de investigación. Ruiz et al. (2016) estiman la validez como la capacidad de una prueba o test de medición que sea de tal manera percibida, producida y adaptada, permitiendo medir correctamente lo que se quiere analizar. Por otro lado, la validación de instrumentos se dio por juicio de expertos. Lozada (2014) indica que los expertos son personas que se especializan en experiencia profesional, investigativa o académica vinculada al tema de investigación, lo cual les permitiría apreciar el contenido y cada uno de los ítems incluidos en la herramienta.

La Tabla 1 presenta la valoración que designaron los expertos hacia los instrumentos del presente estudio.

**Tabla 1.** Valoración de instrumentos

<b>Experto</b>	<b>Especialista</b>	<b>CIP</b>	<b>Valoración</b>
Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto	Tecnología mineral y ambiental	130267	90%
Dr. Acosta Suasnabar, Eusterio Horacio	Ingeniería química y ambiental	25450	90%
Mg. Sc. Freddy Pillpa Aliaga	Ingeniería agrónoma	196897	95%
<b>Promedio</b>			<b>91.7%</b>

A partir de la Tabla 1, se identificó que el promedio obteniendo en la valoración de los instrumentos fue de 91.7%.

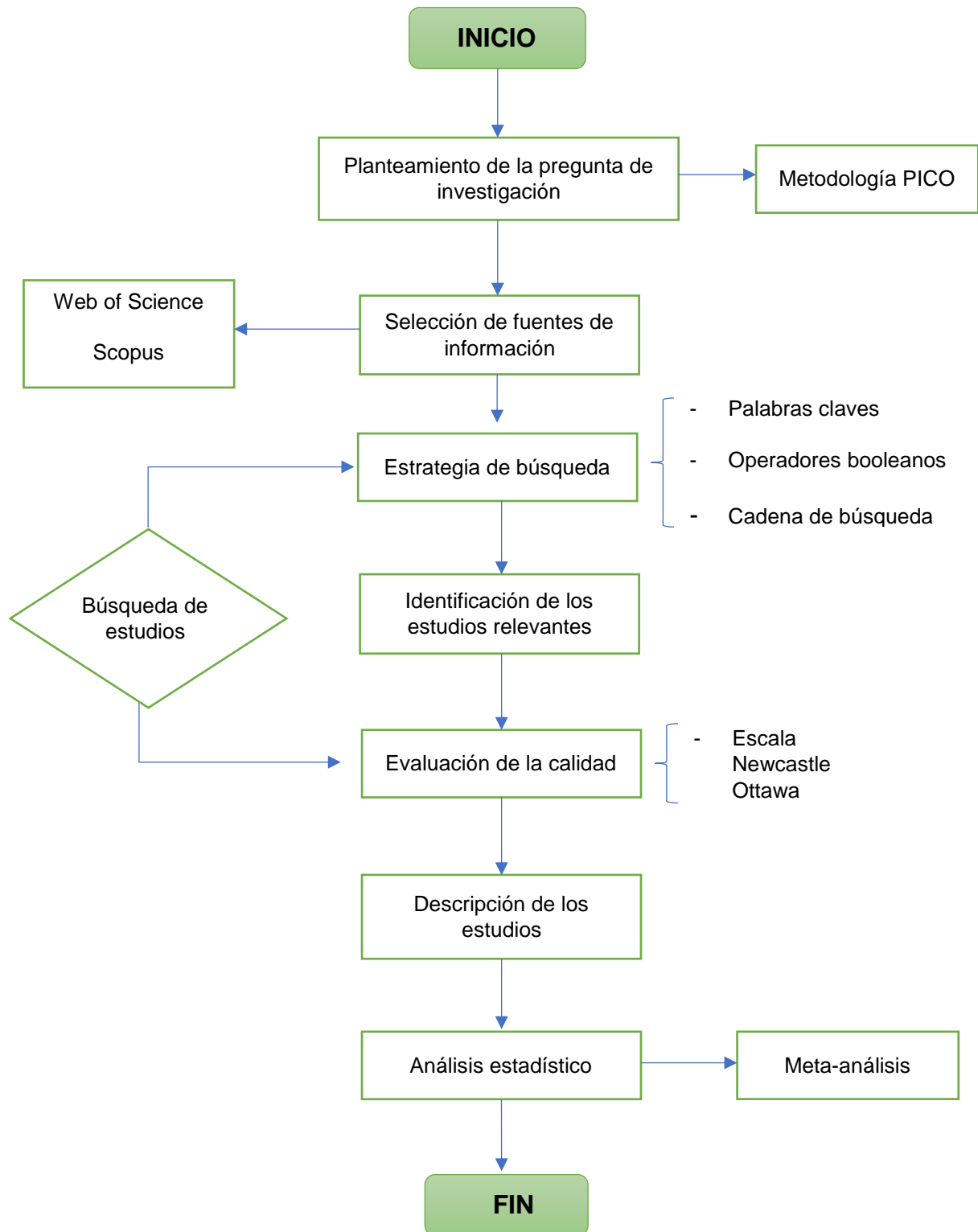
Según Bojórquez et al. (2013), la confiabilidad hace referencia a la consistencia de un instrumento de estudio y es la posibilidad de aceptación o éxito de un sistema conjuntamente con los componentes del mismo. Asimismo, Rodríguez y Herrera (2010) indican que la confiabilidad es la carencia de errores de medición del instrumento de recolección de datos y para medir un atributo consistente del instrumento la confiabilidad puede ser evaluada asegurándose de la capacidad del instrumento.

### **3.5. Procedimiento**

En la presente investigación, se utilizó la metodología de PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews) para la selección de artículos que tengan relación con el tema de estudio. Dicha metodología colaboró a mejorar la transparencia y calidad de los trabajos de revisión sistemática.

En la Figura 1 se detalla el procedimiento de la revisión sistemática, mediante un diagrama de flujo.





**Figura 1.** Diagrama de flujo del procedimiento de la revisión sistemática

### **3.5.1. Planteamiento de la pregunta de investigación**

Para elaborar la pregunta de la investigación se usó la metodología PICO.

P: Producción de biodiesel

I: Aplicación del género *Chlorella*

C: Sin aplicación del género *Chlorella*

O: Biodiesel

¿Cuál es la capacidad del género *Chlorella* para la producción de biodiésel?

### **3.5.2. Criterios de inclusión y exclusión**

En el presente trabajo de revisión sistemática se consideró ciertos criterios de selección. Las investigaciones incluidas fueron artículos que trabajaron con el género *Chlorella* para la producción de biodiesel.

Los criterios de inclusión, consideraron artículos que contenían estudios sobre la aplicación de diferentes especies de *Chlorella* para producir biodiesel, asimismo, los distintos medios de cultivo que estuvieron sometidos las microalgas para lograr la producción de biomasa, lípidos y el contenido de los ácidos grasos (FAME). Con respecto a la fecha de publicación de las investigaciones, se proyectó que estas no superaran los 10 años de antigüedad, en el periodo de setiembre de 2011 hasta setiembre de 2021.

### **3.5.3. Selección de las fuentes de información**

En la presente investigación se seleccionaron artículos científicos, y la búsqueda se realizó en las bases de datos Web of Science y Scopus, siendo estas las plataformas más visitadas por su alto índice de confiabilidad.

### **3.5.4. Estrategia de búsqueda**

Con la intención de realizar una mejor elección de los artículos en las bases de datos Web of Science y Scopus, se tomó en cuenta las palabras claves de acuerdo con los elementos de la estrategia PICO, usando los operadores

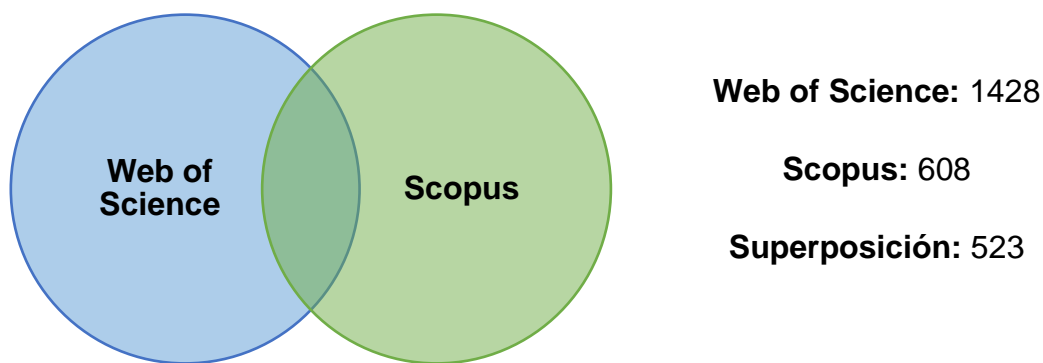
booleanos “AND” y “OR” para poder encontrar estudios relacionados con el problema planteado. Asimismo en las bases de datos Web of Science y Scopus se excluyeron las áreas temáticas no pertenecientes al tema de investigación como: Zoología, ciencias veterinarias, espectroscopía, física aplicada, ciencias nucleares Tecnología, microscopía, ingeniería metalúrgica, matemáticas, herencia genética, educación, disciplinas científicas, medicina, anatomía, acústica, toxicología, radiología, medicina nuclear, Imágenes médicas, ciencia de polímeros, farmacología, farmacia, nutrición dietética, nanociencia, nanotecnología, medicina, ciencia de materiales, ingeniería civil, aplicaciones interdisciplinarias, mecánica y tecnología de la ciencia de los alimentos.

En la Tabla 2 se muestra la cantidad de artículos encontrados en las bases de datos Web of Science y Scopus.

**Tabla 2. Estrategia de Búsqueda**

Base de datos	Cadena de búsqueda	Cantidad de artículos
Web of Science	(microalgae OR micro-algae) AND chlorella AND lipids AND (production OR elaboration) AND (bio-diesel OR biodiesel OR diesel)	1428
Scopus		608

Según la estrategia de búsqueda utilizada en las bases de datos (Tabla 2), se encontraron un total de 2036 documentos. En la base de datos Web of Science fueron ubicados 1428 investigaciones que cumplían con los criterios de inclusión, mientras que en la base de datos Scopus fueron encontrados 608 investigaciones; de los cuales, un total de 523 investigaciones se encontraron en ambas bases de datos, tal como se aprecia en la Figura 2.



**Figura 2.** Diagrama de Venn de la cantidad de artículos encontrados en las bases de datos Web of Science y Scopus

### **3.5.5. Identificación de documentos relevantes**

La identificación de los artículos se realizó de acuerdo a los resultados de las investigaciones, quienes se distinguieron por las palabras claves en sus títulos, resúmenes o abstract. Posteriormente, se verificó la confiabilidad de los estudios seleccionados a través de una revisión. Los documentos relevantes en el cumplimiento de los objetivos fueron descargados, y solo fueron incluidos aquellos que tenían datos importantes para el meta-análisis.

### **3.5.6. Evaluación de la calidad**

La evaluación de la calidad está dirigida a revelar las principales fuentes de sesgo en las investigaciones, esta evaluación se llevó a cabo con la verificación de Newcastle - Ottawa, la cual se analizó de acuerdo a 3 categorías: (Selección, comparabilidad y resultado). La primera categoría identificó que la muestra sea representativa a la población de interés, en la segunda categoría la lista de verificación, analizó la comparabilidad de la cohorte de expuestos y no expuestos. Por último, en la categoría 3, se examinó la cuantificación del resultado y si este se llevó de manera apropiada para los estudios relevantes.

### **3.5.7. Descripción de estudios**

De los artículos seleccionados, se recopiló información sobre la especie empleada por los autores, conjuntamente con el medio de cultivo que emplean, la cantidad de biomasa que producen, la acumulación de lípidos que presentan y los ésteres metílicos de ácido graso (FAME) presentes en el biodiesel. La información obtenida se recopiló en las fichas de registro (Anexo 2).

### **3.6. Método de análisis de datos**

En la presente investigación se empleó el programa Review Manager 5.4.1 para el análisis de los datos, dicho programa fue elaborado por la Colaboración Cochrane, con el propósito de guiar y aportar en las revisiones sistemáticas y metaanálisis. En cuanto a la heterogeneidad que presentan las investigaciones se evaluó a través de las pruebas estadísticas de  $\text{Chi}^2$  y  $I^2$  que están incluidas en los diagramas de árboles de las revisiones Cochrane, para así valorar la superposición de los intervalos de confianza.

El estadístico  $\text{Chi}^2$  determina si las diferencias que son visualizadas en los resultados son compatibles con el azar y el valor de “p” determinará la heterogeneidad:

- $p > 0.05$  = no hay heterogeneidad
- $p < 0.05$  = heterogeneidad

El estadístico  $I^2$  describe el porcentaje de la variabilidad en las estimaciones del efecto que se debe a la heterogeneidad en lugar del error de muestreo. Para mayor comprensión se establece los siguientes rangos:

- 0% al 40%: puede no ser importante
- 30% al 60%: puede representar heterogeneidad moderada
- 50% a 90%: puede representar heterogeneidad significativa
- 75% al 100%: heterogeneidad considerable

El metaanálisis fue realizado utilizando datos dicotómicos de efecto fijos (fixed effects), ya que cada estudio estima la misma cantidad, este método se encuentra

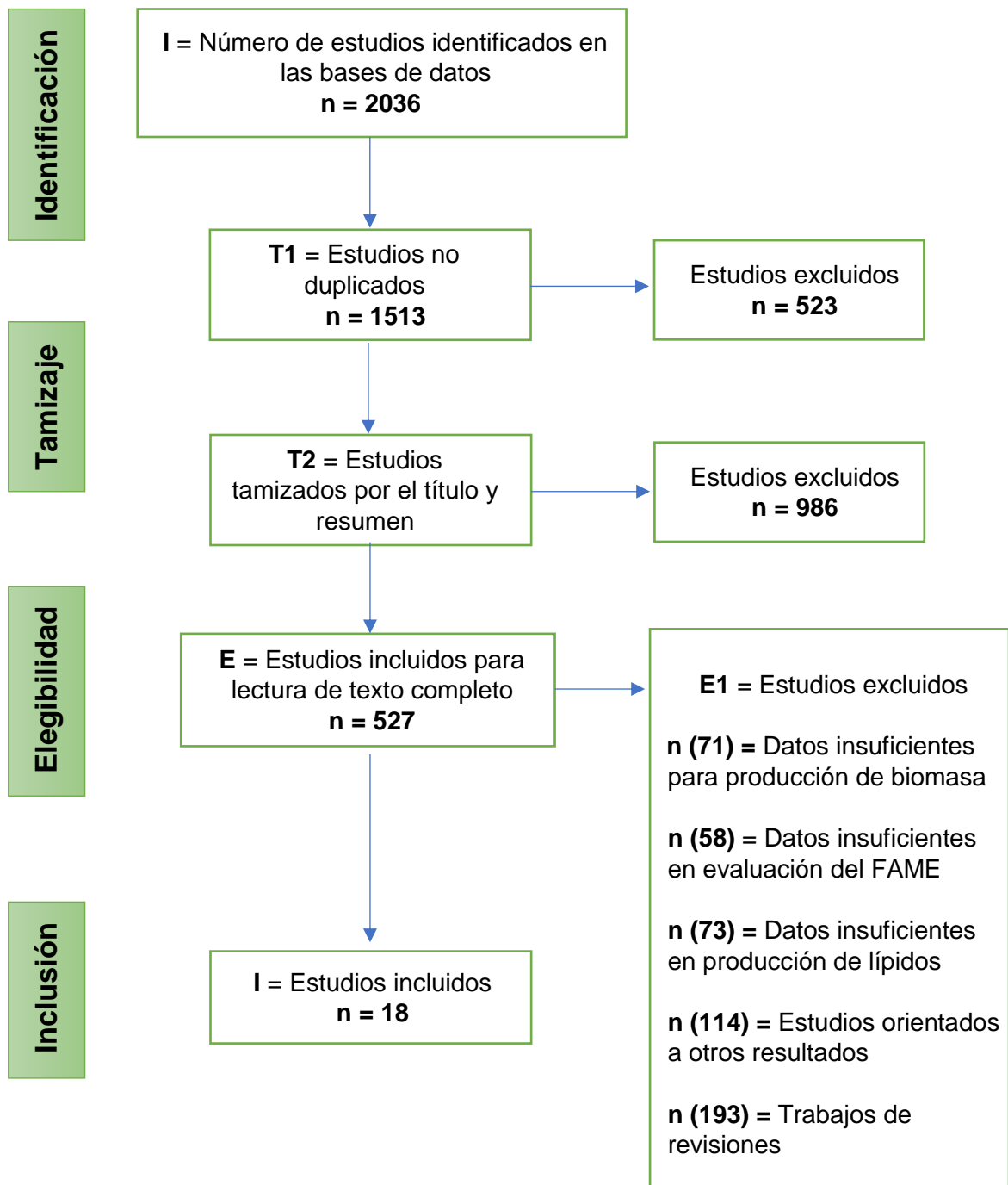
establecido por defecto en el programa RevMan 5.2.1. De la misma manera, se presentó una estimación con un intervalo de confianza de 95%.

### **3.7. Aspectos éticos**

La investigación se desarrolló respetando el código de ética. La propiedad intelectual de todas las investigaciones cumplió con los derechos de autor correspondiente, el reglamento de investigación, la línea de investigación, la guía de productos de investigación 2020 de la Universidad Cesar Vallejo. También se verificó la originalidad de la investigación con el software Turnitin y el estilo de referencias utilizando ISO 690.

#### IV. RESULTADOS

En la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo del proceso de selección de las investigaciones para meta-análisis.



*Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de selección de las investigaciones para la meta-análisis.*

En la Figura 3 se describió de manera detallada el proceso para la búsqueda y la exclusión de las investigaciones, indicando la cantidad de estudios excluidos en cada etapa, asimismo, se precisó la cantidad de estudios que fueron incluidos por cumplir los criterios de calidad, obteniendo finalmente 18 investigaciones que cumplieron con todos los criterios mencionados con anterioridad.

A continuación, se detalla las etapas para la obtención de los resultados de las investigaciones incluidas.

**4.1. Identificación:** Se identificó los estudios relevantes en dos de las bases de datos más reconocidas, tal como son Web of Science y Scopus, obteniendo un total de 2036 investigaciones.

#### **4.2. Tamizaje**

- **T1:** En el primer tamizaje se excluyeron los estudios duplicados, es decir, las que se repetían en alguna de las bases de datos empleadas. Se eliminaron 523 investigaciones y los resultados del primer tamizaje fueron 1513 estudios.
- **T2:** En el segundo tamizaje se evaluó el título y el resumen de las 1513 investigaciones incluidas, y de acuerdo con los criterios de la estrategia PICO, 986 investigaciones no cumplieron con los criterios de inclusión de texto completo y se aceptaron 527 documentos.

**4.3. Elegibilidad:** En esta etapa se encuentran las 527 investigaciones que cumplieron con lo establecido en las anteriores etapas. Fueron revisadas a texto completo, aplicando los criterios de inclusión de acuerdo con la escala de Newcastle-Ottawa modificada.

- **E1:** Corresponde a las 494 investigaciones que no cumplieron con la inclusión, debido a que presentaban resultados insuficientes para el análisis correspondiente, debido a que presentaban datos insuficientes para la producción de biomasa (71), datos insuficientes para la evaluación del FAME (58), datos insuficientes en la producción de lípidos



(73), estudios orientados a otros resultados (114) y trabajos de revisiones (193).

**4.4. Inclusión:** Se incluyeron 18 investigaciones para el meta-análisis, las cuales cumplieron con los criterios de inclusión.

En la Tabla 3 se presenta las características de los estudios seleccionados para la revisión sistemática.

**Tabla 3.** Características de los estudios seleccionados en la revisión sistemática

N°	Especie	Resultados	Observaciones	Ámbito geográfico	Referencia (Autor/Año)
1	<i>Chlorella minutissima</i>	Demostraron que los cultivos de poli microalgas son más eficientes que los cultivos de mono microalgas en la remediación de DWW y para la producción de materia prima de biodiesel.	Se menciona al FAME y la norma ASTM D6751	India	Chandra et al. (2021)
2	<i>Chlorella vulgaris</i>	El aumento del medio de cultivo BG11 provocó un crecimiento de microalgas y concentración de lípidos. La mayor acumulación de lípidos se observó en condiciones de limitación de nitrógeno y foto heterotróficas.	Se menciona al FAME y la norma ASTM D6751	Turquía	Tekin et al. (2021)
3	<i>Chlorella minutissima</i>	Se identificó que, aumentando aguas residuales con una dosis óptima de hidrolizado (un desecho rico en nutrientes de bajo costo), la productividad de la biomasa y lípidos mejoró en un 42,9% y 33,1%, respectivamente, junto con 79% de reducción de DQO.	Se menciona al FAME	India	Dineshkumar et al. (2020)
4	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Identificaron que la adición de almidón acidificado a las aguas residuales mejora la calidad del biodiesel de algas con mayor saturación. Además, el 62% del carbono orgánico total, el 99% de amonio y el 95% de ortofosfato en aguas residuales mixtas fueron eliminados satisfactoriamente por microalgas.	Se menciona al FAME	China	Tan et al. (2020)
5	<i>Chlorella vulgaris</i>	Los resultados mostraron que las microalgas cultivadas en medios con fuentes de nitrógeno, aumenta la productividad de biomasa y lípidos. La producción de biodiésel en este estudio osciló entre 8,5 y 11,2 ml.	Se menciona al FAME	China	Zhu et al. (2019)
6	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Los resultados mostraron la concentración máxima de biomasa de $1,57 \pm 0,12$ g/L, cuando <i>Chlorella pyrenoidosa</i> fue cultivada en aguas residuales y lograron conseguir una eficiencia de remoción en 20% de aguas residuales de encurtidos.	Se menciona al FAME y la norma ASTM D6751	China	Wan et al. (2019)
7	<i>Chlorella sorokiniana</i>	La microalga fue cultivada en el medio BG11, obteniendo una productividad lipídica de 19,66 g/L. Además, las microalgas con estrés por salinidad pudieron producir biodiesel con un punto de enturbiamiento más adecuado, debido a una disminución de los ácidos grasos saturados.	Se menciona al FAME	China	Zhang et al. (2018)

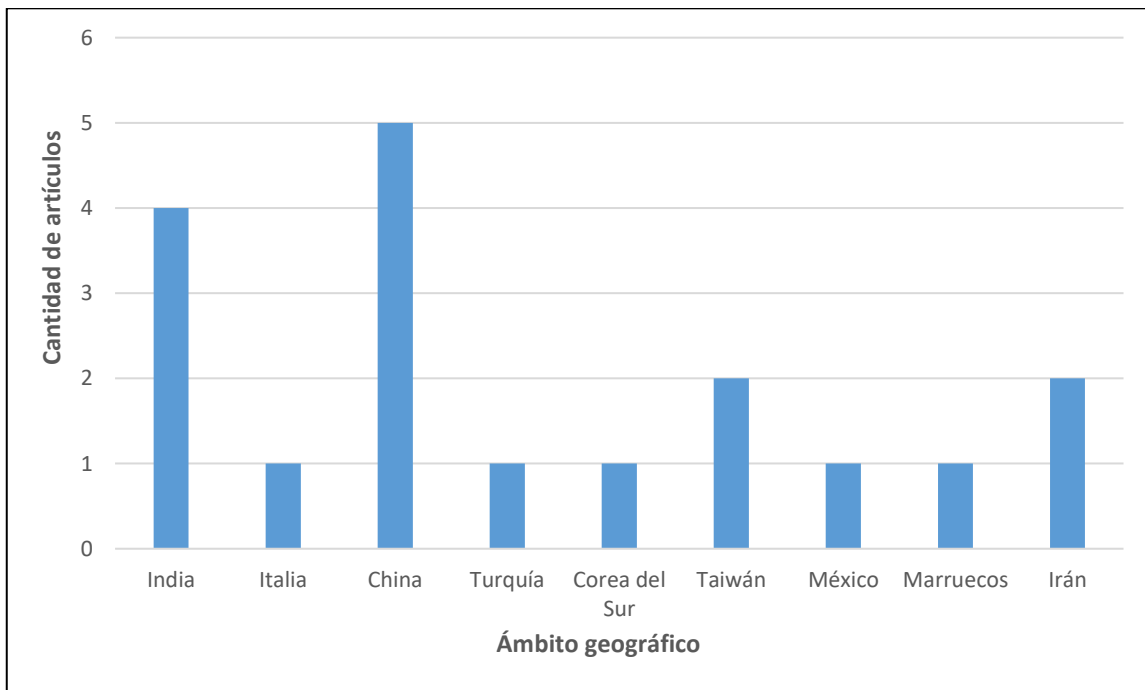
8	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	El medio de cultivo empleado (BG11) impulsó sustancialmente el crecimiento de las células de microalgas (4,36 g/L), en comparación con el resto de los medios, también demostraron que el contenido de lípidos mejoró en un 43,2%.	Se menciona al FAME	India	Jain et al. (2017)
9	<i>Chlorella sorokiniana</i>	Demostraron que la limitación del nitrógeno, basado en la adición de hormonas, es una estrategia de cultivo para mejorar el potencial de producción de lípidos de <i>Chlorella sorokiniana</i> sin una pérdida sustancial de biomasa para la generación de biodiésel de alta calidad.	Se menciona al FAME	Corea del Sur	Giridhar et al. (2017)
10	<i>Chlorella regularis</i>	El fósforo influyó positivamente en las células de microalgas, ya que el contenido de lípidos aumentó. La producción de biomasa alcanzó 4.53 g / L bajo falta de nitrógeno.	Se menciona al FAME	China	Fu et al. (2017)
11	<i>Chlorella sorokiniana</i>	La adición de 20% de DSW al medio de cultivo mejoró eficazmente el crecimiento celular y la acumulación de aceite de <i>Chlorella sorokiniana</i> , lo que dio lugar a un contenido de aceite y una concentración de biomasa de 61,0% y 3,0 g / L, respectivamente.	Se menciona al FAME	Taiwán	Chen et al. (2013)
12	<i>Chlorella minutissima</i>	El nitrato intervino en la producción de biomasa y composición de lípidos. Aumentando la concentración del medio de cultivo resultó mayor la producción de biomasa y lípidos.	Se menciona al FAME	México	Sánchez et al. (2013)
13	<i>Chlorella ellipsoidae</i>	A partir de la microalga se obtuvo una biomasa rica en lípidos, cultivada a mayor concentración del medio de cultivo en aguas residuales. Los perfiles de FAME, mostraron un alto contenido de ácido palmítico.	Se menciona al FAME	Marruecos	Fal et al. (2021)
14	<i>Chlorella minutissima</i>	Se mostró una mayor productividad de biomasa (245 mg /L-d) y contenido de lípidos (47%) cuando se cultivó la microalga en mayores concentraciones de agua residuales.	Se menciona al FAME y la norma ASTM D6751	India	Arora et al. (2018)
15	<i>Chlorella sorokiniana</i>	La biomasa y lípidos producida por la microalga <i>Chlorella sorokiniana</i> , fueron mayores en el ensayo realizado con mayor contenido de medio de cultivo, así mismo, el FAME resultó deseables para la producción de biodiesel.	Se menciona al FAME	Taiwán	Cheah et al. (2018)
16	<i>Chlorella sorokiniana</i>	Los efluentes de aguas residuales lácteas fueron aplicables al crecimiento de la microalga <i>Chlorella sorokiniana</i> , el contenido máximo de lípidos (69%) se obtuvo cuando del medio de cultivo fue mayor.	Se menciona al FAME y la norma ASTM D6751	Irán	Asadi et al. (2020)

17	<i>Chlorella vulgaris</i>	El ensayo realizado en el fotobiorreactor proporcionó el mejor resultado en términos de productividad de biomasa de (84,8 mg/L-d) y productividad de lípidos (10,3 mg/L-d).	Se menciona al FAME y la norma ASTM D6751	Italia	Frumento et al. (2013)
18	<i>Chlorella vulgaris</i>	Usando una mayor concentración de sodio carbonato, junto con 0.03% de dióxido de carbono de la aireación podría mejorar sustancialmente la tasa de crecimiento de microalgas, producción de biomasa y productividad de lípidos.	Se menciona al FAME	Irán	Mohammadi et al. (2016)

En la Tabla 3 se observó las características de las 18 investigaciones que fueron incluidas. Los trabajos incluidos están comprendidos entre los años 2013 y 2021 y presentan información sobre la especie empleada, los resultados obtenidos, las observaciones y el país donde se realizan cada una de ellas.

En las investigaciones, los autores realizaron la caracterización de éster metílico de ácido graso (FAME) para comprobar si los lípidos extraídos de las microalgas son aptas para biodiesel. En otras palabras, un ensayo de calidad para la producción de biodiesel. Sin embargo, algunas investigaciones también realizaron la medición de calidad con la norma ASTM D6751 para garantizar que el biodiesel no dañe el motor.

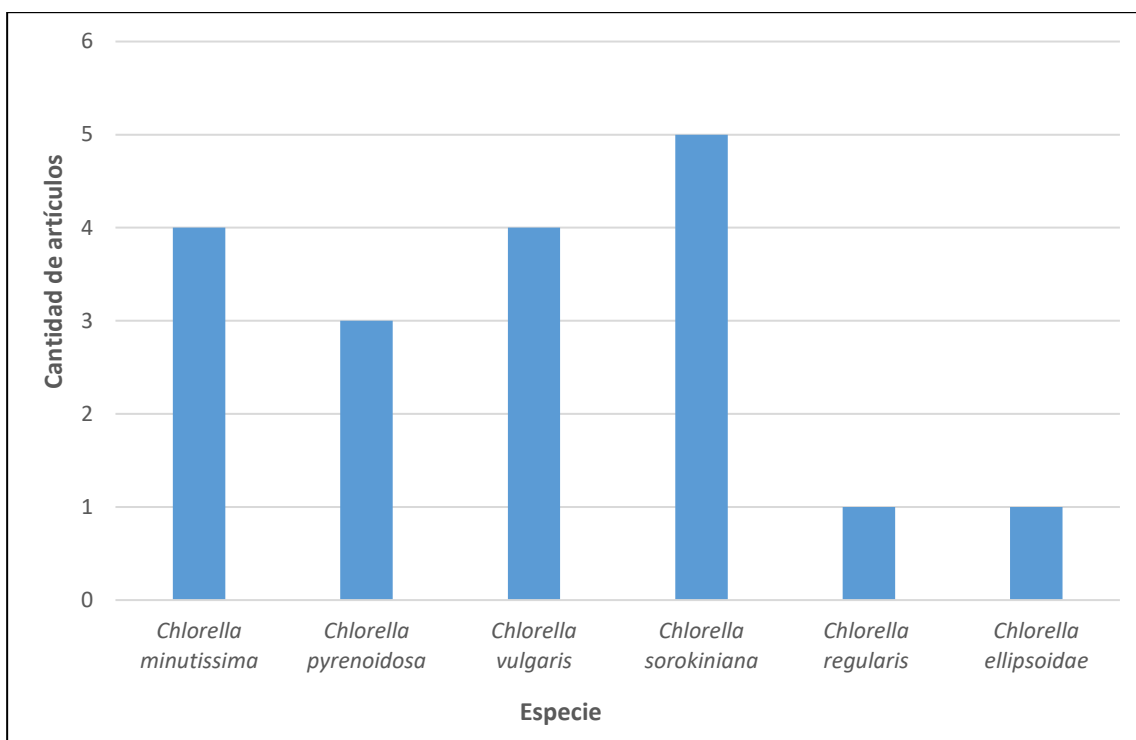
En la Figura 4 se muestra la cantidad de artículos que fueron identificados con respecto al ámbito geográfico en las 18 investigaciones.



**Figura 4.** *Ámbito geográfico de las investigaciones incluidas.*

En la Figura 4 se evidenció que en China realizaron 5 investigaciones, 4 en India, 2 en Taiwán e Irán y por lo menos una investigación en Turquía, Corea del Sur, México, Marruecos e Italia.

En la Figura 5 se aprecia las especies empleadas para la producción de biodiesel.



**Figura 5.** Especies empleadas en las investigaciones incluidas.

En la Figura 5 se identificó que la especie más utilizada fue *Chlorella sorokiniana* en 5 investigaciones, seguidamente de *Chlorella minutissima* y *Chlorella vulgaris* con 4 investigaciones cada una, *Chlorella pyrenoidosa* en 3 estudios y *Chlorella regularis* y *Chlorella ellipsoidae* en 1 investigación cada una.

En la Tabla 4 se presenta la evaluación de calidad de las investigaciones incluidas, utilizando la lista de verificación Newcastle – Ottawa Quality Assessment Scale modificada para ingeniería. Esta herramienta determinó las investigaciones relevantes, las cuales fueron analizadas y seleccionadas de acuerdo a la compatibilidad y los resultados.

**Tabla 4.** Características de los estudios

Estudios	Newcastle-Ottawa modificada						
	Selección		Resultado			Datos específicos	
	Representatividad	Exposición	Cantidad de lípidos	Cantidad de biomasa	Transesterificación	FAME	Seguimiento
Chandra et al. (2021)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Tekin et al. (2021)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Dineshkumar et al. (2020)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Tan et al. (2020)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Zhu et al. (2019)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Wan et al. (2019)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Zhang et al. (2018)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Jain et al. (2017)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Giridhar et al. (2017)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Fu et al. (2017)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Chen et al. (2013)	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
Sánchez et al. (2013)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Fal et al. (2021)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Arora et al. (2018)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Cheah et al. (2018)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Asadi et al. (2020)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Frumento et al. (2013)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Mohammadi et al. (2016)	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

**Representatividad:** manifiesta si es factible la producción de biodiesel a partir del género *Chlorella*. **Exposición:** evalúa si las condiciones ambientales fisicoquímicas (pH, iluminación, periodo, aireación y temperatura) fueron definidos, y si el uso del biocombustible es eficiente para la reducción de la contaminación. **Cantidad de biomasa:** indica la concentración inicial de biomasa después del cultivo del mismo. **Cantidad de lípidos:** indica la cantidad de lípidos obtenidos después de la extracción. **Transesterificación:** señala el proceso para la conversión de lípidos a biodiesel. **FAME:** manifiesta si el estudio describe al éster metílico de ácido graso que sirve para determinar las propiedades del biodiesel y si es favorable para la producción del mismo. **Seguimiento:** si realiza una evaluación del éster metílico de ácido graso y si cumplen con las especificaciones del estándar ASTM D6751.

**Tabla 5.** Crecimiento de la microalga

N.º	Especie	Medio de cultivo	Concentración del medio de cultivo (mg/L)	pH	Cantidad de microalga (mg/L)	Temperatura (°C)	Intensidad lumínica (µmol/m2/s)	Tiempo (Días)	Referencia (Autor/Año)
1	<i>Chlorella minutissima</i>	DWW (Aguas residuales)	120	7,5	200	27	135	12	Chandra et al. (2021)
			210	7,5		27	135	12	
2	<i>Chlorella vulgaris</i>	Medio BG11 con NaNO - foto heterotróficas	250	7	10	30	32.4	14	Tekin et al. (2021)
			500	7		30	32.4	14	
3	<i>Chlorella minutissima</i>	DWW (Aguas residuales)	20	8,3	100	28	21.19	5	Dineshkumar et al. (2020)
			30	8,3		28	21.19	5	
4	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Medio artificial mixotrófico - ASW + ADS	0	7.3	0.2	27	280	14	Tan et al. (2020)
			150	7,3		27	280	14	
5	<i>Chlorella vulgaris</i>	Medio Bristol modificado	157	6,8	200	23	80	10	Zhu et al. (2019)
			176	6,8		23	80	10	
6	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	DWW (Aguas residuales)	100	7.1	90	25	88.8	9	Wan et al. (2019)
			200	7.1		25	88.8	9	
7	<i>Chlorella sorokiniana</i>	BG11 con NaCl	200	7.4	150	25	81	12	Zhang et al. (2018)
			500	7.4		25	81	12	
8	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	BG11-hidrolizado	75	-	500	25	200	10	Jain et al. (2017)
			100	-		25	200	10	



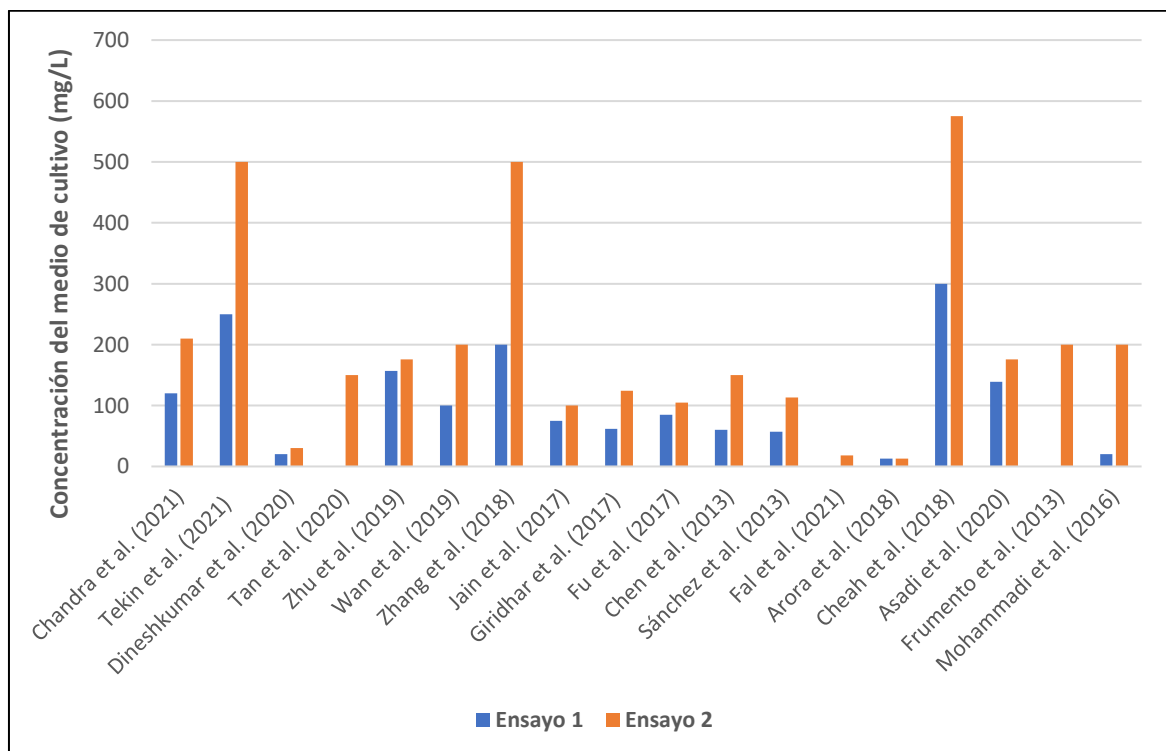
9	<i>Chlorella sorokiniana</i>	BG11 con nitrato	61.85	7	120	25	18.5	8	Giridhar et al. (2017)
			124.3	7		25	18.5	8	
10	<i>Chlorella regularis</i>	BG11 en condiciones heterotróficas	85	-	150	25	-	8	Fu et al. (2017)
			105	-		25	-	8	
11	<i>Chlorella sorokiniana</i>	DWW (Aguas residuales)	60	7.5	100	28	150	16	Chen et al. (2013)
			150	7.5		28	150	16	
12	<i>Chlorella minutissima</i>	Medio basal de Bold (BBM) con Nitrato	57	-	20	25	80	30	Sánchez et al. (2013)
			113	-		25	80	30	
13	<i>Chlorella ellipsoidae</i>	DWW (Aguas residuales)	0	8	100	25	81	26	Fal et al. (2021)
			18.35	8		25	81	26	
14	<i>Chlorella minutissima</i>	Agua estancada de estanque no potable (SNP)	12.80	7.3	50	25	100	10	Arora et al. (2018)
			12.93	7.3		25	100	10	
15	<i>Chlorella sorokiniana</i>	BG11 en condiciones heterotróficas	300	7.5	40	25	148	5	Cheah et al. (2018)
			575	7.5		25	148	5	
16	<i>Chlorella sorokiniana</i>	DWW (Aguas residuales)	139	7.7	176.77	28	138.75	14	Asadi et al. (2020)
			176	8.15		28	138.75	14	
17	<i>Chlorella vulgaris</i>	BBM (Nitrato suficiente en interiores)	0	7.40	760	20	60	15	Frumento et al. (2013)
			200	7.47		20	60	15	
18	<i>Chlorella vulgaris</i>	Z8 (con Nitrato)	20	7	50	30	40	7	Mohammadi et al. (2016)
			200	7		30	40	7	

A partir de la Tabla 5 se identificó que en 6 estudios optaron por el medio de cultivo BG11, 2 autores prefirieron el medio basal de Bold (BBM) – Nitrato, 6 autores el medio de cultivo DWW (Aguas residuales) y 4 autores optaron por el medio bristol modificado, medio artificial mixotrófico - ASW + ADS, agua estancada de estanque no potable (SNP) y Z8 (con Nitrato), respectivamente.

La concentración del medio de cultivo se encontró en un rango de 0 - 575 mg/L, el pH tuvo valores de 6.8 – 8.3, asimismo, los autores utilizaron una cantidad diferente de microalga que se encontró en el rango de 0.2 - 500 mg/L. Para medir la temperatura y la intensidad lumínica, los autores llevaron el medio de cultivo a un fotobiorreactor. La temperatura se encontró en un rango de 20 a 30 °C y la intensidad lumínica en un rango de 18.5 a 280  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  durante un tiempo determinado de 5 a 30 días.

### Interpretación de gráficos en Excel

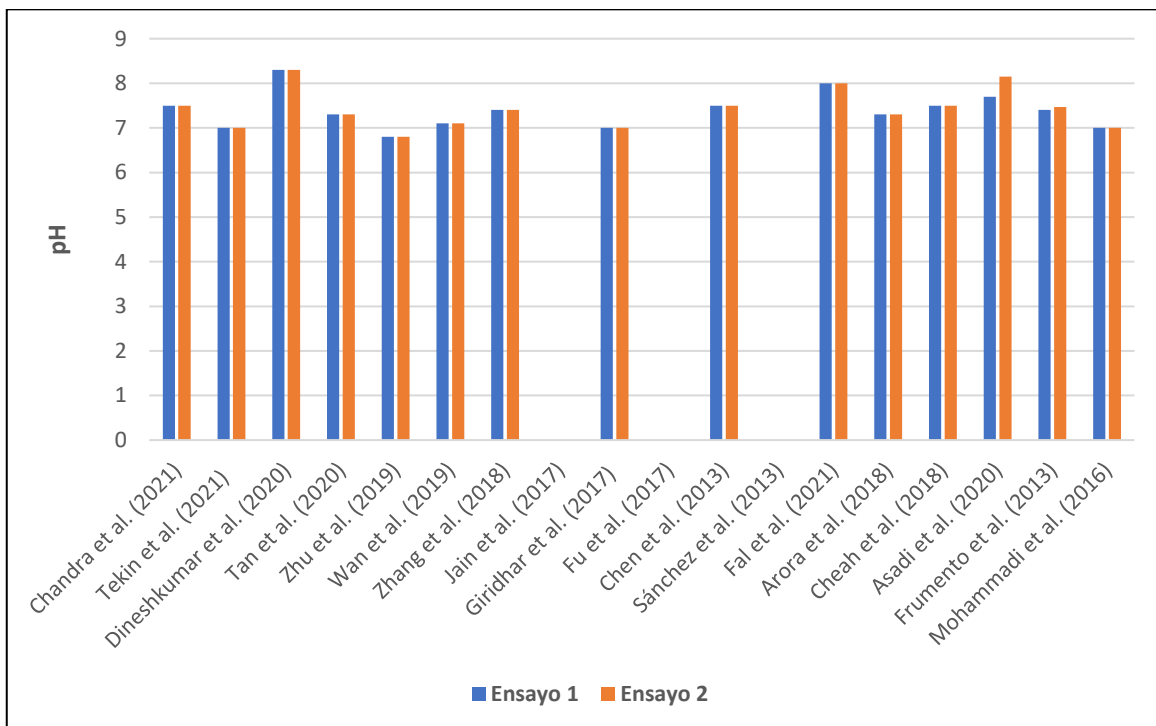
En la Figura 6 se presenta la concentración del medio de cultivo (mg/L) que emplearon los autores en el primer y segundo ensayo.



**Figura 6.** Concentración del medio de cultivo en las investigaciones incluidas.

En la Figura 6 se identificó que cada investigación tuvo concentraciones diferentes, en el primer ensayo cada autor empleó una menor concentración en comparación con el segundo ensayo. No obstante, Cheah et al. (2018) emplearon una mayor concentración del medio de cultivo en ambos ensayos (300 y 575 mg/L) en comparación a los demás estudios. A diferencia de, Arora (2018) que solo emplearon 12.80 y 12.93 mg/L para el ensayo 1 y ensayo 2, respectivamente. Asimismo, se observó que Tekin et al. (2021), Wan et al. (2019), Zhang et al. (2018), Giridhar et al. (2017), Chen et al. (2013), Sánchez et al. (2013) y Cheah et al. (2018) duplicaron su concentración del medio de cultivo en el ensayo 2. Por otro lado, Tan et al. (2020), Fal et al. (2021) y Frumento et al. (2013) consideraron 0 mg/L en el primer ensayo como medio de control.

En la Figura 7 se aprecia el valor de pH para el ensayo 1 y 2 en las 18 investigaciones incluidas.

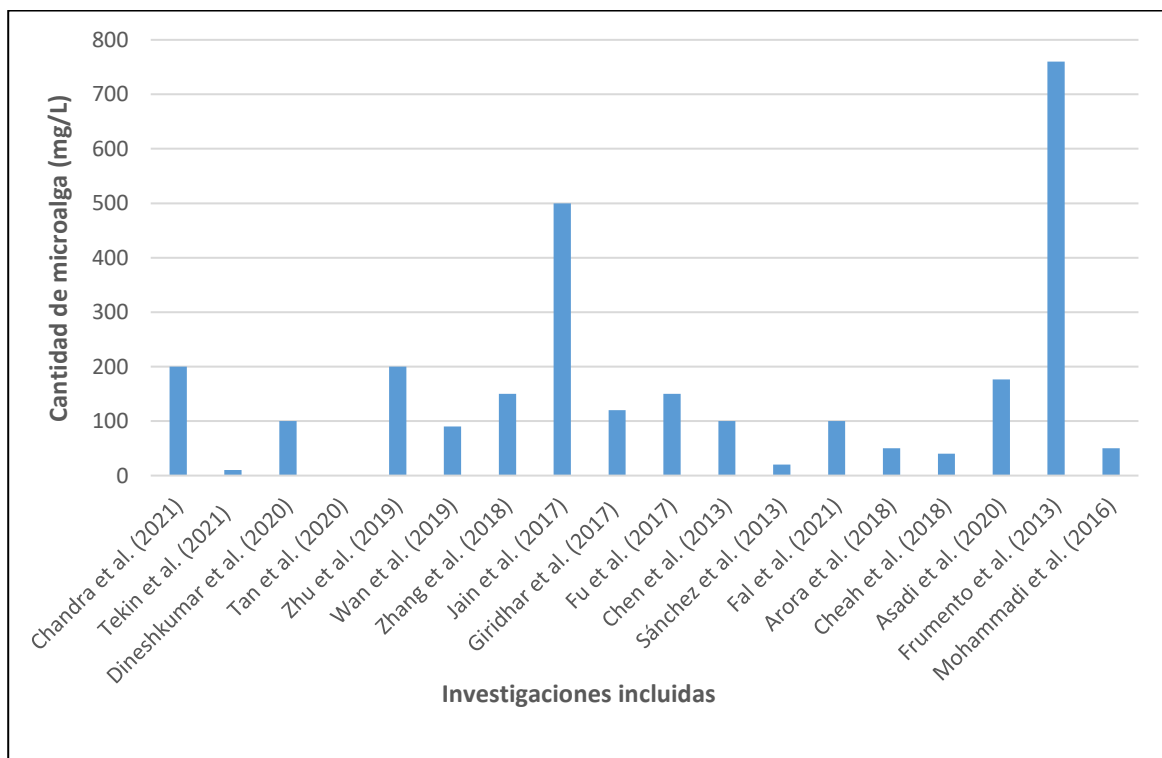


**Figura 7.** pH del medio de cultivo en las investigaciones incluidas.

En la Figura 7 se evidenció que en la mayoría de las investigaciones el valor del pH se encontró en un rango neutral de 7. Sin embargo, Dineshkumar et al. (2020) y Frumento et al. (2013) cultivaron en un pH mayor a 8 para ambos ensayos,

lo que significaría que la microalga fue cultivada en un medio alcalino. Por otro lado, Zhu et al. (2019) y Zhang et al. (2018) cultivaron en un pH menor a 6. Asimismo, Jain et al. (2017), Fu et al. (2017) y Sánchez et al. (2013) no indicaron el valor de pH, pero mencionaron que el medio de cultivo estuvo en un rango neutral.

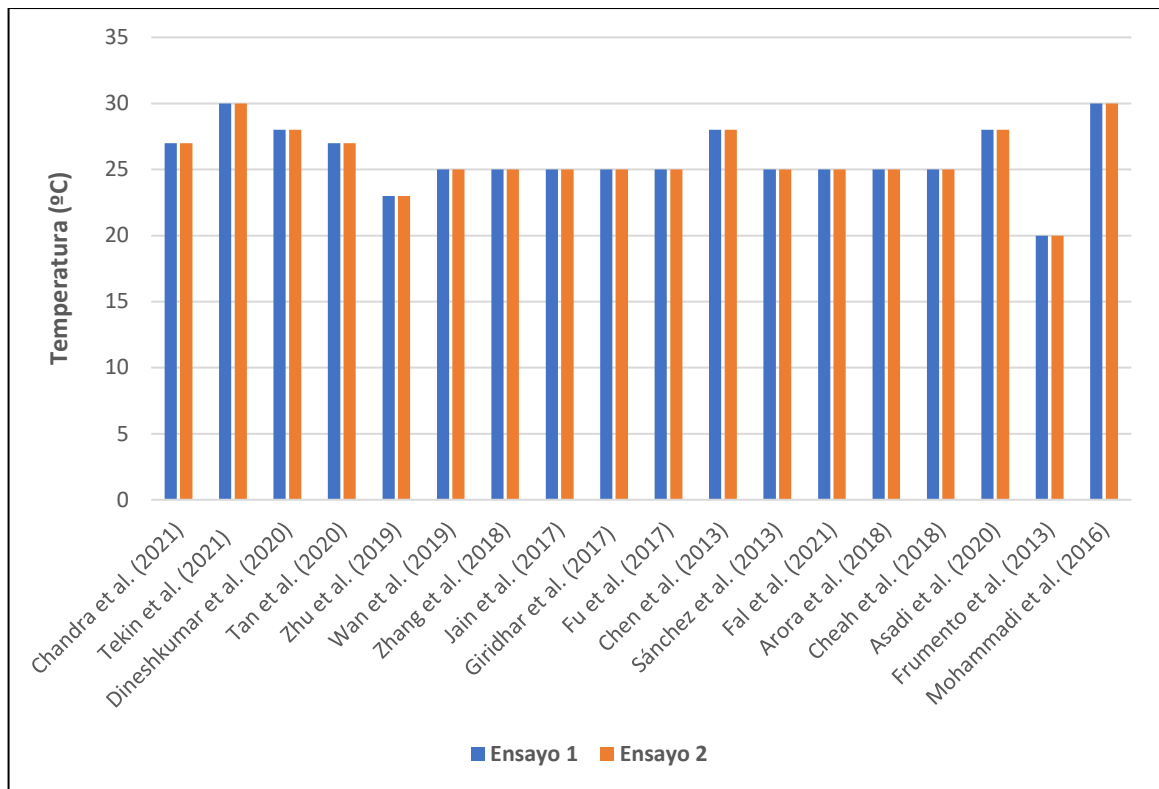
En la Figura 8 se muestra la cantidad de microalgas (mg/L) que emplearon los autores en sus investigaciones, cabe resaltar que cada autor utilizó diferente tipo de especie.



**Figura 8.** Cantidad de microalgas utilizadas en las investigaciones incluidas.

A partir de la Figura 8 se identificó que Frumento et al. (2013) utilizaron 760 mg/L de *Chlorella prototecoides*, siendo la mayor cantidad de microalga empleada en comparación con los demás autores. Por otro lado, Tan et al. (2020) usaron solo 0.20 mg/L de *Chlorella pyrenoidosa*, representando la menor cantidad de microalga empleada. Del mismo modo, se observó que en la mayoría de las investigaciones emplearon menos de 200 mg/L de materia prima.

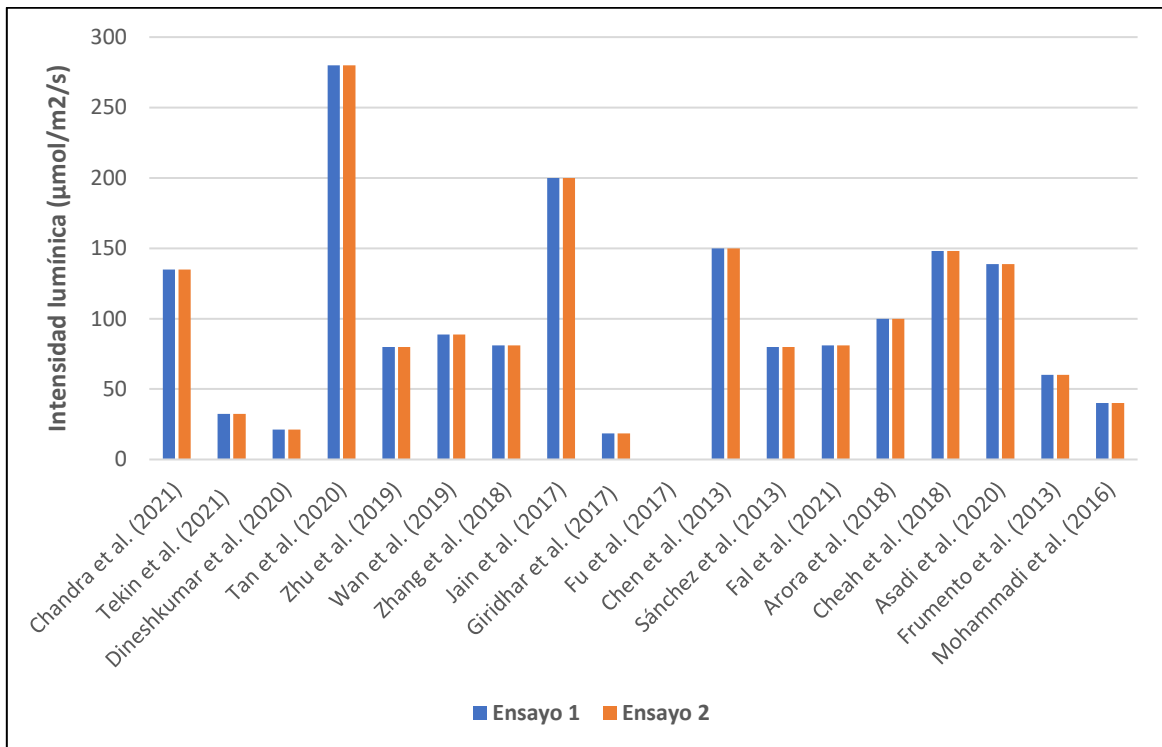
En la Figura 9 se presenta el valor de la temperatura (°C) evaluada en el fotobiorreactor para el crecimiento de las microalgas.



**Figura 9.** Temperatura del medio de cultivo en las investigaciones incluidas.

En la Figura 9 se observó que en la mayoría de las investigaciones trabajaron con la misma temperatura en ambos ensayos. Asimismo, se identificó que la temperatura mínima fue obtenida por Frumento et al. (2013) con 20 °C. En comparación con Tekin et al. (2021) y Mohammadi et al. (2016) que trabajaron con 30 °C.

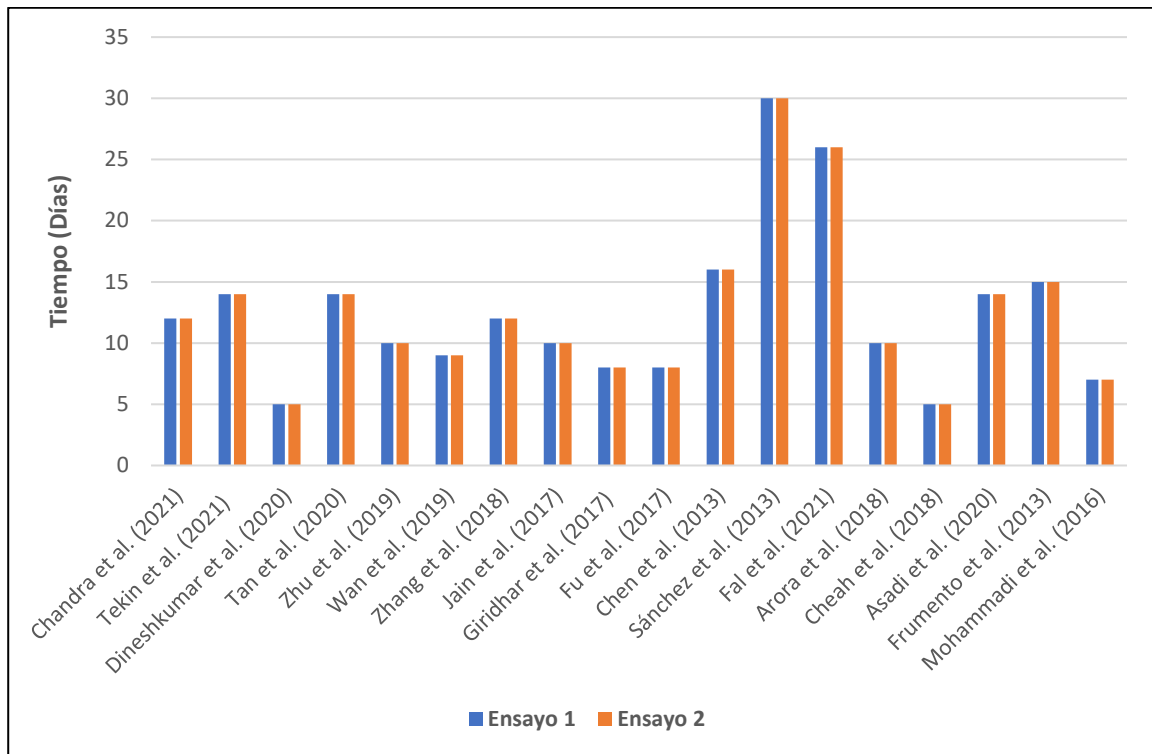
En la Figura 10 se aprecia el valor de la intensidad lumínica que se evaluó en el fotobiorreactor para el crecimiento de las microalgas.



**Figura 10.** Intensidad lumínica del medio de cultivo en las investigaciones incluidas.

En la figura 10 se identificó que las investigaciones presentan el mismo valor de intensidad lumínica en ambos ensayos, asimismo, se observó que los autores que calcularon un alto valor de intensidad lumínica fueron los estudios de Tan et al. (2020) y Jain et al. (2017) con 280 y 200  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ , respectivamente. Por otro lado, Tekin et al. (2021), Dineshkumar et al. (2020), Giridhar et al. (2017) y Mohammadi et al. (2016) presentaron valores menores a 50  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ .

En la Figura 11 se observa el tiempo (Días) que empleó cada autor para el crecimiento de las microalgas.



**Figura 11.** Tiempo empleado para el crecimiento de microalgas en las investigaciones incluidas.

A partir de la Figura 11 se evidenció que los autores emplearon la misma cantidad de días para ambos ensayos. Dineshkumar et al. (2020) y Cheah et al. (2018) lograron producir en solo 5 días gran cantidad de microalgas en ambos ensayos. Por otro lado, Sánchez et al. (2013) lograron el crecimiento de la microalga en 30 días.

En la Tabla 6 se presentan las 18 investigaciones incluidas, y se evidencia la productividad de biomasa (mg/L-d) y el contenido de lípidos (%) con respecto a la concentración del medio de cultivo (mg/L). Cabe resaltar que, en todas las investigaciones utilizaron menor concentración del medio de cultivo en el ensayo 1. Por lo tanto, se realizó dos meta-análisis para la evaluación por separado de la productividad de biomasa y contenido de lípidos que se muestran en la Figura 12 y Figura 13, respectivamente.

**Tabla 6.** Productividad de biomasa y contenido de lípidos respecto a la concentración del medio de cultivo.

N.º	Especie	Medio de cultivo	Cantidad de microalga (mg/L)	Concentración del medio de cultivo mg/L		Productividad de biomasa (mg/L-d)		Contenido de lípidos (%)		Referencia (Autor/Año)
				Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2	
1	<i>Chlorella minutissima</i>	DWW (Aguas residuales lácteas)	200	120	210	206	241	10.5	11.4	Chandra et al. (2021)
2	<i>Chlorella vulgaris</i>	Medio BG-11 con NaNO - foto heterotróficas	10	250	500	47.72	64	41.7	40	Tekin et al. (2021)
3	<i>Chlorella minutissima</i>	DWW (Aguas residuales lácteas)	100	20	30	400	413.3	14.5	19.6	Dineshkumar et al. (2020)
4	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Medio artificial mixotrófico - ASW + ADS	0.20	0	150	183.8	211.3	10.5	11.3	Tan et al. (2020)
5	<i>Chlorella vulgaris</i>	Medio Bristol modificado	200	157	176	299.8	302.4	24	25	Zhu et al. (2019)
6	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	BG11 con aguas residuales de encurtidos	90	100	200	111.42	170.65	29.73	33.95	Wan et al. (2019)
7	<i>Chlorella sorokiniana</i>	BG11 con NaCl	150	200	500	14.75	19.25	30.77	36.11	Zhang et al. (2018)
8	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	BG11- hidrolizado	500	75	100	263	272	20.46	23.44	Jain et al. (2017)
9	<i>Chlorella sorokiniana</i>	BG11 con nitrato	120	61.85	124.3	105	165	28.34	43.4	Giridhar et al. (2017)

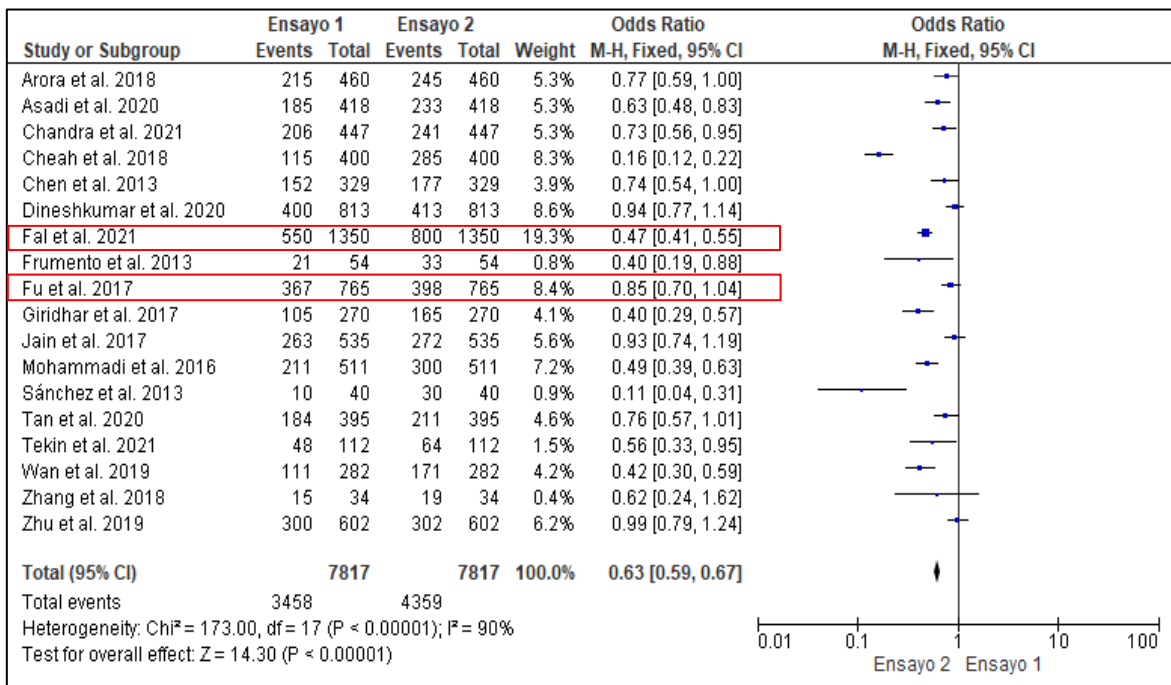


10	<i>Chlorella regularis</i>	BG11 en condiciones heterotróficas	150	85	105	367	398	35.7	42.3	Fu et al. (2017)
11	<i>Chlorella sorokiniana</i>	DWW (Aguas residuales lácteas)	100	60	150	151.7	176.6	32.6	51.7	Chen et al. (2013)
12	<i>Chlorella minutissima</i>	Medio basal de Bold (BBM) con Nitrato	20	57	113	10	30	22.7	36.6	Sánchez et al. (2013)
13	<i>Chlorella ellipsoidae</i>	DWW (Aguas residuales lácteas)	100	0	18.35	550	800	17	31	Fal et al. (2021)
14	<i>Chlorella minutissima</i>	Agua estancada de estanque no potable (SNP)	50	12.80	12.93	215	245	44	47	Arora et al. (2018)
15	<i>Chlorella sorokiniana</i>	BG11 en condiciones heterotróficas	40	300	575	115	285	9	16	Cheah et al. (2018)
16	<i>Chlorella sorokiniana</i>	DWW (Aguas residuales lácteas)	176.77	139	176	185	233	22.33	19.33	Asadi et al. (2020)
17	<i>Chlorella vulgaris</i>	BBM (Nitrato suficiente en interiores)	760	0	200	20.8	33.4	13.1	21.4	Frumento et al. (2013)
18	<i>Chlorella vulgaris</i>	BG11 en condiciones heterotróficas	50	20	200	211	300	10.5	10.2	Mohammadi et al. (2016)

## Meta-análisis

Se evaluaron las 18 investigaciones incluidas, y se comparó la productividad de biomasa y el contenido de lípidos obtenidos a partir del género *Chlorella* con las concentraciones del medio cultivo.

En la Figura 12 se presenta el meta-análisis de la productividad de biomasa respecto a la concentración del medio de cultivo.



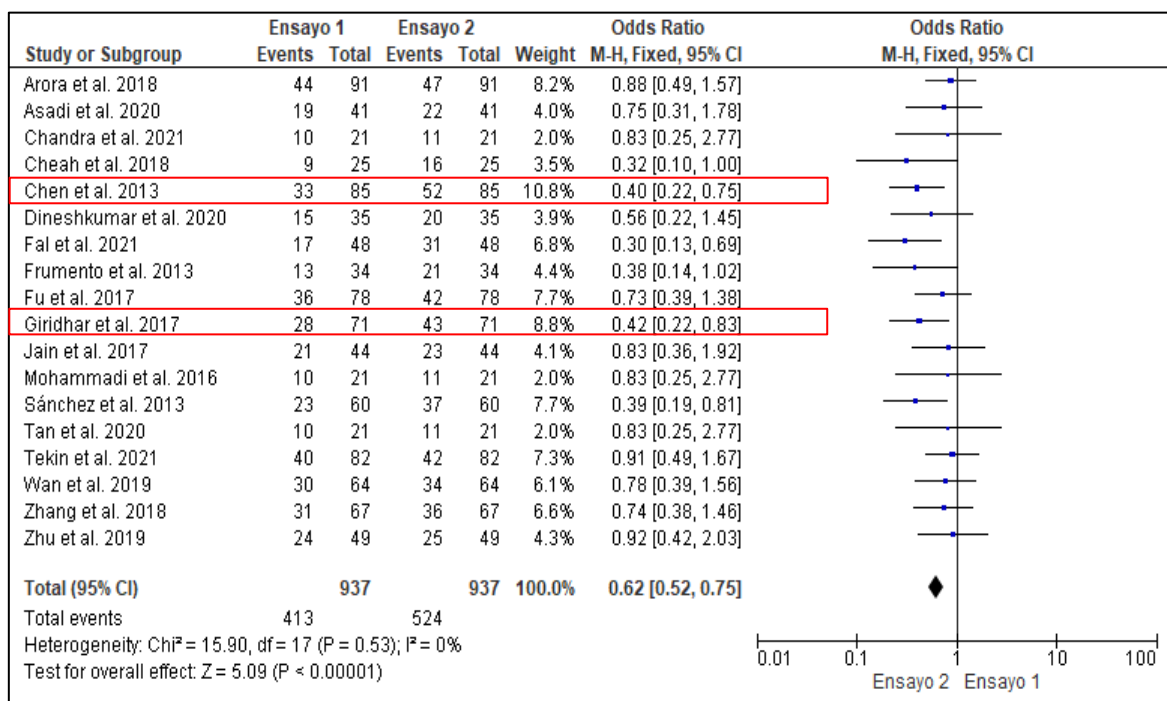
**Figura 12.** Meta-análisis de la productividad de biomasa respecto a la concentración del medio de cultivo.

A partir de la Figura 12 se identificó que el cuadro de resumen se encuentra a favor del segundo ensayo, es decir, en el ensayo 2 hay mayor productividad de biomasa que en el ensayo 1. Asimismo, para una correcta interpretación de la medida de efecto (Odds Ratio), establecemos los siguientes intervalos.

- $p < 1$ : La concentración del medio de cultivo incrementa la productividad de biomasa del género *Chlorella*
- $p > 1$ : La concentración del medio de cultivo disminuye la productividad de biomasa del género *Chlorella*
- $p = 1$ : No presenta ninguna variación

La razón de momio (Odds Ratio) en este meta-análisis fue de 0.63, es decir, la productividad de biomasa del género *Chlorella* se incrementó en un 37% del ensayo 1 al ensayo 2. Las investigaciones demostraron una heterogeneidad estadística de  $P < 0.000001$  e  $I^2 = 90\%$ , en otras palabras, presenta una heterogeneidad significativa, no obstante, la alta heterogeneidad no significa que a mayor concentración del medio de cultivo no se pueda incrementar la productividad de biomasa. En cuanto al peso de las investigaciones (Weight), se demostró que la investigación de Fal et al. (2021) obtuvo un total de 19.3%, se infiere que esta investigación tuvo una mayor productividad de biomasa, lo cual generó que tuviera más significancia en el meta-análisis.

En la Figura 13 se muestra el meta-análisis del contenido de lípidos respecto a la concentración del medio de cultivo.



**Figura 13.** Meta-análisis del contenido de lípidos respecto a la concentración del medio de cultivo.

En la Figura 13 se evidenció que el cuadro de resumen se encuentra a favor del segundo ensayo, es decir, el ensayo 2 tiene mayor contenido de lípidos que el

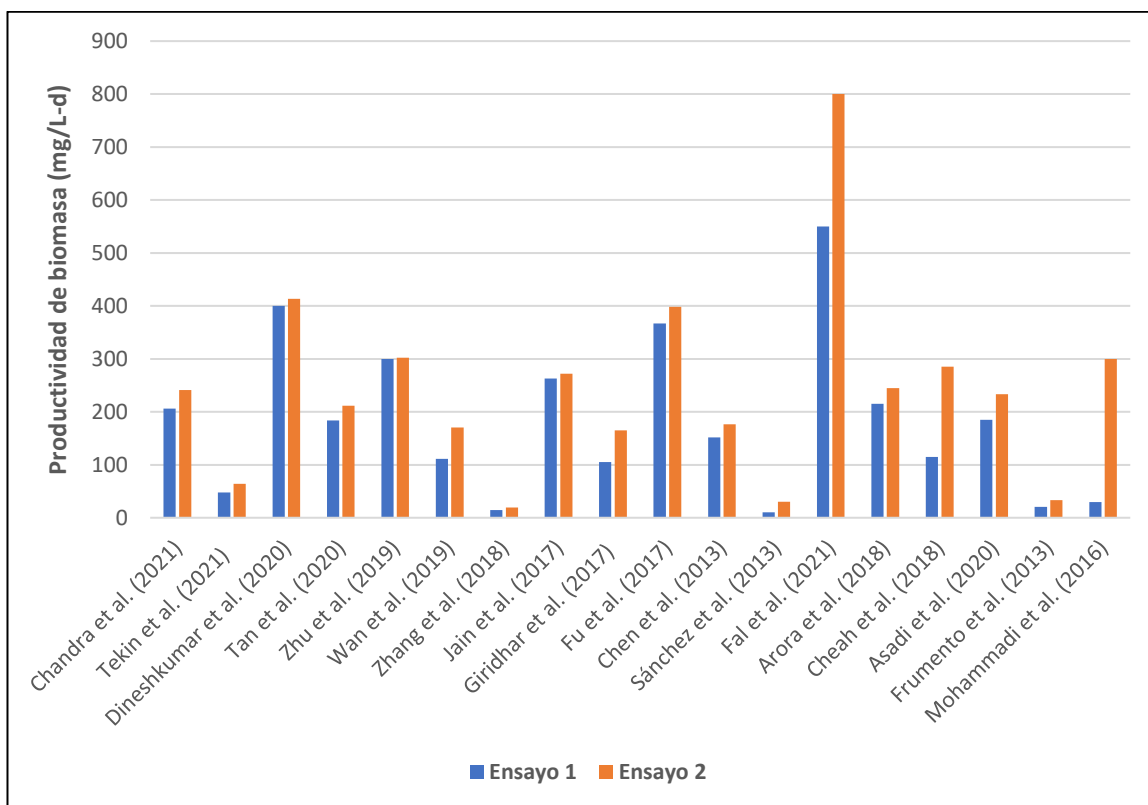
ensayo 1. Asimismo, para una correcta interpretación de la medida de efecto (Odds Ratio), establecemos los siguientes intervalos.

- $p < 1$ : La concentración del medio de cultivo incrementa el contenido de lípidos producido por el género *Chlorella*
- $p > 1$ : La concentración del medio de cultivo disminuye el contenido de lípidos producido por el género *Chlorella*
- $p = 1$ : No presenta ninguna variación

La razón de momio (Odds Ratio) en este meta-análisis fue de 0.62, es decir, el contenido de lípidos del género *Chlorella* se incrementó en un 38% del ensayo 1 al ensayo 2. Las investigaciones demostraron una heterogeneidad estadística de  $P = 0.53$  e  $I^2 = 0\%$ , en otras palabras, no presentan heterogeneidad. En cuanto al peso de las investigaciones (Weigth), se demostró que la investigación de Chen et al. (2013) obtuvo un total de 10.8%, se infiere que en este estudio obtuvieron un mayor contenido de lípidos, lo cual generó que tuviera más significancia en el meta-análisis.

### **Interpretación de gráficos en Excel**

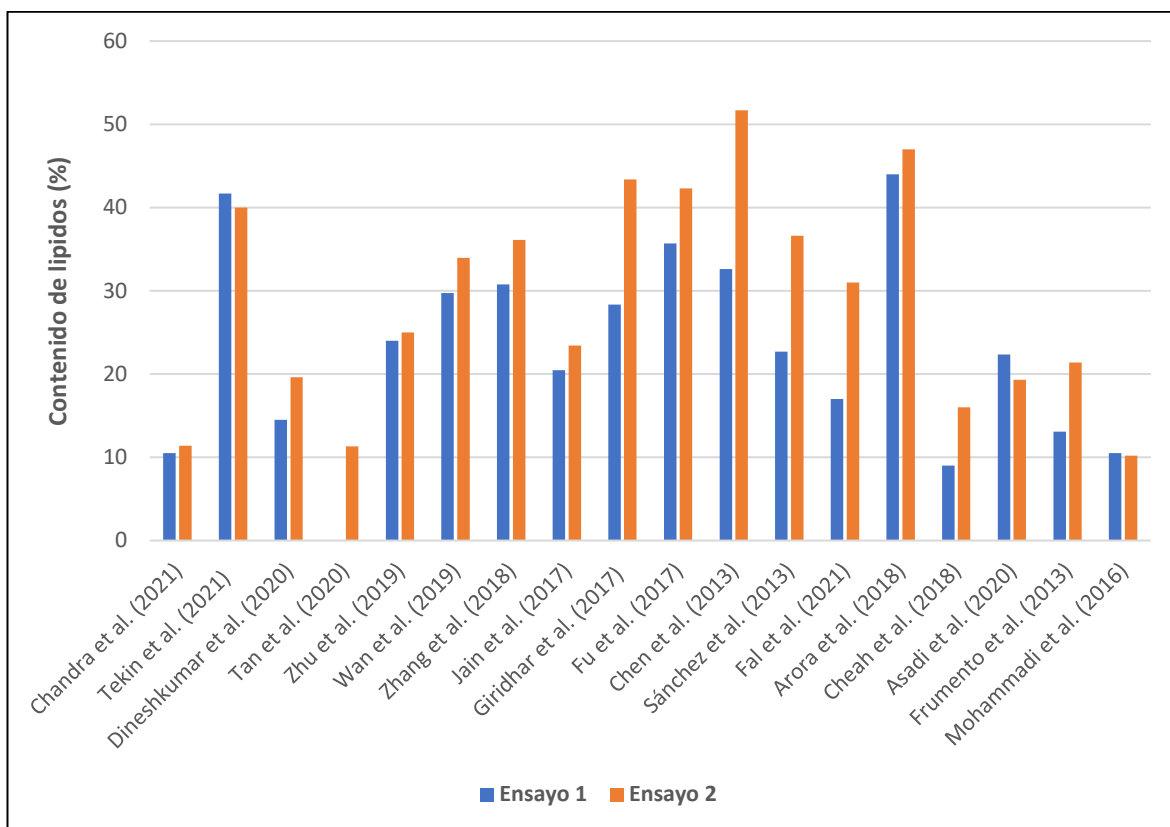
En la Figura 14 se presentan las 18 investigaciones incluidas en el meta-análisis, y se detalla la productividad de biomasa respecto a la concentración del medio de cultivo para el ensayo 1 y ensayo 2.



**Figura 14.** Productividad de biomasa respecto a la concentración del medio de cultivo.

En la Figura 14 se identificó que en todos los estudios hubo una mayor productividad de biomasa en el ensayo 2. Fal et al. (2021) alcanzaron una mayor productividad de biomasa (550 y 800 mg/L-d) en el medio DWW (Aguas residuales) con una concentración de 0 y 18.35 mg/L, respectivamente. Por ello, se infiere que, a mayor concentración del medio de cultivo, mayor será la productividad de biomasa obtenida.

En la Figura 15 se muestran las 18 investigaciones incluidas en el meta-análisis, y se detalla el contenido de lípidos respecto a la concentración del medio de cultivo para el ensayo 1 y ensayo 2.



**Figura 15.** Contenido de lípidos respecto a la concentración del cultivo.

A partir de la Figura 15 se identificó que en todas las investigaciones hubo un mayor contenido de lípidos en el ensayo 2. Chen et al. (2013) presentaron mayor contenido de lípidos (32.6 y 51.7%) en el medio DWW (Aguas residuales) en una concentración de 60 y 150 mg/L, respectivamente. Por ello, se infiere que, a mayor concentración del medio de cultivo, mayor será el contenido de lípidos.

Por lo tanto, se deduce que existe relación directamente proporcional entre la concentración del medio de cultivo, la productividad de biomasa y el contenido de lípidos.

En la Tabla 7 se detalla el contenido del éster metílico de ácido graso (FAME) del género *Chlorella* en la producción del biodiesel.

**Tabla 7.** FAME (éster metílico de ácido graso) del género *Chlorella*.

N.º	Especie	Medio de cultivo	FAME (éster metílico de ácido graso)						Referencia (Autor/Año)
			C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	
1	<i>Chlorella minutissima</i>	DWW (Aguas residuales)	30	10	9	2	25	17	Chandra et al. (2021)
			-	-	-	-	-	-	
2	<i>Chlorella vulgaris</i>	Medio BG-11 con NaNO - foto heterotróficas	8.34	5.00	1.81	15.25	10.70	54	Tekin et al. (2021)
			-	-	-	-	-	-	
3	<i>Chlorella minutissima</i>	DWW (Aguas residuales)	-	-	-	-	-	-	Dineshkumar et al. (2020)
			-	-	-	-	-	-	
4	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Medio artificial mixotrófico - ASW + ADS	12.5	11.6	8.5	14.2	17.5	18.1	Tan et al. (2020)
			11.9	14.6	10.5	12.3	20.5	16.1	
5	<i>Chlorella vulgaris</i>	Medio Bristol modificado	22.2	8.9	30.9	-	15.2	3.7	Zhu et al. (2019)
			33.6	5.6	10.3	-	18.7	18.2	
6	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	BG11 con aguas residuales de encurtidos	20.65	8.43	2.28	16.08	14.69	20.84	Wan et al. (2019)
			21.87	10.79	2.84	40.09	12.39	-	
7	<i>Chlorella sorokiniana</i>	BG11 con NaCl	29.42	-	-	20.59	9.7	-	Zhang et al. (2018)
			31.15	-	-	29.70	11.19	-	
8	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	BG11-hidrolizado	-	-	-	-	-	-	Jain et al. (2017)
			-	-	-	-	-	-	

9	<i>Chlorella sorokiniana</i>	BG11 con nitrato	-	-	-	-	-	-	Giridhar et al. (2017)
			-	-	-	-	-	-	
10	<i>Chlorella regularis</i>	BG11 en condiciones heterotróficas	45.93	1.21	1.99	13.03	21.79	14.97	Fu et al. (2017)
			47.08	1.22	3.82	11.86	18.07	16.96	
11	<i>Chlorella sorokiniana</i>	DWW (Aguas residuales)	12.84	1.89	4.10	14.5	9.34	-	Chen et al. (2013)
			-	-	-	-	-	-	
12	<i>Chlorella minutissima</i>	Medio basal de Bold (BBM) con Nitrato	41.6	-	-	45.7	-	-	Sánchez et al. (2013)
			-	-	-	26	-	12	
13	<i>Chlorella ellipsoidae</i>	DWW (Aguas residuales)	9.29	-	15.98	-	-	17.04	Fal et al. (2021)
			11.29	-	11.98	28.96	-	-	
14	<i>Chlorella minutissima</i>	Agua estancada de estanque no potable (SNP)	12	-	4	35	10	-	Arora et al. (2018)
			25	-	2	37	12	-	
15	<i>Chlorella sorokiniana</i>	BG11 en condiciones heterotróficas	34	8	2	15	23	5	Cheah et al. (2018)
			33	9	5	24	21	7	
16	<i>Chlorella sorokiniana</i>	DWW (Aguas residuales)	6.241	-	-	-	7.516	17.652	Asadi et al. (2020)
			8.321	-	-	-	3.720	14.89	
17	<i>Chlorella vulgaris</i>	BBM (Nitrato suficiente en interiores)	39.24	-	2.01	9.94	14.62	20.39	Frumento et al. (2013)
			24.52	-	-	29.21	14.11	18.52	
18	<i>Chlorella vulgaris</i>	Z8 (con Nitrato)	-	-	-	-	-	-	Mohammadi et al. (2016)
			-	-	-	-	-	-	

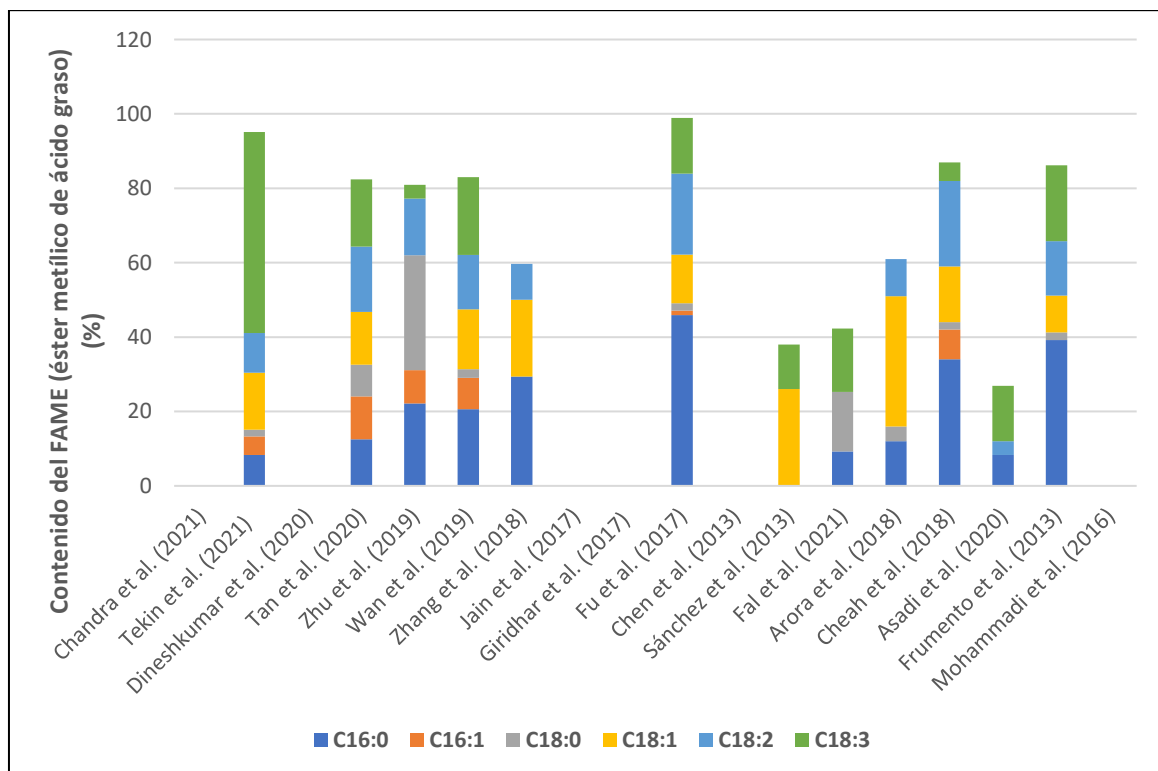


En la Tabla 8 se evidenció el FAME (éster metílico de ácido graso) de cada investigación incluida, con la finalidad de determinar el contenido graso total y la cantidad de biodiesel obtenido. Se observó que los perfiles de ácidos grasos más resaltantes son: C16:0, C16:1, C18:0, C18:1, C18:2 y C18:3.

Asimismo, Dineshkumar et al. (2020), Jain et al. (2017), Giridhar et al. (2017) y Mohammadi et al. (2016) no detallaron la evaluación del FAME en sus investigaciones, pero mencionaron que analizaron la composición del éster metílico de ácido graso mediante cromatografía de gases observando una composición máxima de biodiésel en porcentaje, donde indicaron que fue apto para la producción de biodiesel.

En las investigaciones restantes, los que tienen mayor representatividad son: (C16:0 – ácido palmítico, C18:0 – ácido esteárico,) pertenecientes a los ácidos grasos insaturados y (C16:1 – ácido palmitoleico, C18:1 – ácido oleico, C18:2 – ácido linoleico y C18:3 – ácido linolénico) siendo los ácidos grasos saturados.

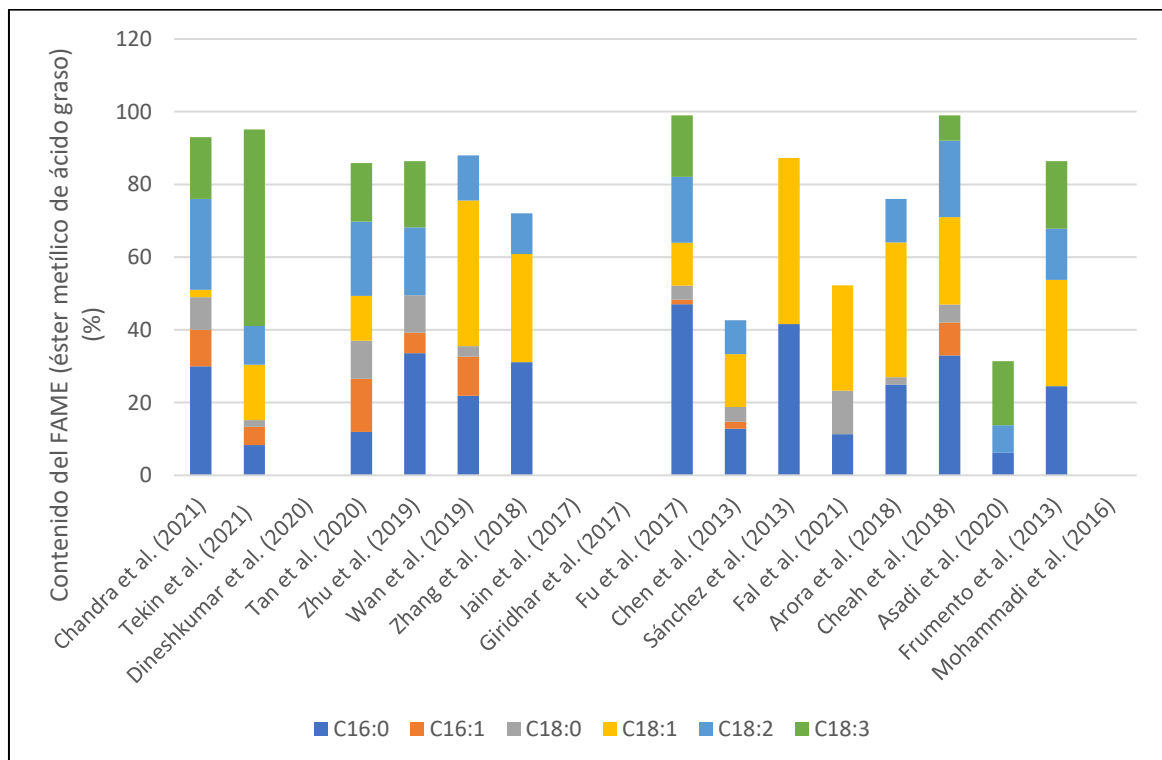
En la Figura 16 se aprecia el porcentaje del FAME (éster metílico de ácido graso) del ensayo 1.



**Figura 16.** FAME (éster metílico de ácido graso) del género *Chlorella* en el ensayo 1.

En la Figura 16 se identificó que el total de los ácidos grasos en cada investigación están en el rango de 26.93 y 98.92%. La investigación de Asadi et al. (2020) presentó el menor contenido de ácidos grasos y la investigación de Fu et al. (2017) presentó el mayor contenido de ácidos grasos. Asimismo, se observó que el ácido palmítico (C16:0) fue el más representativo en todas las investigaciones, y se encontró en un rango de 0 – 45.93%.

En la Figura 17 se presenta el porcentaje del FAME (éster metílico de ácido graso) del ensayo 2.



**Figura 17.** FAME (éster metílico de ácido graso) del género *Chlorella* en el ensayo 2.

En la Figura 17 se observó que el total de los ácidos grasos están en el rango de 31.409 y 99.01%. La investigación que presentó el menor contenido de FAME fue Asadi et al. (2020) y el mayor contenido de ácidos grasos fue por Fu et al. (2017). Asimismo, se observó que el ácido palmítico (C16:0) fue el más representativo en todas las investigaciones, y se encontró en un rango de 0 – 47.08%.

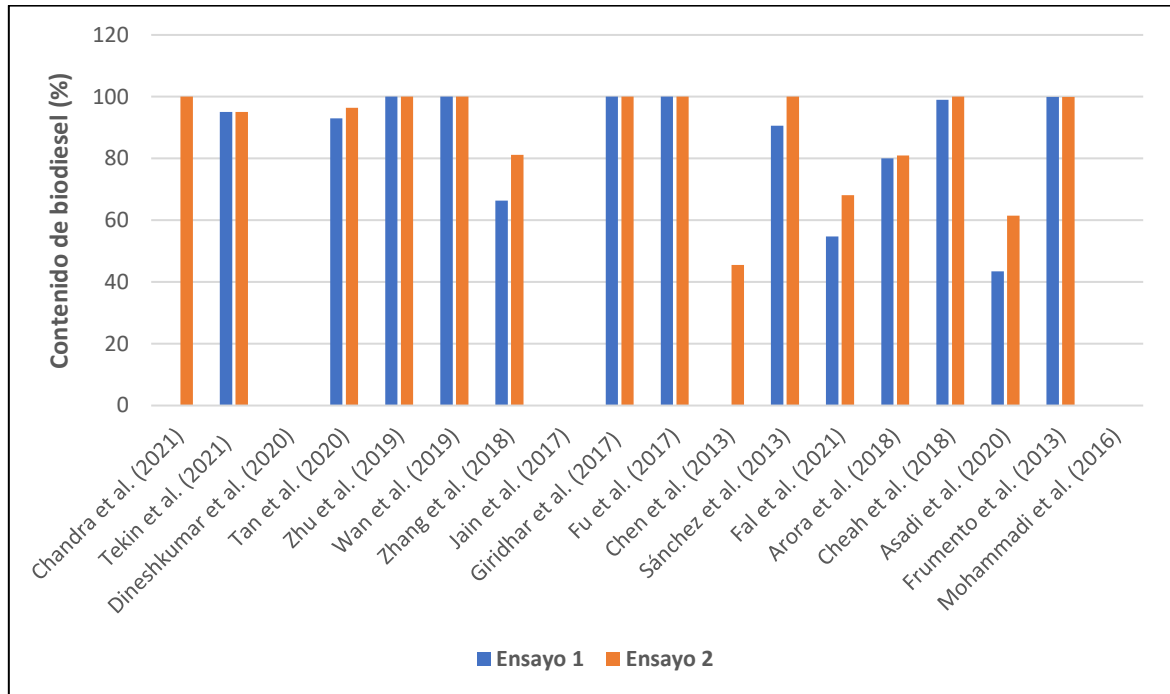
**Tabla 8.** Cantidad de biodiesel obtenido por el género *Chlorella*.

N°	Especie	Medio de cultivo	Concentración del medio de cultivo (mg/L)		Contenido de biodiesel (%)		Referencia (Autor/Año)
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2	
1	<i>Chlorella minutissima</i>	DWW (Aguas residuales)	120	210	0	100	Chandra et al. (2021)
2	<i>Chlorella vulgaris</i>	Medio BG-11 con NaNO <sub>3</sub> - foto heterotróficas	250	500	95.1	95.1	Tekin et al. (2021)
3	<i>Chlorella minutissima</i>	DWW (Aguas residuales)	20	30	-	-	Dineshkumar et al. (2020)
4	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Medio artificial mixotrófico - ASW + ADS	0	150	93	96.4	Tan et al. (2020)
5	<i>Chlorella vulgaris</i>	Medio Bristol modificado	157	176	100	100	Zhu et al. (2019)
6	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	DWW (Aguas residuales)	100	200	100	100	Wan et al. (2019)
7	<i>Chlorella sorokiniana</i>	BG11 con NaCl	200	500	66.34	81.19	Zhang et al. (2018)
8	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	BG11-hidrolizado	75	100	-	-	Jain et al. (2017)
9	<i>Chlorella sorokiniana</i>	BG11 con nitrato	61.85	124.3	100	100	Giridhar et al. (2017)
10	<i>Chlorella regularis</i>	BG11 en condiciones heterotróficas	85	105	100	100	Fu et al. (2017)

11	<i>Chlorella sorokiniana</i>	DWW (Aguas residuales)	60	150	0	45.51	Chen et al. (2013)
12	<i>Chlorella minutissima</i>	Medio basal de Bold (BBM) con Nitrato	57	113	90.6	100	Sánchez et al. (2013)
13	<i>Chlorella ellipsoidea</i>	DWW (Aguas residuales)	0	18.35	54.71	68.16	Fal et al. (2021)
14	<i>Chlorella minutissima</i>	Agua estancada de estanque no potable (SNP)	12.80	12.93	80	81	Arora et al. (2018)
15	<i>Chlorella sorokiniana</i>	BG11 en condiciones heterotróficas	300	575	99	100	Cheah et al. (2018)
16	<i>Chlorella sorokiniana</i>	DWW (Aguas residuales)	139	176	43.43	61.45	Asadi et al. (2020)
17	<i>Chlorella vulgaris</i>	BBM (Nitrato suficiente en interiores)	0	200	99.9	99.9	Frumento et al. (2013)
18	<i>Chlorella vulgaris</i>	Z8 (con Nitrato)	20	200	-	-	Mohammadi et al. (2016)

A partir de la Tabla 8 se observó la cantidad de biodiesel obtenido por el género *Chlorella*. En el ensayo 1 y en el ensayo 2 se verificó que no necesariamente la concentración del medio de cultivo tiene que ser mayor para que el contenido de biodiesel incremente.

En la Figura 18 se presenta el contenido de biodiesel (%) que obtuvieron los autores en los dos ensayos desarrollados en sus investigaciones.



**Figura 18.** Contenido de biodiesel obtenido en las investigaciones incluidas.

En la Figura 18 se evidenció que en algunas investigaciones el contenido de biodiesel (%) fue la misma cantidad en ambos ensayos. Asimismo, Zhu et al. (2019), Wan et al. (2019), Giridhar et al. (2017) y Fu et al. (2017) obtuvieron el mayor contenido de biodiesel (100%), mientras que, Chen et al. (2013) solo lograron producir 45.51 % de biodiesel en el segundo ensayo. Por otro lado, Tan et al. (2020), Zhang et al. (2018), Sanchez et al. (2013), Fal et al. (2021), Arora et al. (2018) y Asadi et al. (2020) lograron producir mayor contenido de biodiesel en el segundo ensayo cuando la concentración del medio de cultivo fue mayor.

## V. DISCUSIÓN

El meta-análisis a las 18 investigaciones incluidas demostraron que el género *Chlorella* es eficiente en la producción de biodiesel, obteniendo una productividad de biomasa superior a los 100 mg/L-d. Sirakov et al. (2015) indicaron que la especie *Chlorella* es una alternativa para la elaboración de biocombustibles por su rapidez en la producción de biomasa, del cual se puede extraer grandes cantidades de aceite que al final se transforman en biodiesel. De este modo, Fal et al. (2021) utilizaron la especie *Chlorella ellipsoidea* para la producción de biodiesel, logrando una productividad de biomasa de 800 mg/L-d. De la misma forma, Tang et al. (2011) trabajaron con *Chlorella minutissima* logrando captar 1240 mg/L de biomasa. Por su parte, Chen et al. (2013) cultivaron a *Chlorella sorokiniana* logrando un contenido de lípidos de 41.7% del peso de la célula seca. Asimismo, Li et al. (2007) lograron extraer 46.1% de lípidos de la misma microalga. Por otro lado, Giridhar et al. (2017) lograron producir 100% de biodiesel con la microalga *Chlorella sorokiniana*. De la misma manera, Mallick et al. (2011) obtuvieron un total de combustible de 1973,9 mg/L producido por *Chlorella vulgaris*. Sin embargo, aún no se logra determinar un género de microalga eficiente que asegure una alta productividad de biodiesel. Idea que concuerda con Bravo et al. (2012), quienes mencionan que en la actualidad no puede decirse que haya una especie de microalga mejor en la obtención de biodiesel.

El desarrollo pleno de las microalgas será cuando el medio de cultivo presente nutrientes necesarios de manera disponible, al igual que, los factores ambientales como la luz, la temperatura y pH. En efecto, García et al. (2017) mencionan que los factores ambientales son importantes al cultivar las microalgas, ya que, si no se encuentran en condiciones óptimas, se afectaría la productividad de biomasa. Según Xin et al. (2010), la concentración del medio de cultivo puede influenciar en la producción de biomasa. Para las 18 investigaciones incluidas la concentración del medio de cultivo se encontró en un rango de 0 - 500 mg/L. Por otro lado, para el factor temperatura, los valores estuvieron comprendidos entre 20 - 30 °C. De acuerdo con García et al. (2017), la temperatura en un medio de cultivo es un factor importante de gran influencia, la mayoría de microalgas tienen un rango óptimo de 18 a 25 °C, pero algunas se desarrollan en temperaturas alejadas de rango. Asimismo, los valores de pH estuvieron en un rango de 6.8 – 8.3 para el cultivo de

la microalga. Según Beltran et al. (2017), el pH tiene una gran influencia en los procesos bioquímicos de las microalgas que están relacionado con el crecimiento y metabolismo, con fines de producción el pH debe encontrarse en un rango de 7 y 9. Por otro lado, la intensidad lumínica es importante para las microalgas, porque les permite realizar la fotosíntesis. Los valores de intensidad lumínica para el cultivo del género *Chlorella* se encontró en el rango de 18.5 – 280  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Fal et al. (2021) utilizaron un medio de cultivo DWW (Aguas residuales) a una concentración de 18.35 mg/L, una temperatura de 25 °C, pH de 8 y una intensidad lumínica de 81  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Por su parte Arguelles y Martínez (2021) cultivaron a la microalga *Chlorella* sp a una temperatura de 23°C, intensidad lumínica de 120  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ . Al igual que, Bharte y Desai (2019) cultivaron a *Chlorella minutissima* y *Chlorella pyrenoidosa* en un medio de cultivo BG11 con una temperatura de 25°C y una intensidad lumínica de 185  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ .

La productividad de biomasa y el contenido de lípidos fueron evaluados por el meta-análisis en función a la concentración del medio de cultivo empleado en cada investigación. De acuerdo con el estudio de Fal et al. (2021), el empleo de la especie *Chlorella ellipsoidae* en el medio de cultivo DWW (Aguas residuales) presentó valores máximos en productividad de biomasa en ambos ensayos, en comparación con los demás estudios incluidos, a partir de 0 mg/L de concentración del medio de cultivo obtuvieron una productividad de biomasa de 550 mg/L-d y con 18.35 mg/L consiguieron una productividad de 800 mg/L-d, evidenciándose que a mayor concentración del medio de cultivo se obtuvo mayor productividad de biomasa. Similarmente, Klein et al. (2021) cultivaron a *Chlorella vulgaris* empleando el medio de cultivo BG-11 para realizar una comparación del contenido de biomasa en dos ensayos, donde optaron por 60 mg/L de medio de cultivo y obtuvieron 198 mg/L-d de productividad de biomasa, en el segundo análisis utilizaron 73 mg/L y alcanzaron una mayor productividad que superó los 262 mg/L-d. En cambio, Arif et al. (2020) optaron por *Chlorella sorokiniana*, una especie distinta a las mencionadas anteriormente, estudiaron la productividad de la biomasa, donde la menor concentración del medio de cultivo presentó 182 mg/L-d de productividad de biomasa y con una mayor concentración del medio de cultivo obtuvieron 260 mg/L-d. De la misma forma, Chen et al. (2013) obtuvieron resultados similares y favorables por el aumento de productividad de biomasa y el medio de cultivo,

resaltando que también intervino las condiciones de crecimiento algal para la productividad de biomasa, siendo conveniente las condiciones fotoheterotróficas. Al igual que, Manzoor et al. (2019) indicaron que la productividad de microalgas en condiciones fotoheterotróficas fueron 3 veces mayor en condiciones autotróficas, y la productividad aumentó de 45.33 mg/L-d a 56.69 mg/L-d con una concentración del medio de cultivo de 5 y 10 mg/L respectivamente.

Con respecto al contenido de lípidos, los resultados favorecieron al ensayo 2, porque se evidenció mayor contenido lipídico en todos los estudios. En la investigación de Chen et al. (2013) emplearon la especie *Chlorella sorokiniana* en el medio de cultivo DWW (Aguas residuales), las cuales presentaron valores más altos en comparación con las demás investigaciones incluidas, detallaron que a partir de 60 mg/L de concentración del medio de cultivo lograron conseguir 32.6% de contenido de lípidos y con 150 mg/L de concentración consiguieron alcanzar el 51.7% de contenido lipídico. Evidenciándose que, a mayor concentración del medio de cultivo, mayor es el contenido de lípidos que se logra extraer. En cambio, Mondal et al. (2017) optaron por otro medio de cultivo (BBM) en condiciones heterotróficas y realizaron 4 ensayos, los resultados mostraron un aumento significativo en el rendimiento de biomasa y lípidos cuando la concentración del medio de cultivo era mayor, el valor máximo de concentración de lípidos fue de 66,8% y la acumulación de lípidos neutros también mejoró en 47,17% de células reguladas en comparación con los demás ensayos. De igual forma Rajanren e Ismail (2016) lograron el mayor porcentaje de lípidos en el medio basal de Bold (BBM) con Nitrato que en el medio DWW (Aguas residuales Lácteas), en el primer ensayo lograron producir 60.05% de lípidos en comparación con el segundo ensayo, que solo lograron obtener 36.45% de lípidos. Por otro lado, Bauer et al. (2017) estudiaron a la especie *Chlorella zofingiensis*, su fase experimental solo llegó a la obtención de lípidos, y establecieron el mayor porcentaje de contenido de lípidos (74.8%) con el empleo de 300 mg/L de medio de cultivo, asimismo, resaltaron que en el primer ensayo se desarrolló mayor crecimiento celular por la gran cantidad del medio de cultivo empleado. De la misma forma, Arora et al. (2018) se enfocaron en las condiciones del medio de cultivo en la fase de crecimiento de la microalga *Chlorella minutissima*, porque evidenciaron que a mayor concentración del medio de cultivo (2400 mg/L) favorecía el crecimiento de las microalgas y el incremento de contenido de lípidos



por día, por esta razón, obtuvieron 47% de lípidos de la célula seca de la microalga. Del mismo modo, en el estudio de Xue et al. (2018) lograron conseguir un mayor crecimiento celular de la microalga *Chlorella vulgaris* en 12 días. Al utilizar la mayor concentración del medio de cultivo, lograron obtener 62.1% de contenido de lípidos. De igual forma, Moradi et al. (2017) consiguieron un crecimiento celular alto en 9 días. Lo común que se determinó en las investigaciones fue el sistema de cultivo, ya que en ambas optaron por el medio BG11 con aguas residuales de encurtidos y además ambos realizaron varios ensayos para comparar el contenido de lípidos, en las cuales obtuvieron mayor contenido al utilizar mayor concentración del medio de cultivo, porque favorecieron al crecimiento de las microalgas. Por otro lado, Saeedi y Pirouzfard (2018) consiguieron un menor crecimiento de microalgas en 5 días, debido a que utilizaron matraces de erlenmeyer con capacidad de 500 ml que solo pudo contener 200 ml del medio de cultivo.

En cuanto al perfil de ácidos grasos, Fu et al. (2017) obtuvieron un total de 99.01% en ácidos grasos en el segundo ensayo, los ácidos más representativos fueron el ácido palmítico (47.08%), ácido esteárico (3.82%), ácido palmitoleico (1.22%), ácido oleico (11.86%), ácido linoleico (18.07%) y ácido linolénico (16.96%), en comparación con el primer ensayo que solo obtuvieron 98.92% del total de ácidos grasos. De igual forma, Mondal et al. (2017) mencionaron la importancia de la caracterización de ácidos grasos (FAME) para la obtención de biodiesel de alta calidad, en su estudio utilizaron la especie *Chlorella sorokiniana*, el ácido palmítico ( $37,20 \pm 2,1\%$ ), ácido hexadecadienoico ( $21,5 \pm 2\%$ ) y ácido linoleico ( $45,75 \pm 0,9\%$ ) fueron predominantes en el segundo ensayo, mientras que el ácido palmítico ( $27,3 \pm 1,5\%$ ), ácido hexadecatetraenoico ( $15,1 \pm 0,6\%$ ) y ácido eicosatrienoico ( $45,7 \pm 1,3\%$ ) sobresalieron en el primer ensayo, logrando conseguir menor cantidad de lípidos. Qiu et al. (2017) obtuvieron resultados similares y de esta forma indicaron que el biodiésel producido a partir de las microalgas con mayor cantidad de lípidos predomina con componentes de ácidos grasos insaturados y se debe a su adaptación a bajas temperaturas y baja intensidad lumínica, es decir, las condiciones de crecimiento de las microalgas también son factores principales que intervienen es el proceso de obtención del biodiesel. Por otro lado, Pandey et al. (2019) indicaron que el aumento de los ácidos grasos depende solo del origen lipídico y la cantidad del medio de cultivo, los datos

que obtuvieron del FAME con *Chlorella vulgaris* fue de 177.3% y con *Chlorella sorokiniana* de 92.3 % con abundancia de perfil de ácidos grasos y con una longitud de cadena de carbono de C16 y C18. Asimismo, Cui et al. (2017) representaron la mayor parte del carbono longitudinal de cadena entre C16 y C18, sus componentes fueron ácido palmítico (28,9%), ácido palmitoleico (25.2%), ácido oleico (5.8%) y ácido esteárico (0.7%) para el ensayo con mayor origen lipídico y mayor concentración del medio de cultivo, obteniendo un total de 22.8% de ácidos grasos, en comparación con el segundo ensayo, donde solo consiguieron adquirir 20.2%. Los ácidos grasos de todos los ensayos, independientemente de las condiciones empleadas para el crecimiento de las microalgas, mejoraron cuando la concentración del medio de cultivo era mayor, presentando un incremento en la productividad de biomasa y contenido de lípidos. En términos de biomasa, la tasa máxima de productividad fue 800 mg/L-d y en lípidos la tasa máxima de contenido lipídico fue de 51.7% en 26 y 16 días, respectivamente.

## VI. CONCLUSIONES

Las 18 investigaciones seleccionadas mediante la revisión sistemática, señalaron que el género *Chlorella* es eficiente en la producción de biodiesel por su rapidez al producir biomasa. Por otro lado, las especies más utilizadas fueron *Chlorella sorokiniana*, *Chlorella minutissima* y *Chlorella vulgaris* por sus altos contenidos de ácidos grasos poli-insaturados. Entre los resultados más relevantes se tiene:

1. Se describió las condiciones del medio de cultivo empleados en el género *Chlorella* para la producción de biodiesel, siendo la temperatura, pH, intensidad lumínica y tiempo como los parámetros esenciales para el crecimiento de las microalgas. Además, las 18 investigaciones trabajaron con una temperatura promedio de 26 °C, pH de 7.4 y 102.04  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  en intensidad lumínica.
2. Las 18 investigaciones analizaron la producción del biodiesel en función a la productividad de biomasa y el contenido de lípidos del género *Chlorella*. Los valores máximos en productividad de biomasa y contenido de lípidos fueron obtenidos con el medio de cultivo DWW (Aguas residuales), siendo 800 mg/L en productividad de biomasa y 51.7% en contenido de lípidos.
3. El éster metílico de ácido graso (FAME) más resaltante fue el ácido palmítico (C16:0) porque presentó un porcentaje mayor a 6% en la extracción de los lípidos. Asimismo, se determinó que el porcentaje de ácidos grasos aumenta conforme la concentración del medio de cultivo es mayor. También se determinó que el contenido máximo de ácidos grasos totales fue de 99.01% para una concentración de medio de cultivo de 105mg/L.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Realizar revisiones sistemáticas y meta-análisis sobre la producción de biodiesel con otro género, y enfocarse en un medio de cultivo en específico.
- Analizar investigaciones teniendo en cuenta la calidad del biodiesel según las normas internacionales.
- Utilizar una escala de calidad de estudios que mejor se adapte a la investigación.
- Aplicar la búsqueda de información para diferentes bases de datos.

## REFERENCIAS

AGUDELO V., et al. Diseños de investigación experimental y no-experimental. Metodología de la investigación social [en línea]. 2008, 7 (18) [fecha de consulta 19 abril 2021]. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ceo/article/view/6545>

AGUA, J., Pereira, R. y Marinho, F. Preparación y Caracterización Física del Biocombustible Sólido del Lirio Acuático (*Eichhornia crassipes*). Información Tecnológica [en línea]. 2015, 26(3), 53–62 1164 [fecha de consulta 27 de junio de 2021].

DOI:10.4067/s0718-07642015000300009

AHMAD, M., et al. Applications of microalga *Chlorella vulgaris* in aquaculture. Reviews in Aquaculture [en línea] 2020, 12(1), 328-346. [fecha de consulta 19 setiembre 2021]. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12320>

ALBARRACÍN, I. La producción de Biocombustibles con eficiencia, estabilidad y equidad. Xv Simposio Electronico Internacional [en línea] 2007 1–7 [fecha de consulta 05 mayo 2021]. Disponible en:

[http://www.ceid.edu.ar/biblioteca/biocombustibles/isabel\\_albarracin\\_microalgas\\_productoras.pdf](http://www.ceid.edu.ar/biblioteca/biocombustibles/isabel_albarracin_microalgas_productoras.pdf)

A. Aeropuertos Argentina 2000 y Corporación América Airports se suman a los Líderes de Cielos Limpios [en línea]. El Economista, 2021. [fecha de consulta 15 de junio de 2021].

Disponible en <https://eleconomista.com.ar/negocios/aeropuertos-argentina-2000-corporacion-america-airports-suman-lideres-cielos-limpios-n48010>

ALFONSO, I. Técnicas de investigación bibliográfica [en línea]. Venezuela: Contexto Editores, 1994. [fecha de consulta 03 de noviembre de 2021] Disponible en <https://isbn.cloud/9789806014138/tecnicas-de-investigacion-bibliografica/ISSN978-980-6014-13-8>

AMARO, H., Guedes, A. y Malcata, F. Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel. Applied Energy [en línea]. 2011, 88(10), 3402–3410 [fecha de consulta 20 abril 2021].

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.12.014>

ARGUELLES M. y Martinez R. Lipid accumulation and profiling in microalgae *Chlorobion* sp. (BIOTECH 4031) and *Chlorella* sp. (BIOTECH 4026) during nitrogen starvation for biodiesel production. Journal of Applied Phycology [en línea]. 2021, vol 33 [fecha de consulta 4 de noviembre de 2021].

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02126-z>

ARIAS, M., Martínez, A. y Cañizares, R. Production from Microalgae: Cultivation Parameters that Affect Lipid Production. In Acta biol. Colomb [en línea]. 2013,18(1), 43-68 [fecha de consulta 15 abril 2021]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120548X201300010004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120548X201300010004)

ARIAS, J., et al. El protocolo de investigación III: la población de estudio. Revista Alergia México [en línea]. 2016, 63(2), 201-206 [fecha de Consulta 21 de junio de 2021]. ISSN: 0002-5151. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>

ARIF, M., et al. A complete characterization of microalgal biomass through FTIR/TGA/CHNS analysis: An approach for biofuel generation and nutrients removal. Renewable Energy [en línea]. 2020 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].  
DOI: 10.1016/j.renene.2020.10.066

ARORA, N., et al. Utilization of stagnant non-potable pond water for cultivating oleaginous microalga *Chlorella minutissima* for biodiesel production. Renewable Energy [en línea]. 2018, 126, 30–37. [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].  
DOI: 10.1016/j.renene.2018.03.033

ASADI, P., et al. Lipid and biodiesel production by cultivation isolated strain *Chlorella sorokiniana* pa.91 and *Chlorella vulgaris* in dairy wastewater treatment plant effluents. Journal of Environmental Health Science and Engineering. [en línea]. 2020 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].  
DOI:10.1007/s40201-020-00483-y

ASTOCONDOR, M., et al. Crecimiento poblacional y productividad de la microalga nativa *Chlorella* peruviana bajo diferentes salinidades. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú [en línea] 2017, 28(4) ,1609–9117. [fecha de consulta 19 setiembre 2021].  
Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1609-91172017000400023](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172017000400023)

BÁDENAS, B.; Aurell, M. Arrecifes de coral y concentración de dióxido de carbono: un ejemplo en la didáctica sobre cambio climático. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra [en línea]. 1999, vol. 7, no 1, p. 21-28. [fecha de consulta 05 mayo 2021].  
Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=234773>

BAUER, G., et al. Biodiesel via in Situ Wet Microalgae Biotransformation: Zwitter-Type Ionic Liquid Supported Extraction and Transesterification. ACS Sustainable Chemistry and Engineering [en línea]. 2017, 5(2), 1931–1937 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021]  
DOI:10.1021/acssuschemeng.6b02665

BELTRAN, J., et al. Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del pH, nutrientes (C, N y P) y enriquecimiento con CO<sub>2</sub>. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* [en línea]. 2017, 52(3) [fecha de consulta 4 de noviembre de 2021].

Disponible en <https://scielo.conicyt.cl/pdf/revbiolmar/v52n3/art01.pdf>

BHARTE, S. y Desal, K. The enhanced lipid productivity of *Chlorella minutissima* and *Chlorella pyrenoidosa* by carbon coupling nitrogen manipulation for biodiesel production. *Environmental Science and Pollution Research International* [en línea]. 2019, 26(4), 35-57. [fecha de consulta 4 de noviembre de 2021].

ISSN 09441344

DOI:10.1007/s11356-018-3757-5

BOJÒRQUEZ, J. Utilización del alfa de Cronbach para validar la confiabilidad de un instrumento de medición de satisfacción del estudiante en el uso del software Minitab. *Innovation in Engineering* [en línea]. 2013, 1-2. [fecha de consulta 08 setiembre 2021]. Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP065.pdf>

BOROWITZKA, M. Biology of Microalgae. En *Microalgae in Health and Disease Prevention*. *Biology of Microalgae* [en línea] 2018, 23-72. [fecha de consulta 19 setiembre 2021].

DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811405-6.00003-7>

BOTELLA, J.; Zamora, Á. El meta-análisis: una metodología para la investigación en educación. *Educación XXI: revista de la Facultad de Educación* [en línea]. 2017, 20(2), 17-38. [fecha de consulta 08 junio 2021].

DOI:10.5944/educxx1.19030

BOLOORI, A. y Farahani, R. Facility location dynamics: An overview of classifications and applications. *Computers & Industrial Engineering* [en línea]. 2012, 62(1), 408–420.

DOI: 10.1016/j.cie.2011.09.018

BRAVO, V; Cardenas, G y De boeck, G. Microalga un cultivo promisorio para la producción de biodiesel. *Revista EEAOC* [en línea]. 2012, vol 33, nº 4 [fecha de consulta 4 de noviembre de 2021].

Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=numeros-anteriores-2>

BRENNAN, L. y Owende, P. Biofuels from microalgae—a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and coproducts. *Renewable and sustainable energy reviews* [en línea]. 2010, 14 (2), 557-577. [fecha de consulta 19 abril 2021].

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.009>

CHANDRA, R., et al. An approach for dairy wastewater remediation using a mixture of microalgae and biodiesel production for sustainable transportation. *Journal of Environmental Management* [en línea]. 2021, 297, 113-210 [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021].

Doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113210

CHEAH, W., et al. Waste to energy: the effects of *Pseudomonas* sp. on *Chlorella sorokiniana* biomass and lipid productions in palm oil mill effluent. *Clean Technologies and Environmental Policy* [en línea]. 2018. [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].

DOI: 10.1007/s10098-018-1505-7

CHEN, C., et al. Enhancing microalgal oil/lipid production from *Chlorella sorokiniana* CY1 using deep-sea water supplemented cultivation medium. *Biochemical Engineering*. [en línea]. 2013, 77,74–81. [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021]

DOI: 10.1016/j.bej.2013.05.009

CORDERO, Z. La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista educación* [en línea]. 2009, 33 (1), 155-165. [fecha de consulta 29 mayo 2021].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>

CORTÉS, M.; Mahecha, H. y Carrasco, S. Biocombustibles y autosuficiencia energética. *Dyna* [en línea]. 2009, 76(158), 101-110. [fecha de consulta 29 mayo 2021].

Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/10250>

CUI, H., et al. Two-stage mixotrophic cultivation for enhancing the biomass and lipid productivity of *Chlorella vulgaris*. *AMB Express* [en línea] 2017, 7(1). [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].

DOI:10.1186/s13568-017-0488-9

DÍAZ, L., et al. *Chlorella* como endosimbionte, importancia, características y filogenia. Bogotá: Universidad de los Andes, 2020. 39 [fecha de consulta 19 de setiembre de 2021]

DINESHKUMAR, R., Chauhan, A. y Sen, R. Optimal and strategic delivery of CO<sub>2</sub> for *Chlorella minutissima*-mediated valorization of domestic wastewater with concomitant production of biomass and biofuel. *Sustainable Energy Fuels* [en línea]. 2020, 4, 6321–6329. [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021].

DOI: <http://doi.org/10.1039/d0se00296h>

FAL, S., et al. Microalgae as promising source for integrated wastewater treatment and biodiesel production. *International Journal of Phytoremediation* [en línea]. 2021, 1–13. [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].

DOI:10.1080/15226514.2021.1920572



FERNÁNDEZ, J. Energía de la biomasa. Energías renovables para el desarrollo. Thomson-Paraninfo [en línea]. 2003. [fecha de consulta 26 mayo 2021]. Disponible en:

<http://media1.webgarden.es/files/media1:4befe685c2de5.pdf.upl/E.Biomassa.pdf>

FERNÁNDEZ, P. Acerca de los enfoques cuantitativo y cualitativo en la investigación educativa cubana actual | Atenas. Revista Científico Pedagógica «Atenas» Sección [en línea]. 2016, 2(34) [fecha de consulta 27 de junio de 2021].

Disponible en <http://atenas.umcc.cu/index.php/atenas/article/view/194>

FRUMENTO, D., et al. Cultivation of *Chlorella vulgaris* in tubular photobioreactors: A lipid source for biodiesel production. *Biochemical Engineering Journal* [en línea]. 2013 81, 120–125 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].

DOI: 10.1016/j.bej.2013.10.011

FU, L., et al. Excessive phosphorus enhances *Chlorella regularis* lipid production under nitrogen starvation stress during glucose heterotrophic cultivation, *Chemical Engineering Journal* [en línea]. 2017, 330, 566–572. [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021]

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.07.182>

GAMIO, P. Energía: un cambio necesario en el Perú. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente* [en línea]. 2017, 1, 93–135. [fecha de consulta 18 abril 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201701.004>

GANDÓN, José; Torres, Y. y García, M. Caracterización de un biocombustible obtenido a partir de aceite vegetal de desecho. *Tecnología Química* [en línea] 2017, 37(2), 236-248. [fecha de consulta 17 mayo 2021]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/10250>

GARCÍA, R., et al. Principios de Biotecnología y Bioingeniería en el cultivo de microalgas: importancia, problemas tecnológicos, tipos y sistemas de cultivos, crecimiento, factores limitantes, selección, aislamiento, escalado y caracterización bioquímica. *Universidad Católica de Valencia* [en línea]. 2017. [fecha de consulta 4 de noviembre de 2021].

ISSN 1888-8550

Doi 10.1007/s11356-018-3757-5

GARZÓN, L., et al. Bioprospección de microalgas colombianas para la producción de biodiesel. *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural* [en línea]. 2018 [fecha de consulta 15 de junio de 2021].

Disponible en <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/19879>

GEBREMARIAM, S. y Marchetti, J. Economics of biodiesel production: Review. *Energy Conversion and Management* [en línea] 2018, 168 (2). 74–84 [fecha de consulta 19 abril 2021].

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.002>

GIRALDO, M., Vacca, R. y Urrego, A. Las Energías Alternativas ¿Una Oportunidad Para Colombia? *Punto de Vista* [en línea]. 2018, 9 (13) [fecha de consulta 26 mayo 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.15765/pdv.v9i13.1117>

GIRIDHAR, A., et al. Cultivation of an indigenous *Chlorella sorokiniana* with phytohormones for biomass and lipid production under N-limitation. *Algal Research* [en línea]. 2017, .23. [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021].

DOI: 10.1016/j.algal.2017.02.004

HUANG, G., et al. Biodiesel production by microalgal biotechnology. *Applied Energy* [en línea] 2010, 87(1), 38–46 [fecha de consulta 26 mayo 2021].

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.016>

INFANTE, C., et al. Propagación de la microalga *Chlorella* sp. en cultivo por lote: cinética del crecimiento celular. *Avances en Ciencias e Ingeniería* [en línea] 2011, 3(2), 159-164 [ fecha de consulta 19 setiembre 2021].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323627686016.pdf>

INSTITUTO del Mar del Perú. Imarpe: Presenta resultados más sobresalientes de proyecto de microalgas andinas en MaratonALGAS 3era edición 2020 [en línea]. Gob.pe, 2021 [fecha de consulta 15 de junio de 2021].

Disponible en <https://www.gob.pe/institucion/imarpe/noticias/313195-imarpe-presenta-resultados-mas-sobresalientes-de-proyecto-de-microalgas-andinas-en-maratonalgas-3era-edicion-2020>

JAIN, P., et al. Pretreated algal bloom as a substantial nutrient source for microalgae cultivation for biodiesel production. *Bioresource Technology* [en línea].2017, 242. [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021]. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.03.156

KATIYAR, R., et al. An integrated approach for phycoremediation of municipal wastewater and production of sustainable transportation fuel using oleaginous *Chlorella* sp. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. 2021, 42 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].

DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102183

KHAN, S., et al. Prospects of biodiesel production from microalgae in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea] 2009, 13(9), 2361–2372 [fecha de consulta 19 abril 2021]

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.04.005>.

KLEIN, B., et al. Effect of light, CO<sub>2</sub> and nitrate concentration on *Chlorella vulgaris* growth and composition in a flat-plate photobioreactor. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* [en línea]. 2021 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021]. DOI: 10.1007/s43153-021-00100-x

KORINCHUK, D. y Snezhkin, Y. Simulation of the High-Temperature Drying of a Composite Mixture in an Air Drier for Production of a Biocombustible. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics* [en línea]. 2018, 91(5), 1155–1164 [fecha de consulta 27 de junio de 2021]. DOI:10.1007/s10891-018-1844-6

KOPETZ, H. Biocombustibles. *International Journal of Solar Energy* [en línea]. 1994, 15(1-4), 151–162 [fecha de consulta 27 de junio de 2021]. DOI:10.1080/01425919408909829

LAM, M. y Lee, K. Potential of using organic fertilizer to cultivate *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. *Applied Energy* [en línea]. 2012, 94, 303–308 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.01.075

LI, X.; Xu, H. y Wu, Q. Large-scale biodiesel production from microalga *Chlorella protothecoides* through heterotrophic cultivation in bioreactors. *Biotechnology and bioengineering* [en línea]. 2007, 98(4) [fecha de consulta 19 de setiembre de 2021] DOI: <https://doi.org/10.1002/bit.2148>

LIMOUSY, L., et al. Performance and emissions characteristics of compressed spent coffee ground/wood chip logs in a residential stove. *Energy for Sustainable Development* [en línea]. 2015, 28, 52–59 [fecha de consulta 27 de junio de 2021]. DOI: 10.1016/j.esd.2015.07.002

LOZADA, J. Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica* [en línea] 2014, 3 (1), 47-50 [fecha de consulta 19 abril 2021]. Disponible en: <http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/view/30>

MADHULIKA, S. y Wattal, D. Biotechnological Potentials of Microalgae: Past and Present Scenario. *Biotechnological Potentials of Microalgae: Past and Present Scenario* [en línea] 2014, 26 (2), 229–237. [fecha de consulta 19 setiembre 2021]. Disponible en: <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:vetos&volume=26&issue=2s&article=029>

MALLICK, N., et al. Green microalga *Chlorella vulgaris* as a potential feedstock for biodiesel. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* [en línea]. Vol. 87, 2012. [fecha de consulta 19 de setiembre de 2021]. DOI: <https://doi.org/10.1002/jctb.2694>

MANDAL, M. y Chaurasia, N. Molecular characterization of freshwater microalgae and nutritional exploration to enhance their lipid yield. 3 Biotech [en línea]. 2018, 8(5) [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].  
DOI: 10.1007/s13205-018-1248-5

MANZOOR, M., et al. Sugarcane bagasse as a novel low/no cost organic carbon source for growth of *Chlorella* sp. BR2. Biofuels [en línea]. 2019, 1–7 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].  
DOI:10.1080/17597269.2019.1580970

MARTÍNEZ, M., et al. Síntesis de lípidos de la microalga *Nannochloropsis oculata* para su uso potencial en la producción de biodiésel. Revista Internacional de Contaminación Ambiental [en línea] 2017, 33(1),1–398 [fecha de consulta 26 mayo 2021]. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp02.08>

MIRANDA, I.; García, D. y Rodríguez, M. Meta-análisis de las estrategias para el manejo de *Cosmopolitis sordidus* Guermer en *Musa* spp. Revista de Protección Vegetal [en línea]. 2019, 34(2). [fecha de consulta 29 mayo 2021].  
Disponible en:  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S101027522019000200003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S101027522019000200003)

MITIGAR la crisis climática y evitar la inseguridad alimentaria [en línea]. Noticias ONU, 2021 [fecha de consulta 15 junio de de 2021].  
Disponible en <https://news.un.org/es/story/2021/06/1492842>

MOHAMMADI, F., Daryush, A. y Rassoul, K. Investigation of effective parameters on biomass and lipid productivity of *Chlorella vulgaris*. Periodicum Biologorum [en línea]. 2016, 118(2), 123-129 [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021].  
DOI: 10.18054/pb.2016.118.2.3197

MONDAL, M., et al. Influence of carbon sources and light intensity on biomass and lipid production of *Chlorella sorokiniana* BTA 9031 isolated from coalfield under various nutritional modes. Energy Conversion and Management [en línea]. 2017, 145, 247–254 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].  
DOI: 10.1016/j.enconman.2017.05.001

MONTHIEU, C. Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel. [en línea]. Tesis doctoral. Universidad Pontificia Comillas, 2010. [fecha de consulta 05 mayo 2021]. Disponible en: <https://cmappspublic2.ihmc.us/rid=1JJRWLP4L-1LV4SSLXHB/extracci%C3%B3n%20lipidos%20en%20microalgas.pdf>

MORADI, N., Ahmadzadeh, H. y Hosseini, M. Use of solvent mixtures for total lipid extraction of *Chlorella vulgaris* and gas chromatography FAME analysis. Bioprocess and Biosystems Engineering [en línea] 2017, 40(9), 1363–1373 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021]. DOI: 10.1007/s00449-017-1794-y

MORENO, B., et al. Revisiones Sistemáticas: definición y nociones básicas. *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral* [en línea] 2018, 11(3), 184-186. [fecha de consulta 26 mayo 2021]. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0719-01072018000300184](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-01072018000300184)

MUTANDA, T., et al. Bioprospecting for hyper-lipid producing microalgal strains for sustainable biofuel production. *Bioresource Technology* [en línea]. 2011, 102(1), 57–70 [fecha de consulta 05 mayo 2021].  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.077>

OCROSPOMA, D. Situación y perspectivas de los biocombustibles en el Perú. [en línea]. pp. 109 [fecha de consulta 16 mayo 2021]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books/about/Situaci%C3%B3n\\_y\\_perspectivas\\_de\\_los\\_biocomb.html?id=SDJUzQEACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Situaci%C3%B3n_y_perspectivas_de_los_biocomb.html?id=SDJUzQEACAAJ&redir_esc=y)

ORDUZ, D. Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones: Una revisión bibliográfica. In *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*. [en línea]. Tesis para el grado de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2016. [fecha de consulta 05 mayo 2021]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/12170/91541023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

OLIVEIRA, I., et al. Characterization of *Cynara cardunculus* L. stalks and their suitability for biogas production. *Industrial Crops and Products* [en línea]. 2012, 40, 318–323 [fecha de consulta 27 de junio de 2021].  
DOI: [10.1016/j.indcrop.2012.03.029](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.03.029)

OTZEN, T. y Manterola, C. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology* [en línea]. 2017, 35(1), 227–232 [fecha de consulta 27 de junio de 2021]. DOI: [10.4067/s0717-95022017000100037](https://doi.org/10.4067/s0717-95022017000100037)

PANDEY, M., et al. Bioprospecting microalgae from natural algal bloom for sustainable biomass and biodiesel production. *Applied Microbiology and Biotechnology* [en línea]. 2019, 103, 5447–5458 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021]  
DOI: [10.1007/s00253-019-09856-2](https://doi.org/10.1007/s00253-019-09856-2)

PAREJA, P., et al. Estudio sobre la situación de los Biocombustibles en el Perú [en línea]. 2008. [fecha de consulta 16 junio 2021]. Disponible en: [https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/ITDG/Situacion\\_de\\_los\\_biocombustibles\\_en\\_el\\_Peru\\_ITDG.pdf](https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/ITDG/Situacion_de_los_biocombustibles_en_el_Peru_ITDG.pdf)

PROLA, L. Comparison of *Jatropha curcas* shells in natural form and treated by non-thermal plasma as biosorbents for removal of Reactive Red 120 textile dye from aqueous solution. *Industrial Crops and Products* [en línea]. 2013, 46, 328–340 [fecha de consulta 27 de junio de 2021]. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.02.018

QIU, R., et al. Effects of pH on cell growth, lipid production and CO<sub>2</sub> addition of microalgae *Chlorella sorokiniana*. *Algal Research* [en línea]. 2017, 28, 192–199 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021]. DOI: 10.1016/j.algal.2017.11.004

RAJANREN, J. y Ismail, H. Investigation of *Chlorella vulgaris* microalgae as a source for renewable fuel. *Biofuels* [en línea]. 2016, 8(1), 37–47 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021]. DOI:10.1080/17597269.2016.1200861

RAMOS, F.; Díaz, M. y Villar, M. Biocombustibles. *Ciencia hoy* [en línea]. 2016, 7 (6) 69–73 [fecha de consulta 16 mayo 2021]. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/25791>

REYNA, R., et al. Lipid Production by Pure and Mixed Cultures of *Chlorella pyrenoidosa* and *Rhodotorula mucilaginosa* Isolated in Nuevo Leon, Mexico. *Applied Biochemistry and Biotechnology* [en línea]. 2014, 175(1), 354–359. [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021]. DOI:10.1007/s12010-014-1275-6

RODRÍGUEZ, N. y Herrera, C. Validación y confiabilidad de un instrumento de medición para carreras de ingeniería. *Revista Electrónica Iberoamericana de Educación en Ciencias y Tecnología* [en línea]. 2010, 2 (1), 2-3 [fecha de consulta 08 setiembre 2021]. Disponible en: <http://www.exactas.unca.edu.ar/riecyt/VOL%202%20NUM%201/Archivos%20Digitales/Doc%20RIECyT%20V2-1-6.pdf>

RODRÍGUEZ, P., et al. Biomass production from *Chlorella vulgaris* microalgae in bubble column photo-bioreactors. *Mecanización y Transporte* [en línea] 2015, 1-5. [fecha de consulta 19 setiembre 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/305721523\\_](https://www.researchgate.net/publication/305721523_)

ROMERAL, J., et al. Principios de Biotecnología y Bioingeniería en el cultivo de microalgas: importancia, problemas tecnológicos, tipos y sistemas de cultivos, crecimiento, factores limitantes, selección, aislamiento, escalado y caracterización bioquímica. *Nereis. Revista Iberoamericana Interdisciplinaria de Métodos, Modelización y Simulación* [en línea]. 2017 [fecha de consulta 4 de noviembre de 2021] Disponible en: <https://108.128.142.30/bitstream/handle/20.500.12466/234/10.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RUIZ, M., et al. Inducción de la producción de lípidos totales en microalgas sometidas a estrés nutritivo. *Acta Biológica Colombiana* [en línea]. 2016, 21 (1), 17-26. [fecha de consulta 19 abril 2021].  
DOI: <https://doi.org/10.15446/abc.v21n1.47439>

SAEEDI, A. y Pirouzfard, V. Investigation on the Effect of Microalgae *Chlorella* sp. and *Spirulina* on Biodiesel Production. *Petroleum Chemistry* [en línea]. 2018, 58(8), 702–708 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].  
DOI:10.1134/s0965544118080042

SÁNCHEZ, D., et al. Effect of nitrate on lipid production by *T. suecica*, *M. contortum*, and *C. minutissima*. *Open Life Sciences* [en línea]. 2013, 8(6). [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021].  
DOI: 10.2478/s11535-013-0173-6

SANCHEZ, F., y Orrego, R. Tablero de Comando para la promoción de Biocombustibles en el Perú. *Journal of Chemical Information and Modeling* [en línea] 2007, 53 (9), 1689–1699. [fecha de consulta 19 abril 2021]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3586-tablero-comando-la-promocionbiocombustibles-peru>

SHALABY, E., et al. Enhancement of biodiesel production from different species of algae. *Grasas y Aceites* [en línea]. 2010, 61(4), 416–422.  
DOI:10.3989/gya.021610

SHANMUGAM, S., et al. Cell density, lipidomic profile, and fatty acid characterization as selection criteria in bioprospecting of microalgae and cyanobacterium for biodiesel production. *Bioresource Technology* [en línea]. 2020 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].  
DOI: 10.1016/j.biortech.2020.123061

SINHA, S., et al. Production of biodiesel from freshwater microalgae and evaluation of fuel properties based on fatty acid methyl ester profile. *Biofuels* [en línea]. 2016, 7(1), 69–78. [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].  
DOI:10.1080/17597269.2015.1118781

SIRAKOV, I., et al. The importance of microalgae for aquaculture industry. Review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* [en línea]. 2015, 2(4) [fecha de consulta 19 de setiembre de 2021].

TAN, X.-B., et al. Lipids production and nutrients recycling by microalgae mixotrophic culture in anaerobic digestate of sludge using wasted organics as carbon source. *Bioresource Technology* [en línea]. 2019, 297. [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021].  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122379>

TANCARA, C. La investigación documental. *Temas Sociales* [en línea]. 1993, 17 [fecha de consulta 03 de noviembre de 2021]. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0040-29151993000100008&lng=es&nrm=isoISSN 0040-2915](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0040-29151993000100008&lng=es&nrm=isoISSN 0040-2915).

TANG, H., et al. Culture of microalgae *Chlorella minutissima* for biodiesel feedstock production. *Biotechnology and Bioengineering* [en línea]. 2011, 108(10) [fecha de consulta 19 de setiembre de 2021].  
DOI: <https://doi.org/10.1002/bit.23160>

TEKIN, N., et al. Enhanced lipid accumulation of *Chlorella vulgaris* with agricultural waste under optimized photoheterotrophic conditions. *Biomass Conv. Bioref.* [en línea]. 2021. [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021].  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01793-3>

VEGA, G., et al. Paradigmas en la investigación. Enfoque cuantitativo y cualitativo. *CORE Reader* [en línea]. 2014, 10(15) [fecha de consulta 27 de junio de 2021].  
Disponible en <https://core.ac.uk/reader/236413540>

WAN, L., et al. Nutrient removal from pickle industry wastewater by cultivation of *Chlorella pyrenoidosa* for lipids production. *Water Science and Technology* [en línea]. 2019, 217. [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021].  
DOI 10.2166/wst.2019.217

XIN, L., et al. Effects of different nitrogen and phosphorus concentrations on the growth, nutrient uptake, and lipid accumulation of a freshwater microalgae *Scenedesmus* sp. *Bioresource Technology*. [en línea]. 2010, 101 [fecha de consulta 4 de noviembre de 2021].  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.016>

XUE, L., et al. Analysis of growth and lipid production characteristics of *Chlorella vulgaris* in artificially constructed consortia with symbiotic bacteria. *Journal of Basic Microbiology* [en línea]. 2018, 58(4), 358–367 [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].  
DOI: [10.1002/jobm.201700594](https://doi.org/10.1002/jobm.201700594)

YAMAMOTO, M., et al. Regeneration and maturation of daughter cell walls in the autospore-forming green alga *Chlorella vulgaris* (Chlorophyta, Trebouxiophyceae). *Journal of Plant Research* [en línea]. 2004, 117(4) [fecha de consulta 19 de setiembre de 2021]  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10265-004-0154-6>



ZHANG, K., et al. Effect of photoautotrophic and heteroautotrophic conditions on growth and lipid production in *Chlorella vulgaris* cultured in industrial wastewater with the yeast *Rhodotorula glutinis*. *Journal of Applied Phycology* [en línea]. 2017, 29(6), 2783–2788. [Fecha de consulta 11 de noviembre de 2021].  
DOI:10.1007/s10811-017-1168-5

ZHANG, L., et al. Salinity-induced cellular cross-talk in carbon partitioning reveals starch-to-lipid biosynthesis switching in low-starch freshwater algae. *Bioresource Technology* [en línea]. 2017, 250, 449–456. [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021].  
DOI <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.067>

ZHU, L., et al. Effects of nitrogen source heterogeneity on nutrient removal and biodiesel production of mono- and mix-cultured microalgae. *Energy Conversion and Management*. [en línea]. 2019, 201 [Fecha de consulta 05 de octubre de 2021].  
DOI: 10.1016/j.enconman.2019.112144

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables


		Título: Producción de biodiesel utilizando el género <i>Chlorella</i> : Revisión sistemática y meta-análisis				
		Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Unidad /Escala
Variable Independiente	Género <i>Chlorella</i>	Las microalgas <i>Chlorella</i> son microorganismos celulares de la clase <i>Trebouxiophyceae</i> . Tienen un alto contenido de lípidos, una prominente eficacia fotosintética y la disposición de desarrollarse en aguas dulces, como lagos, humedales, arroyos, estanques, y hasta en el suelo (Castillo et al., 2017).	En la investigación se realizó una revisión sistemática, considerando la especie utilizada y las condiciones de crecimiento que requieren las microalgas para la producción de biodiesel.	Medio de cultivo	Concentración	mg/L
					pH	-
					Temperatura	C°
					Intensidad lumínica	μmol/m <sup>2</sup> /s
					Tiempo	Días
Variable Dependiente	Producción de biodiesel	El biodiesel es un combustible oleaginoso renovable procedente de grasas de animales o aceites vegetales que está compuesto por una sucesión larga de ácidos grasos y se produce principalmente por materia prima como las microalgas (Tequén, 2017)	Para la generación de biodiesel se tuvo en cuenta la productividad de biomasa y el contenido de lípidos que producen las microalgas, asimismo, las características del biodiesel (FAME)	Biomasa y lípidos	Productividad de biomasa	mg/L-d
					Contenido de lípidos	%
				Perfiles ácidos grasos (FAME)	Ácido palmítico	%
					Ácido esteárico	%
					Ácido palmitoleico	%
					Ácido oleico	%
					Ácido linoleico	%
Ácido linolénico	%					

## Anexo 2. Instrumentos de validación

Ficha 1. Características de los estudios seleccionados en la revisión sistemática					
<b>Título</b>		Producción de biodiesel utilizando el género <i>Chlorella</i> : Revisión sistemática y meta-análisis			
<b>Línea de investigación</b>		Calidad y gestión de los recursos naturales			
<b>Responsables</b>		Damián De la Sota, Megan Ibeta			
		Vasquez Quispe, Karen Imelda			
<b>Asesor</b>		Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto			
N°	Especie	Resultados	Observaciones	Ámbito geográfico	Referencia (Autor/Año)

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275

  
**Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar**  
 CIP N° 25450


  
 Firmado digitalmente  
 por Freddy Pillpa Aliaga  
 Nombre de  
 reconocimiento (DN):  
 cn=Freddy Pillpa Aliaga,  
 o=Colegio de Ingenieros  
 del Perú, ou=CIP 196897,  
 email=fpillpaa@gmail.co  
 m, c=PE  
 Fecha: 2021.09.22  
 16:56:18 -05'00'

**Ficha 2. Cantidad de biodiesel obtenido por el género *Chlorella***

<b>Título</b>	Producción de biodiesel utilizando el género <i>Chlorella</i> : Revisión sistemática y meta-análisis						
<b>Línea de investigación</b>	Calidad y gestión de los recursos naturales						
<b>Responsables</b>	Damián De la Sota, Megan Ibeta						
	Vasquez Quispe, Karen Imelda						
<b>Asesor</b>	Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto						
N°	Especie	Medio de cultivo	Concentración del medio de cultivo (mg/L)		Contenido de biodiesel (%)		Referencia (Autor/Año)
			Análisis 1	Análisis 2	Análisis 1	Análisis 2	

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275


  
**Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar**  
 CIP N° 25450

  
 Firmado digitalmente  
 por Freddy Pillpa Aliaga  
 Nombre de  
 reconocimiento (DN):  
 cn=Freddy Pillpa Aliaga,  
 o=Colegio de Ingenieros  
 del Perú, ou=CIP 196897,  
 email=fpillpaa@gmail.co  
 m, c=PE  
 Fecha: 2021.09.22  
 16:56:18 -05'00'


Ficha 3. Crecimiento de la microalga									
Titulo		Producción de biodiesel utilizando el género <i>Chlorella</i> : Revisión sistemática y meta-análisis							
Línea de investigación		Calidad y gestión de los recursos naturales							
Responsables		Damián De la Sota, Megan Ibeta							
		Vasquez Quispe, Karen Imelda							
Asesor		Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto							
N°	Especie	Crecimiento de la microalga							Referencia (Autor/Año)
		Medio de cultivo	Concentración del medio de cultivo (mg/L)	pH	Cantidad de microalga (mg/L)	Temperatura (°C)	Intensidad luminica (μmol/m2/s)	Tiempo (Días)	

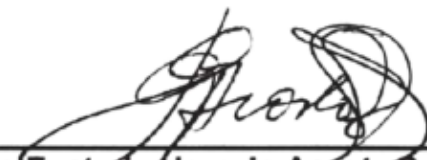
  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275


  
**Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar**  
 CIP N° 25450

  
 Firmado digitalmente por Freddy Pillpa Aliaga  
 Nombre de reconocimiento (DN):  
 cn=Freddy Pillpa Aliaga,  
 o=Colegio de Ingenieros del Perú, ou=CIP 196897,  
 email=fpillpaa@gmail.com, c=PE  
 Fecha: 2021.09.22 16:56:18 -05'00'

Ficha 4. FAME (éster metílico de ácido graso) del género <i>Chlorella</i>									
Título		Producción de biodiesel utilizando el género <i>Chlorella</i> : Revisión sistemática y meta-análisis							
Línea de investigación		Calidad y gestión de los recursos naturales							
Responsables		Damián De la Sota, Megan Ibeta							
		Vasquez Quispe, Karen Imelda							
Asesor		Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto							
N°	Especie	Medio de cultivo	FAME (éster metílico de ácido graso)						Referencia (Autor/Año)
			C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275

  
**Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar**  
 CIP N° 25450


  
 Firmado digitalmente  
 por Freddy Pillpa Aliaga  
 Nombre de  
 reconocimiento (DN):  
 cn=Freddy Pillpa Aliaga,  
 o=Colegio de Ingenieros  
 del Perú, ou=CIP 196897,  
 email=fpillpaa@gmail.co  
 m, c=PE  
 Fecha: 2021.09.22  
 16:56:18 -05'00'

**Ficha 5. Productividad de biomasa y contenido de lípidos respecto a la concentración del medio de cultivo**

<b>Título</b>	Producción de biodiesel utilizando el género <i>Chlorella</i> : Revisión sistemática y meta-análisis									
<b>Línea de investigación</b>	Calidad y gestión de los recursos naturales									
<b>Responsables</b>	Damián De la Sota, Megan Ibete									
	Vasquez Quispe, Karen Imelda									
<b>Asesor</b>	Dr. Castañeda Olivera, Carlos Alberto									
N°	Especie	Medio de cultivo	Cantidad de microalga (mg/L)	Concentración del medio de cultivo mg/L		Productividad de biomasa (mg/L-d)		Contenido de lípidos (%)		Referencia (Autor/Año)
				Análisis 1	Análisis 2	Análisis 1	Análisis2	Análisis 1	Análisis2	

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275

  
**Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**  
 CIP N° 25450

  
 Firmado digitalmente por Freddy Pillpa Aliaga  
 Nombre de reconocimiento (DN):  
 cn=Freddy Pillpa Aliaga, o=Colegio de Ingenieros del Perú, ou=CIP 196897, email=fpillpaa@gmail.com, c=PE  
 Fecha: 2021.09.22 16:56:18 -05'00'

## Anexo 3. Validación de instrumentos



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Características de los estudios seleccionados en la revisión sistemática**
- 1.5. Autoras del Instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibeta / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI

.

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 11 de junio del 2021

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130287  
 RENACYT: P0078275



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Cantidad de biodiesel obtenido por el género *Chlorella***
- 1.5. Autoras del instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibeté / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%
-----

Lima, 11 de junio del 2021

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Crecimiento de la microalga**
- 1.5. Autoras del Instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibeté / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI

-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%

Lima, 11 de junio del 2021


---

**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**IX. DATOS GENERALES**

- 9.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 9.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**  
 9.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**  
 9.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **FAME (éster metílico de ácido graso) del género *Chlorella***  
 9.5. Autoras del Instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibeta / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

**X. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

**XI. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:**

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

**XII. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

<b>90%</b>
------------

Lima, 11 de junio del 2021


---

**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130287  
 RENACYT: P0078275

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### XIII. DATOS GENERALES

- 13.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 13.2. Cargo e institución donde labora: **Docente e Investigador/UCV Campus Los Olivos**  
 13.3. Especialidad o línea de investigación: **Tecnología Mineral y Ambiental**  
 13.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Productividad de biomasa y contenido de lípidos respecto a la concentración del medio de cultivo**  
 13.5. Autoras del instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibeta / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

### XIV. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### XV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

### XVI. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

<b>90%</b>
------------

Lima, 11 de junio del 2021


---

**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 CIP: 130267  
 RENACYT: P0078275

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Características de los estudios seleccionados en la revisión sistemática**
- 1.5. Autoras del Instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibeto / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:**

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

90%
-----

Lima, 11 de junio del 2021


---

**Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar**  
**CIP. N° 25450**

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Cantidad de biodiesel obtenido por el género *Chlorella***
- 1.5. Autoras del Instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibeto / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:**

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

<b>90%</b>
------------

Lima, 11 de junio del 2021


---

**Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**  
**CIP N° 25450**

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Crecimiento de la microalga**
- 1.5. Autoras del Instrumento: **Damián De la Sota, Megan Iberta / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

90%
-----

Lima, 11 de junio del 2021

  
 \_\_\_\_\_  
**Dr. Eusebio Horacio Acosta Suasnabar**  
**CIP N° 25450**

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y ambiental**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **FAME (éster metílico de ácido graso) del género *Chlorella***
- 1.5. Autoras del Instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibete / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

<b>90%</b>
------------

Lima, 11 de junio del 2021

  
 \_\_\_\_\_  
**Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**  
**CIP N° 25450**



## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**  
 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente/UCV Campus Los Olivos**  
 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería química y ambiental**  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Productividad de biomasa y contenido de lípidos respecto a la concentración del medio de cultivo**  
 1.5. Autoras del Instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibete / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											X		

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:**


- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

90%
-----

Lima, 11 de junio del 2021



**Dr. Eusterio Horacio Acosta Suasnabar**  
**CIP N° 25450**

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Mg. Sc. Freddy Pilpa Allaga**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería agrónoma**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Características de los estudios seleccionados en la revisión sistemática**
- 1.5. Autoras del Instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibeto / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI

-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%



Firmado digitalmente por Freddy Pilpa Allaga  
 Nombre de reconocimiento (DN):  
 cn=Freddy Pilpa Allaga, o=Colegio de Ingenieros del Perú, ou=CIP 196897, email=fpilpa@gmail.com, c=PE  
 Fecha: 2021.09.22 16:56:18 -05'00'

Lima, 14 de junio del 2021

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Mg. Sc. Freddy Pilpa Allaga**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería agrónoma**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Cantidad de biodiesel obtenido por el género *Chlorella***
- 1.5. Autoras del instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibaté / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%
-----


 Firmado digitalmente por Freddy Pilpa Allaga  
 Nombre de reconocimiento (DN):  
 cn=Freddy Pilpa Allaga, o=Colegio de Ingenieros del Perú, ou=CP 196897, email=fpilpa@gmail.com, c=PE  
 Fecha: 2021.09.22 16:56:18 -0500'

Lima, 14 de junio del 2021

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Mg. Sc. Freddy Pilpa Allaga**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería agrónoma**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Crecimiento de la microalga**
- 1.5. Autoras del Instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibete / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.													X
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.													X
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.													X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.													X
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales													X
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.													X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.													X
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.													X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													X
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.													X


### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

<b>95%</b>
------------



Firmado digitalmente por Freddy Pilpa Allaga  
 Nombre de reconocimiento (DN):  
 cn=Freddy Pilpa Allaga, o=Colegio de Ingenieros del Perú, ou=CIP 196897, email=fpilpa@gmail.com, c=PE  
 Fecha: 2021.09.22 16:56:18 -05'00'

Lima, 14 de junio del 2021

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Mg. Sc. Freddy Pillpa Aliaga**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería agrónoma**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **FAME (éster metílico de ácido graso) del género *Chloralla***
- 1.5. Autoras del Instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibañez / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación


SI

-

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

95%

Lima, 14 de junio del 2021


 Firmado digitalmente por Freddy Pillpa Aliaga  
 Nombre de reconocimiento (DN):  
 cn=Freddy Pillpa Aliaga, o=Colegio de Ingenieros del Perú, ou=CP 196297, email=fpillpa@gmail.com, c=PE  
 Fecha: 2021.09.23 16:56:18 -05'00'

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

- 1.1. Apellidos y Nombres: **Mg. Sc. Freddy Pillpa Allaga**
- 1.2. Cargo e institución donde labora: **Docente /UCV Campus Los Olivos**
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: **Ingeniería agrónoma**
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: **Productividad de biomasa y contenido de lípidos respecto a la concentración del medio de cultivo**
- 1.5. Autoras del Instrumento: **Damián De la Sota, Megan Ibete / Vasquez Quispe, Karen Imelda**

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												X	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												X	


**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:**

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación

SI
-

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:**

95%
-----



Firmado digitalmente por Freddy Pillpa Allaga  
 Nombre de reconocimiento (DN):  
 cn=Freddy Pillpa Allaga, o=Colegio de Ingenieros del Perú, ou=CP 196897, email=felipuas@gmail.com, c=PE  
 Fecha: 2021.07.22 16:56:18 -05'00'

Lima, 14 de junio del 2021

#### Anexo 4. Escala de calidad Newcastle – Ottawa (Modificada)

ESCALA DE CALIDAD DE NEWCASTLE - OTTAWA (MODIFICADA)			
CATEGORIA	PREGUNTA	JUSTIFICACION	INDICADOR
SELECCIÓN	SELECCIÓN DE LA COHORTE EXPUESTA	Verdaderamente representativo a la producción de biodiesel a partir de las microalgas <i>Chlorella</i>	*
		Algo representativo a la producción de biodiesel a partir de las microalgas <i>Chlorella</i>	
		Mínima información de la producción de biodiesel a partir de las microalgas <i>Chlorella</i>	
		Ninguna descripción	
	SELECCIÓN DE LA COHORTE NO EXPUESTA	Extraído de la misma comunidad que la cohorte expuesta	*
		Extraído de una fuente diferente	
		Ninguna descripción de la derivación de la cohorte no expuesta	
	DEMOSTRACION DE QUE EL RESULTADO DE INTERES ESTABA AL PRINCIPIO DEL ESTUDIO	Si	*
No			
COMPARABILIDAD	COMPARABILIDAD DE CASOS Y CONTROLES EN BASE AL DISEÑO O ANALISIS	Controles de estudio para la identificación de microalgas <i>Chlorella</i>	*
		Controles de estudio para otros factores	
		Las cohortes no son importantes, en función al diseño o análisis controlados por factores de confusión	
RESULTADO	EVALUACION DEL RESULTADO	Evaluación de la calidad de biodiesel producido	*
		Tablas comparativas de la producción de biodiesel por diferentes microalgas	*
		Autoinformes (Fichas de registros)	
		Sin descripción	
	EL SEGUIMIENTO FUE LO SUFICIENTEMENTE LARGO PARA QUE OCURRIERAN LOS RESULTADOS	Si	*
		No	

	<b>ADECUACION DEL SEGUIMIENTO DE COHORTES</b>	Seguimiento completo (Evaluación de la calidad de biodiesel)	*
		Seguimiento intermedio (Cantidad de lípidos utilizados para la producción de biodiesel)	
		Seguimiento bajo (No muestra cantidad de lípidos utilizados para la producción de biodiesel)	
		Sin descripción	