



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN
DE BIODIÉSEL A PARTIR DE *CHLORELLA*
VULGARIS Y *SCENEDESMUS ACUTUS* EN LOS
ÚLTIMOS 10 AÑOS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autora:

Rayza Dayani Goicochea Quiroz

Asesor:

M.Sc. Marieta Eliana Cervantes Peralta

Cajamarca-Perú

2021

DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada primeramente a Dios por brindarme la fuerza y por guiarme en el transcurso de este estudio, a mi madre Francisca Quiroz Caballero, por ser mi fuerza e inculcarme valores haciendo de mí una mujer de bien, siendo la fuente de motivo infinita para lograr mis metas y a mis hermanos por ser ese apoyo incondicional y mi modelo a seguir.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios y a mi madre por darme la vida, y por ayudarme a tener un carácter de resiliencia y a mis Docentes de la Universidad por brindarme su conocimiento e inculcarme una cultura de investigación.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Objetivos	12
1.3.1. Objetivo general	12
1.3.2. Objetivos específicos	12
1.4. Hipótesis.....	13
1.4.1. Hipótesis general	13
1.4.2. Hipótesis específicas	13
1.5. Cuerpo teórico.....	13
1.5.1. Antecedentes del estudio.....	13
1.5.2. Marco teórico.....	16
1.6. Justificación.....	18
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	19
2.1. Tipo de investigación	19
2.2. Objeto de estudio	19
2.2.1. Criterios de selección del objeto de estudio	19
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	22

2.3.1. Técnica de recolección.....	22
2.3.2. Instrumento de análisis.....	22
2.3.3. Análisis de datos	22
2.3.4. Consideraciones éticas.....	23
2.4. Procedimiento.....	24
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	25
3.1. Estudio de la capacidad de producción de biodiésel a partir de <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus acutus</i>	25
3.2. Descripción del crecimiento microalgal en función de parámetros físicoquímicos.....	27
3.3. Descripción de la cantidad de biomasa lipídica de cada microalga.....	44
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	48
REFERENCIAS.....	58
ANEXOS.....	65
Anexo 1. Base de datos.....	65
Anexo 2. Matriz de consistencia.....	68
Anexo 3. Condiciones ambientales y físicoquímicas establecidas para el cultivo de microalgas <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus acutus</i>	70
Anexo 4. Crecimiento celular de <i>Chlorella vulgaris</i> , en relación con parámetros (pH, °C), medio y sistema de cultivo.....	71
Anexo 5. Tablas de datos usadas para la elaboración de gráficas con la Herramienta Forest Plot. ..	72
Anexo 6. Métodos de cosecha.....	76
Anexo 7. Métodos de extracción y determinación de contenido de lípidos.....	78
Anexo 8. Proceso de transesterificación según estudios seleccionados.....	79
Anexo 9. Resultados del análisis de plagios.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de <i>Chlorella vulgaris</i>	20
Tabla 2. Taxonomía de <i>Scenedesmus acutus</i>	21
Tabla 3. Obtención de biodiésel.	25
Tabla 4. Descripción del crecimiento celular de <i>Chlorella vulgaris</i>	27
Tabla 5. Crecimiento celular de <i>Chlorella vulgaris</i> en función a la temperatura	29
Tabla 6. Crecimiento celular de <i>Chlorella vulgaris</i> en función del pH	31
Tabla 7. Crecimiento celular de <i>Chlorella vulgaris</i> según el tipo de sistema de cultivo ..	32
Tabla 8. Crecimiento celular de <i>Chlorella vulgaris</i> según medio de cultivo.....	34
Tabla 9. Crecimiento celular de <i>Scenedesmus acutus</i> según su temperatura	36
Tabla 10. Crecimiento celular de <i>Scenedesmus acutus</i> según pH.....	37
Tabla 11. Crecimiento celular de <i>Scenedesmus acutus</i> según medio de cultivo.....	38
Tabla 12. Crecimiento celular de <i>Scenedesmus acutus</i> según tipo de medio de cultivo...	39
Tabla 13. Producción de biomasa seca de <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus acutus</i>	40
Tabla 14. Cantidad de biomasa seca de <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus acutus</i>	42
Tabla 15. Cantidad de biomasa seca de <i>Scenedesmus acutus</i> y <i>Chlorella vulgaris</i> según medio de cultivo.....	43
Tabla 16. Producción lipídica de <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus acutus</i>	44
Tabla 17. Relación de biomasa seca con producción lipídica de <i>Scenedesmus acutus</i> y <i>Chlorella vulgaris</i>	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista al microscopio de <i>Chlorella vulgaris</i>	20
Figura 2. Microfotografía con luz visible de <i>Scenedesmus acutus</i>	21
Figura 3. Metodología aplicada.....	23
Figura 4. Cantidad de biodiésel en función a la cantidad de lípidos.	26
Figura 5. Diagrama forest plot del crecimiento celular de <i>Chlorella vulgaris</i>	28
Figura 6. Diagrama forest plot del crecimiento celular de <i>Chlorella vulgaris</i> según temperatura.....	30
Figura 7. Diagrama forest plot crecimiento celular de <i>Chlorella vulgaris</i> en función del pH	32
Figura 8. Diagrama forest plot crecimiento de <i>Chlorella vulgaris</i> según tipo sistema	33
Figura 9. Diagrama forest plot del crecimiento de <i>Chlorella vulgaris</i> según su medio de cultivo.	35
Figura 10. Diagrama forest plot crecimiento celular de <i>Scenedesmus acutus</i> según su temperatura.....	36
Figura 11. Diagrama Forest Plot crecimiento celular de <i>Scenedesmus acutus</i> en función del pH.....	37
Figura 12. Crecimiento celular de <i>Scenedesmus acutus</i> según el tipo de sistema aplicado... ..	37
Figura 13. Crecimiento celular de <i>Scenedesmus acutus</i> según tipo de medio de cultivo.	39
Figura 14. Producción de biomasa seca de <i>Scenedesmus acutus</i> y <i>Chlorella vulgaris</i> según temperatura.....	41
Figura 15. Distribución de la biomasa según tipo de microalga.	42
Figura 16. Suma de biomasa seca por tipo de microalga y medio de cultivo.	43

Figura 17. Distribución de cantidad de lípidos según tipo de microalga.45

Figura 18. Distribución de biomasa seca y porcentaje de lípidos.45

RESUMEN

Las microalgas son organismos fotosintéticos de gran capacidad para la producción de biomasa oleaginosa, siendo una alternativa viable para la producción de biocombustibles como el biodiésel, además no genera impactos ambientales negativos. Esta investigación tuvo como objetivo estudiar la capacidad de la *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* para la producción de biodiésel; para ello se utilizó un meta-análisis de 11 estudios, que describen los métodos y técnicas de cultivo, condiciones fisicoquímicas y cantidades de lípidos de cada microalga para la obtención de biodiésel, en los últimos 10 años. Los resultados obtenidos permitieron identificar que *Chlorella vulgaris* tiene mayor crecimiento ($430.62 \pm 2.34 \times 10^6$ cel/mL) a pH 7 y a 22 °C mientras que *Scenedesmus acutus* presentó un crecimiento alto ($24.93 \pm 0.86 \times 10^6$ cel/mL) a pH de 8.56 y 24.4°C, aplicando medios de cultivos químicos, y efluentes residuales, concluyendo que ambas microalgas poseen rendimiento para la producción de biodiésel, es así como *Chlorella vulgaris*, a partir de 218.65 mg/L de lípidos genera 191.76 mg/L y *Scenedesmus acutus* a partir de 278.87 mg/L de lípidos genera 244.54 mg/L de este combustible.

Palabras clave: *microalgas, Chlorella vulgaris, Scenedesmus acutus, biodiésel*

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

Desde la época de la revolución industrial, surge la necesidad de explorar métodos para obtener energía, siendo la mejor alternativa la combustión de combustibles fósiles, que incrementan las emisiones de CO₂ a la atmósfera (Comisión económica para América Latina y el Caribe [CEPAL],2017, p.31), trayendo efectos como el calentamiento global y consigo el cambio climático. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC) en el 2014 afirmó que “la causa principal con un 95% de certeza es la actividad humana”(p.59), según la (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO, 2017), estas anomalías meteorológicas, afectaran primero a los países en desarrollo, causando degradación de tierras y desertificación, escases de agua, subidas del nivel del mar y cambios en las temperaturas, perjudicando la seguridad alimentaria del planeta entero (p.10). Así el cambio climático, como lo afirma la FAO es uno de los mayores desafíos de nuestra época (CEPAL, 2017, p.21).

Actualmente, el mundo se mueve gracias a las matrices energéticas del carbón, petróleo y gas, eliminando millones de gases tóxicos a la atmósfera según, (Porcelli & Martínez, 2018, p.6), se producen 12 millones de toneladas equivalentes de petróleo, de las cuales el 81 % se obtienen de reservas fósiles, emitiendo a la atmósfera, 49 Giga Toneladas de dióxido de Carbono, uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI), que contribuyen al calentamiento global y por ende a la presencia de anomalías climatológicas que evidencian sus efectos en todo el mundo. En América Latina el requerimiento energético se ha triplicado desde 1973, representando un 74 % a nivel mundial, en base a la problemática energética diversas

naciones están incluyendo diferentes directrices energéticas alternativas en sus políticas públicas, para ser sostenibles y cumplir los objetivos del desarrollo sostenible, los cuales en el objetivo 07 estipulan que se debe garantizar el acceso universal a servicios energéticos fiables y modernos, aumentando la proporción de energías renovables, la eficiencia energética, y promoviendo infraestructuras energéticas y tecnologías limpias (León et al., 2019, p.2).

En el 2012 en el Perú las emisiones del sector de energía fueron de 44638 Gg CO₂; esta unidad Gg equivale a 10⁹ gramos, lo que es igual a 1000 toneladas de CO₂, es decir 1 Gg de CO₂ es igual a 1000 toneladas de CO₂ (Programa Municipal del cambio climático, 2015, p.5). En este sector destacan las emisiones generadas por la combustión móvil con 17847 Gg CO₂, representando el 40 % del total de emisiones de este sector. El transporte de camiones para servicio pesado y autobuses es la fuente que mayor participación presenta con el 31.62 % del INGEI, emitiendo 564235 Gg CO₂. La fuente “Camiones para servicio ligero” y “automóviles”, son otras fuentes significativas en el sector de transporte, con el 27.8 % y el 21.21 % de participación correspondiente (MINAM, 2016). Estos impactos ambientales significativos, el incremento en su escala de precios, obliga a explorar nuevas tecnologías, cómo los biocombustibles para motores diésel que se obtienen a partir de aceites vegetales o grasas animales denominados biodiésel (Alcántara, 2014).

Según, Rubio (2011) en el mundo se está utilizando cultivos agrícolas para lo obtención de aceites para biocombustibles, lo que supone deforestación e inseguridad alimentaria. En el 2006 se alcanzó una producción de 11.1 MT de biodiésel, principalmente en Europa con 75 %, y EE. UU, parte del 25 %, dónde las materias primas esenciales en países templados son el aceite de colza y soja, y en tropicales la palma aceitera entre otros (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2010).

La palma aceitera es la única oleaginosa cultivada en el Perú para producir biodiésel a escala comercial en 16 distritos, principalmente en la amazonia con una expansión de 629, 233

hectáreas con una capacidad de producción de 3.15 millones de toneladas de aceite curso equivalente a 89.32 millones de barriles de biodiésel; sin embargo, las importaciones por empresas como Petro Perú, limitan su producción (Aramayo, 2018).

Uno de los incentivos para la ampliación de los cultivos de palma aceitera es la necesidad de satisfacer el mercado de biodiésel en el país, que actualmente está siendo satisfecho mediante la importación, principalmente desde Malasia, Argentina, Ecuador y Estados Unidos. Sin embargo; es necesario precisar que el destino principal de la producción de aceite de palma son los alimentos, y en menor medida los cosméticos, y no el biodiésel. En términos ambientales el establecimiento de las plantaciones en áreas donde se reemplaza el bosque, sobre todo primario, contribuye sustancialmente en las emisiones de efecto invernadero, y por ende al cambio climático. La flora y fauna no se restablecen en las plantaciones que reemplazan a los bosques. Hay, además, riesgos de contaminación de cuerpos de agua por los agroquímicos y pesticidas utilizados para las operaciones agroindustriales (Dammert et al., 2012).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la capacidad de producción de biodiésel de la *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* estudiada en los últimos 10 años?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Estudiar la capacidad de producción de biodiésel a partir de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* en los últimos 10 años.

1.3.2. Objetivos específicos

Describir el crecimiento celular de las microalgas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* en función a parámetros fisicoquímicos como temperatura y pH.

Describir la cantidad de biomasa lipídica *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* para la producción de biodiésel.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Chlorella vulgaris presenta mayor producción de biodiésel que el *Scenedesmus acutus*.

1.4.2. Hipótesis específicas

Chlorella vulgaris presenta mayor crecimiento celular que *Scenedesmus acutus*, proporcional a la temperatura y pH.

Scenedesmus acutus, presenta mayor contenido lipídico que *Chlorella vulgaris* para la producción de biodiésel.

1.5. Cuerpo teórico.

1.5.1. Antecedentes del estudio.

Existe la necesidad de indagar nuevas materias primas que no atenten contra la seguridad alimentaria y sean amigables con el ambiente, dentro de ellas se destaca a la biomasa oleaginosa de microalgas. A partir de 1990 aumentó el interés por su uso, debido a la rápida tasa de crecimiento ya que pueden acumular el 70 % de su peso en lípidos (Gómez et al., 2011), así como lo indica Pienkos et al. (2012), algunas especies generan grandes cantidades de aceite, y su cultivo no interferiría con la producción alimentaria, como ocurre con el etanol de maíz. En base a ello, la utilización de biodiésel ha surgido como una alternativa viable para sustituir el diésel derivado del petróleo, puesto que, presenta varias ventajas por su biodegradabilidad y mínima toxicidad, además su combustión produce menores emisiones de sulfatos, compuestos aromáticos, dióxido de carbono, monóxido de carbono, humo; hay más oxígeno libre que conduce a una combustión completa y emisiones reducidas (Castillo et al., 2017).

Existen diversos estudios interesados en la producción de biodiésel aplicando microalgas, a nivel internacional, Álvarez et al. (2017) estudió la obtención de lípidos y carbohidratos a partir de microalgas mediante el diseño de medios de cultivo selectivos, utilizó *Chlorella vulgaris* UTEX 1803, biorreactores rectangulares, se diseñaron cultivos mixotróficos con base en dos fuentes de carbono (acetato de sodio y carbonato de amonio). Para la cuantificación de lípidos utilizaron el método de Chen y Vaidyanathan (2012), alcanzando la máxima concentración de lípidos (0,0081 g/L) correspondiente al 0,34 % de la biomasa. Concluyendo que la concentración de los nutrientes en los cultivos mixotróficos afecta la producción de metabolitos.

Fernández & Hernández (2016) evaluaron las incidencias de salinidad y pH sobre la biomasa, productividad y acumulación de lípidos en cultivos de *Chlorella vulgaris* en un Fotobiorreactor de Placa Plana, utilizaron métodos espectrofotométricos y aplicaron estadísticos de varianza de Anova, en cuanto al pH se utilizó el método de Tukey. La duración del experimento fue de 19 días. Obteniendo que las más adecuadas concentraciones de producción son de salinidad de 0.2 a 0.3 M y pH de 7-7.5, en cuanto a lípidos un porcentaje de 52.3 % de ácidos grasos libres o SFAs, concluyendo que esta condición favorece en la obtención de materia prima para combustibles alternativos, cómo el biodiésel.

Ramos & Pizarro (2018), evaluaron el crecimiento y capacidad de biorremediación de *Chlorella vulgaris* (*Trebouxiophyceae*, *Chlorophyta*) cultivada en aguas residuales generadas en el cultivo del pez dorado *Seriola lalandi* (Perciformes: *Carangidae*), describiendo que el máximo crecimiento de *Chlorella vulgaris* fue registrado en el día 2 con una concentración de $2,8 \times 10^6 \pm 4,0 \times 10^5$ cél/mL, asimismo lograron remover nutrientes cómo nitrito, nitrato, amoníaco y fosfato del efluente del pez *Dorado*, concluyendo que la aplicación de microalgas para la absorción de nutrientes en estos efluentes acuícolas fue eficaz, minimizar el impacto

ambiental que estos provocan en los sistemas hídricos naturales, además de otras posibles aplicaciones tecnológicas. Sacristán (2014), elaboraron el estudio de producción de biodiésel a partir de microalgas y una cianobacteria, dentro de las microalgas opto por las especies *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus acutus* y la cianobacteria *Arthrospira máxima*. La extracción de los lípidos se realizó mediante cloroformo: metanol y sonicador, aplicando gravimetría, obteniendo mayor producción de biomasa y lípidos, *S. acutus* presentó 1.28 g/L, 28.3 % en medios ARC, respectivamente, concluyendo que este medio es más viable económicamente mostrando un mayor rendimiento de lípidos para biodiésel *Scenedesmus acutus*.

A nivel nacional Astocondor et al. (2017) evaluó el crecimiento poblacional y productividad de la microalga nativa *Chlorella peruviana* bajo diferentes salinidades. Para determinar la salinidad óptima se planteó evaluar cinco tratamientos de acuerdo con el nivel de salinidad. Concluyendo que la microalga nativa *Chlorella peruviana* demostró factibilidad de cultivo y capacidad de crecimiento entre 38 y 176 % de salinidad. Cobos et al. (2014), aisló tres especies de microalgas oleaginosas, *Ankistrodesmus sp*, *Chlorella acutus* y *Scenedesmus sp*, del río Itaya en Loreto. Aplicó el método de cromatografía líquida para la evaluación de lípidos y los estadísticos de ANOVA Y TUKEY, concluyendo que *Ankistrodesmus* es una microalga propicia para la producción de biodiésel de manera sustentable. Gómez & Rodríguez (2012), cultivaron las especies *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus dimorphus*, obtenidas de una poza de oxidación del distrito de Joya en Arequipa, en un sistema abierto Raceway AWL, caracterizó el biodiésel a partir de la microalga *Chlorella vulgaris*, cultivada en fotobiorreactor tubular, el máximo crecimiento de la microalga fue de 9037500 cel./mL, esto represento una mayor tasa de producción de lípidos, la cual fue de 5636,33 mg/L, concluyendo que *Chlorella vulgaris* es una alternativa viable en el mercado de combustibles.

A nivel local, Campos & Salazar (2013), realizó un estudio de diseño de una planta de producción de biodiésel a partir de semillas de higuerilla en el valle de Condebamba,

obteniendo así una capacidad de producción de 29859 barriles anuales integrando a 4000 agricultores, determinando que las semillas de higuerilla poseen potencial industrial para la producción de biodiésel, con un rendimiento de 2.56 toneladas/hectáreas de semilla equivalente a 1200 Kg/hectárea de aceite, por lo tanto es una alternativa viable.

1.5.2. Marco teórico.

La biomasa es una forma de energía que puede transformarse en sustancias combustibles, denominadas biocombustibles, estos últimos son productos finales producto de transformaciones físicas, químicas y microbiológicas de biomasa. Estos biocombustibles presentan contaminaciones menores derivadas de la fabricación y uso de combustibles procedentes del petróleo o carbón, por ello, se consideran una fuente de energía limpia, y por su rápida regeneración de los sistemas productores de biomasa, una energía renovable (Velázquez, 2018, p. 20-21)

El biodiésel, procede de una reacción química, una transesterificación de los triglicéridos con metano o etano produciendo metiléster y dimetiléster respectivamente, junto con glicerina. Estos triglicéridos poseen una cualidad en viscosidad, octanaje y poder calorífico muy semejante a los carburantes utilizados en los motores diésel, por tanto, se emplean como tales de forma directa, denominándose biodiesel. (Pérez, 2016, p. 49). Este combustible puede utilizarse puro (B110, conocido como “gasoil verde”), o en mezclas de diferentes concentraciones con el diésel de petróleo. El biodiésel al incorporarlo a un motor convencional reduce las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de azufre, hidrocarburos aromáticos y partículas sólidas. (Medina et al., 2012, p. 63)

El proceso de producción de biodiésel a partir de microalgas se inicia con el cultivo de la cepa, para la obtención de la biomasa del medio de cultivo, y posterior extracción de los

lípidos para finalmente obtener el biodiésel por una reacción de transesterificación, de forma similar a como se produce a partir de cualquier aceite vegetal. (Arias et al., 2013, p. 29)

Las microalgas son seres unicelulares muy variados en tamaño y forma, autótrofos, cosmopolitas y crecen con mayor rapidez por su facilidad de división, realizan el 90 % de la fotosíntesis total de la tierra debido a esto sostienen el exceso del CO₂ atmosférico ayudando a reducir el efecto invernadero (Cerón, 2013). Además, no requieren tierras fértiles o agua utilizable en agricultura, creciendo incluso en aguas contaminadas (Acien et al., 2018).

El cultivo de microalgas necesita parámetros que regulan su crecimiento como la calidad y cantidad de nutrientes, la luz, el pH, la agitación y mezcla, la salinidad y la temperatura. Existen tres métodos para cultivar microalgas; en lotes (batch), continuos y semicontinuos, aplicados en sistemas abiertos, los cuales son económicos, pero más susceptibles a la contaminación (Centro Pivote y los raceways) en donde los parámetros de crecimiento no son controlados; y sistemas cerrados, que dependen del tipo de microalga, pueden usarse fotobiorreactores en columna o planos, asimismo en sistemas híbridos que incluyen ambos sistemas que permiten controlar las condiciones de cultivo (Salazar, 2012). En la extracción de biodiésel son fundamentales estas etapas: Cultivo de cepa para la obtención de biomasa, extracción de lípidos y finalmente la reacción de esterificación para la conversión a biodiésel, y dentro de las estrategias de extracción están el uso de solventes, fluidos supercríticos, campo eléctrico de pulso, microondas y ultra sonicación. (Castillo et al., 2017).

Dentro de las especies de microalgas en producción de biocombustibles destacan las de división *Chlorophyta* como *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*. *Chlorella*, proviene del griego *Chloros*, verde, y del latín ella, pequeña, es una microalga verde, unicelular, de forma esférica (12-10 µm), se encuentra en agua dulce, salobre, lagos, ríos, y pantanos. Presenta gran capacidad fotosintética. *Chlorella vulgaris* pertenece al dominio eukaryota, de la orden de la *Chlorellales*, y del género *Chlorella*. Para su crecimiento es necesario las siguientes

condiciones; 22 °C, 6,8 pH, intensidad lumínica de 200 a 400 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, así como nutrientes: Carbono, fósforo, nitrógeno y magnesio (Arce, 2018), posee un porcentaje de lípidos de 14 a 22 % en peso seco y destaca debido a su alta tasa de reproducción (Gómez & Rodríguez, 2012). La microalga *Scenedesmus acutus*, pertenece a la división *Chlorophyta*, clase *Chrolophyceae*, orden *Chlorococcales*, familia *Scenedesmaceae*, habita en los cuerpos de agua dulce y salobre en forma solitaria o en cenobios, (Monzón, 2016). Para su crecimiento es necesario una temperatura entre 23,4 °C a 25°C; 7,81 pH, intensidad lumínica de 2000 lux, presentan gran adaptación eco fisiológica y plasticidad bioquímica, soporta elevadas concentraciones de nutrientes en aguas residuales resistiendo variaciones ambientales que la hacen vivir en ambientes extremos. (Vásquez & Zavaleta, 2017)

1.6. Justificación

Esta investigación permite estudiar la capacidad de producción de biodiésel de las microalgas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*, como una estrategia de reducción de impactos ambientales e innovación en biocombustibles, puesto que en la actualidad se usan combustibles poco sostenibles, que provienen de materias primas, como el carbón, restos fósiles, petróleo; los cuales generan aumento de diversas sustancias tóxicas a la atmósfera (CO_2 , CO, hidrocarburos aromáticos, entre otros gases contaminantes); por otro lado, se usan cultivos como la soja, jatropha, maíz, para generar biodiésel, pero éstos no solo crean inseguridad alimentaria, sino también pérdida de bosques primarios, involucrando la alteración de ecosistemas. El análisis de este estudio sirve como un modelo preliminar para su posterior desarrollo experimental, pues detalla datos referenciales para el cultivo de las microalgas, como la temperatura, pH, medio de cultivo y tipo de sistema, además indica la capacidad de producción de biodiésel de las especies, estos criterios permiten su perfeccionamiento experimental para futuras investigaciones.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo documental, no experimental, cualitativa, básica, retrospectiva y transversal, puesto que se ha analizado a estudios previos que se relacionaron con la producción de biodiésel a partir de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*, sin alterar ninguna variable de estas, como lo menciona Hernández & Baptista (2017) una investigación no experimental es aquella que no manipula deliberadamente variables y consiste en el análisis del comportamiento de fenómenos en su forma natural. Es cualitativa y básica, porque se describirán e interpretarán datos de estudios primarios, sin alterarlos, retrospectiva y transversal, puesto que se describió estudios dentro de los últimos 10 años.

2.2. Objeto de estudio

La presente investigación tiene como objeto de estudio a las microalgas *Scenedesmus acutus* y *Chlorella vulgaris*.

2.2.1. Criterios de selección del objeto de estudio

Los criterios para seleccionar estas dos microalgas fue por la adaptabilidad que presentan en diferentes medios de cultivo, así como su capacidad cosmopolita, asimismo se evaluó diferentes estudios que validaron su potencial para la producción de biodiésel.

Tabla 1

Taxonomía de Chlorella vulgaris

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>viridiplantae</i>
Infrarreino	<i>Chlorophyta</i>
División	<i>Chlorophyta</i>
Subdivisión	<i>Chlorofitina</i>
Clase	<i>Trebouxiophyceae</i>
Orden	<i>Chlorellales</i>
Familia	<i>Oocystaceae</i>
Género	<i>Chlorella Beijerinck, 1890</i>
Especie	<i>Chlorella Vulgaris Beijerinck, 1890.</i>

Fuente. (ITIS, 2020)

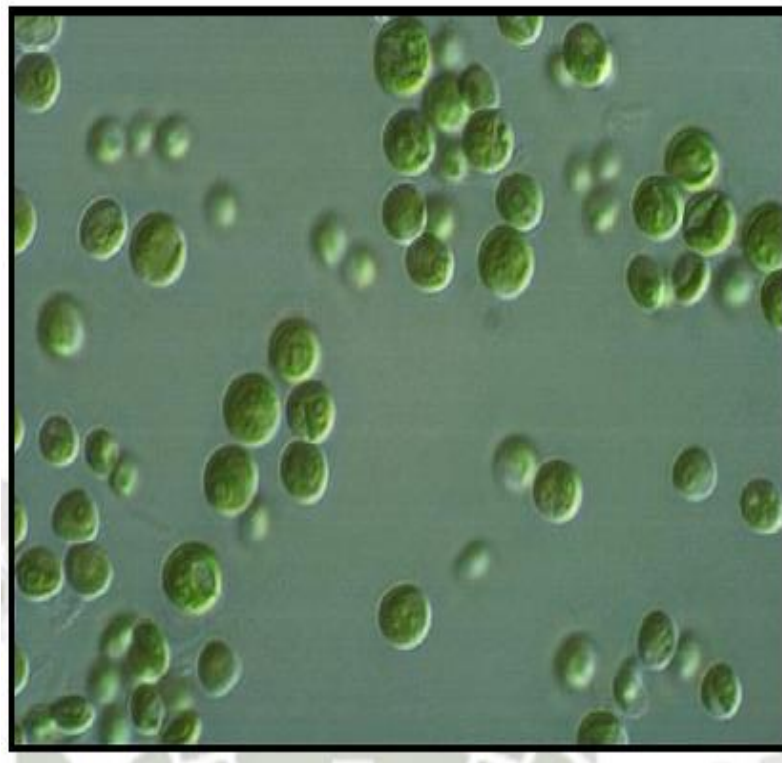


Figura 1

Vista al microscopio de Chlorella vulgaris

Fuente. Seattle, Washington, USA, (Bruun, 2008; Gómez & Rodríguez,
2012)

Tabla 2

Taxonomía de Scenedesmus acutus.

Reino	Plantae
Subreino	<i>Viridiplantae</i>
Infrarreino	<i>Chlorophyta</i>
División	<i>Chlorophyta</i>
Subdivisión	<i>Chlorophytina</i>
Clase	<i>Chlorophyceae</i>
Orden	<i>Sphaeropleales</i>
Familia	<i>Scenedsmaceae</i>
Género	<i>Scenedesmus Meyen, 1829</i>
Especies	<i>Scenedesmus acutus</i>

Fuente. (ITIS, 2020)

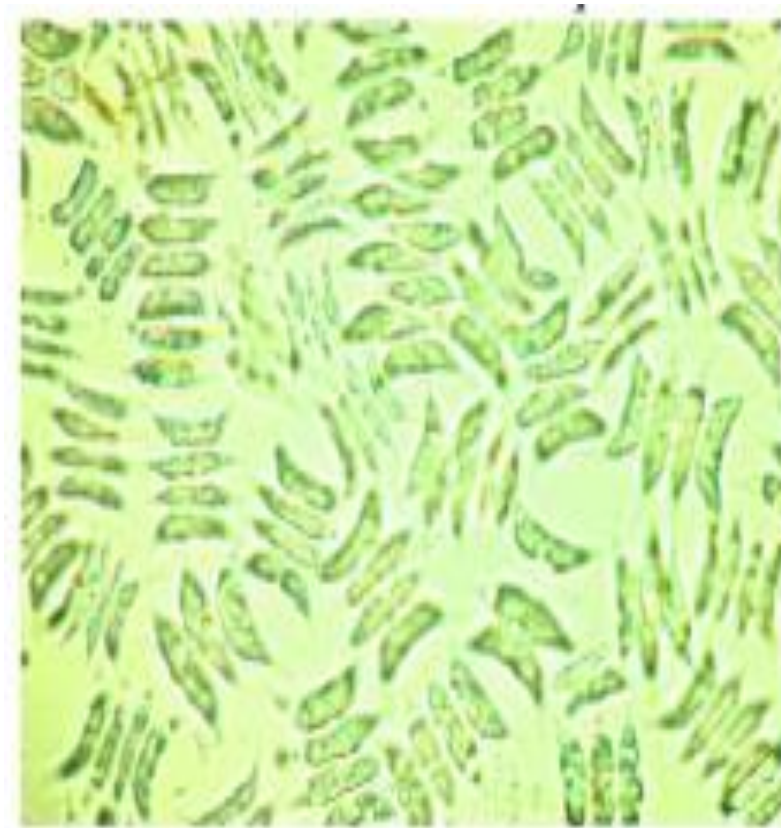


Figura 2

Microfotografía con luz visible de Scenedesmus acutus

Fuente: Cobos et al. (2014)

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnica de recolección

Se aplicó la técnica de análisis documental de 11 estudios relacionados con la producción de biodiésel a partir de microalgas, dónde 7 estudios presentaban a *Chlorella vulgaris*, 2 estudios de *Scenedesmus acutus* y 2 estudios que estudiaron a las dos microalgas, para ello se realizó una base de datos, dónde el motor de búsqueda usado fue Google Chrome, obteniendo investigaciones de diversos sistemas de información científica como Redalyc, Scielo, Alicia y ProQuest, filtrados según palabra clave, tipo de estudio, y año de publicación. ([Anexo1](#)).

2.3.2. Instrumento de análisis

Los instrumentos de análisis usados fueron fichas de datos, aplicados usando criterios de variables para la producción de biodiésel como crecimiento celular de *C. vulgaris* y *S.acutus* según temperatura, pH, medios de cultivo, tipos de sistemas de cultivo, ([anexo 3](#) y [anexo 4](#)) cantidad de biomasa seca, métodos de extracción de biodiésel ([anexo 6](#), [anexo 7](#))

2.3.3. Análisis de datos

Se describió mediante cuadros comparativos y la herramienta *Forest Plot*, la representación gráfica el crecimiento microalgal de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* en función a parámetros fisicoquímicos como temperatura, y pH, medios de cultivo y sistemas de cultivo para ambas microalgas, para ellos se tuvo que hacer una tabla por cada parámetro, indicando los estudios y el crecimiento; así mismo, se ordenó la información de forma descendente, y se insertó un gráfico de dispersión sin contenido, allí se fue editando para obtener un resultado visible que relacionará gráficamente cada

estudio con su crecimiento y parámetro descrito. ([Anexo 5](#)). Posteriormente se analizó, la cantidad de biomasa seca y cantidad de lípidos de cada estudio las cuales fueron representadas en gráficas y cuadros, finalmente se describió la relación de cantidad de lípidos extraídos con el biodiésel obtenido a partir de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* de cada uno de los estudios mediante cuadros comparativos y gráficos usando el programa Excel. [Anexo 5](#)

2.3.4. Consideraciones éticas.

El nivel de plagio obtenido por el programa PlagScan, fue de 13.1%, lo que indica, que el presente estudio de tesis se realizó tomando todas las medidas éticas, para ello, se aplicó las respectivas citas, además no se adultero ni cambio datos de los estudios. Según Galán (2010), menciona que hay que tener en cuenta tres principios para llevar a cabo una investigación eticamente desarrollada, las cuales son el conomiento, el placer y el bienestar, además señala que la ética de una investigación se basa en el nivel de consciencia que se tiene al realizar una investigación, cuyos resultados puedan ser correctamete utilizados (p.1-2)

La presente investigación ha evitado la presentación de actos considerados como mala conducta científica, como la fabricación de datos, expresados en indicar procedimientos o resultados que no se obtuvieron, destrucción del experimento, falsificación de datos, procedimientos o resultados de la investigación científica de una forma sustancialmente modificada, inexacta, o incompleta que podría interferir en la evaluación o conclusiones del trabajo de investigación. Finalmente, el plagio basado en el uso de ideas o formulaciones verbales, orales o escritas de otras personas, sin dar a éstos, de modo claramente expresado, su debido crédito, ocasionando así, la percepción de que son ideas o formulaciones de autoría propia. (Consejo Nacional de ciencia tecnología e innovación tecnológica (CONCYTEC), 2019)

2.4. Procedimiento

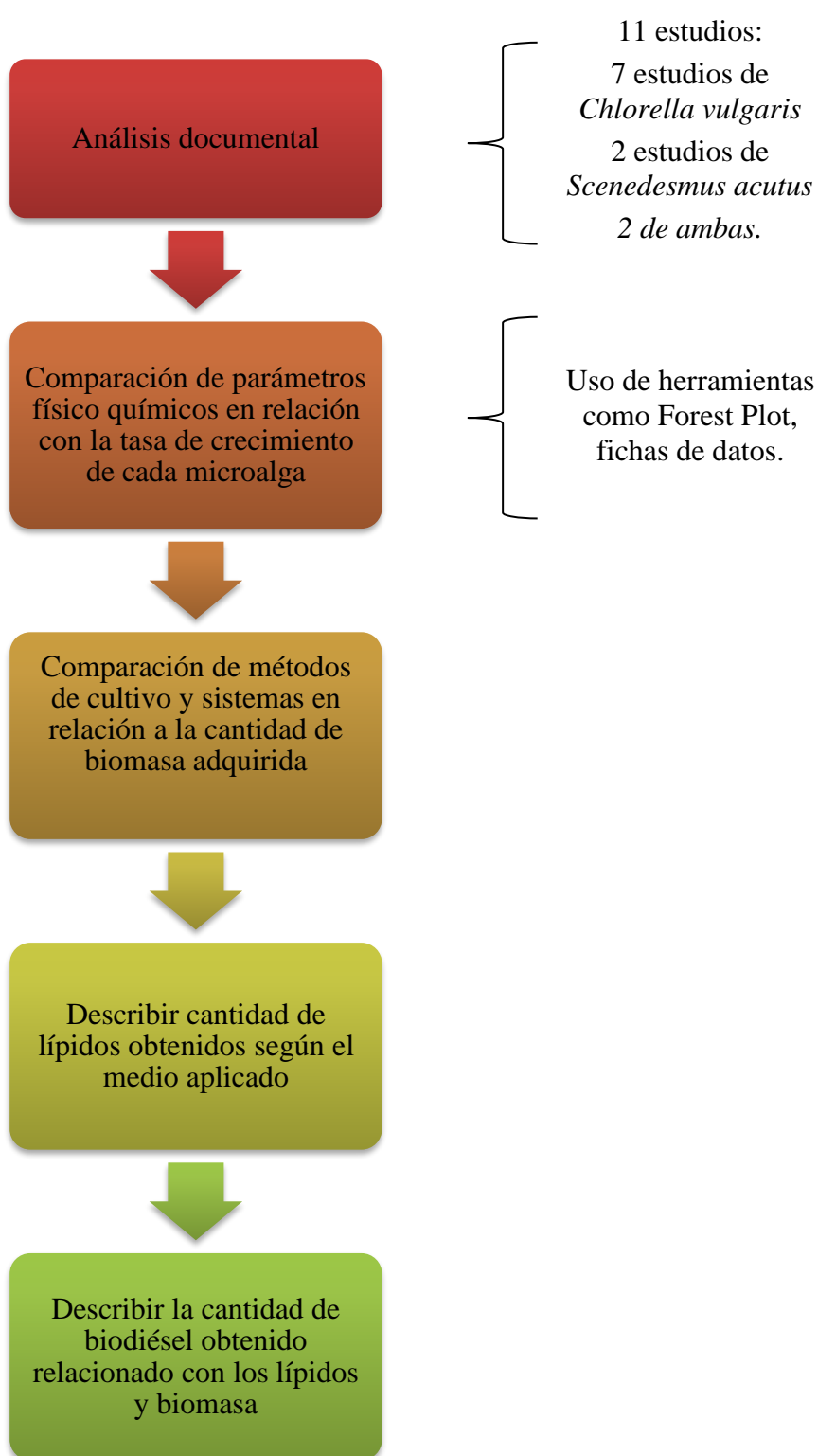


Figura 3

Metodología aplicada.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Estudio de la capacidad de producción de biodiésel a partir de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*.

Tabla 3

Obtención de biodiésel a partir de lípidos extraídos de Chlorella vulgaris y Scenedesmus acutus.

Microalga	Cantidad de lípidos (mg/L)	Cantidad de biodiésel (mg/L)	Estudio
<i>Chlorella vulgaris</i>	1000	856	Arce (2018)
<i>Chlorella vulgaris</i>	218.65	191.76	Sacristán, et al (2014)
<i>Scenedesmus acutus</i>	278.87	244.54	Sacristán, et al (2014)

Interpretación.

La Tabla 1, muestra el estudio de obtención de biodiésel a partir de lípidos extraídos de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*, de los 11 estudios analizados solo dos llegaron a extraer biodiésel. El estudio de Arce (2018) muestra el máximo rendimiento de biodiésel a partir de lípidos extraídos de *Chlorella vulgaris*, esta investigación aplicó un balance de materia para determinar el rendimiento de producción de biodiésel, obteniendo un rendimiento teórico al 100 %, sin embargo, en su aplicación experimental mediante el método de transesterificación solo alcanzó un 85.6 % de biodiésel, es decir a partir de 1000 mg/L de lípidos obtuvo 856 mg/L, mientras que Sacristán et al. (2014), estudió a las dos tipos de microalga, sin embargo su fase experimental solo llegó a la

obtención de lípidos, estableciendo el mayor porcentaje de acumulación de lípidos en *Scenedesmus acutus*, determinando la cantidad de biodiésel teóricamente relacionando la cantidad de biomasa, y contenido de lípidos obtenidos de cada microalga, así en *Chlorella vulgaris* a partir de 218.65 mg/L de lípidos obtuvo 191.76 mg/L de biodiésel y en *Scenedesmus acutus* a partir de 278.87 mg/L obtuvo 244.54 mg/L respectivamente.

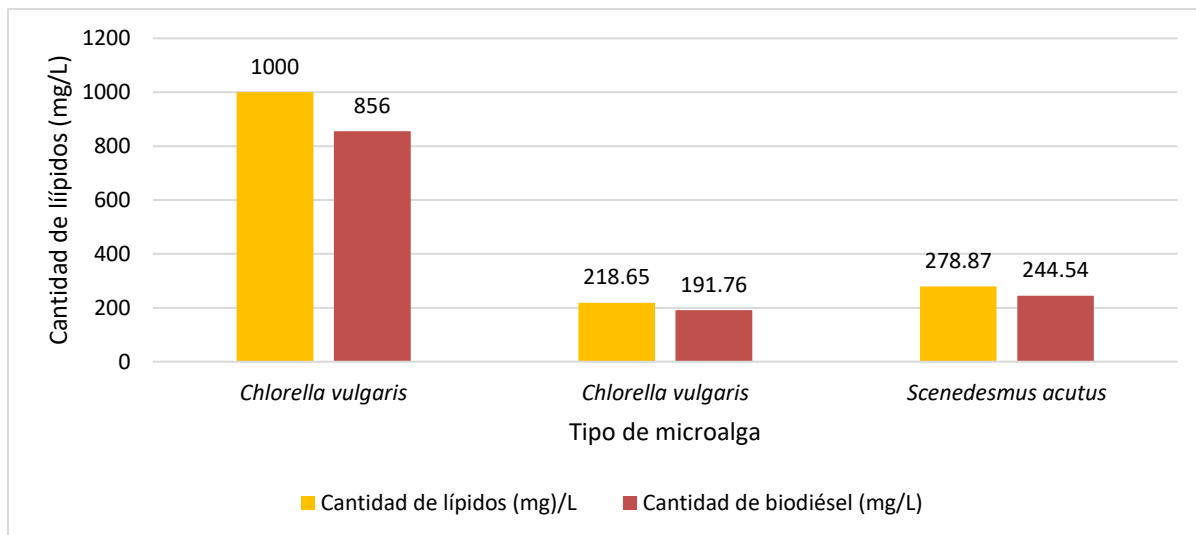


Figura 4

Cantidad de biodiésel en función a la cantidad de lípidos.

Interpretación

Según la Figura 4, la microalga que obtuvo la mayor producción de biodiésel fue *Chlorella vulgaris* estudiada por Arce (2018), llegando a obtener un buen rendimiento, puesto que a partir de 1000 mg/L de lípidos obtuvo 856 mg/L de biodiésel, debido las condiciones de cultivo, este estudio aplico un volumen mayor, puesto que utilizó un fotobiorreactor tubular de aproximadamente 100 litros, además aplico un medio químico Bristol para el cultivo de *Chlorella vulgaris*, a diferencia de Sacristán, et al (2014) que obtuvo una cantidad inferior de biodiésel debido a que aplicaron un sistema de cultivo en base a matraces de Erlenmeyer con una capacidad menor, obteniendo a partir de 218.65 de mg/L de lípidos producidos por *Chlorella vulgaris* 191.76 mg/L de biodiésel;

aplicando medios residuales y para el caso de *Scenedesmus acutus*, en medio ARC (agua residual cruda generó una cantidad mayor que en *Chlorella vulgaris*, de lípidos con 278.87 mg/L generando 244.54 mg/L de biodiésel.

3.2.Descripción del crecimiento microalgal en función de parámetros fisicoquímicos.

En la tabla 2, se presenta los resultados de crecimiento celular de la microalga *Chlorella vulgaris*, evaluada por 7 estudios, en función a su temperatura, pH, medio de cultivo y sistema de cultivo.

Tabla 4

Descripción del crecimiento celular de microalgas Chlorella vulgaris

Estudios	Crecimiento celular (cel/ml)
Gómez, Álvarez y Rivero (2011)	430620000
Gómez y Rodríguez (2012)	78000000
Heredia et al, (2016)	14300000
Arce (2018)	9037500
Ramos y Pizarro (2018)	2800000
Fernández y Hernández (2016)	1710000
Chía, Lombardi & Melao (2013)	84000

Interpretación:

Según la Tabla 2, el estudio de Gómez et al. (2011), obtuvo el mayor crecimiento celular de la microalga *Chlorella vulgaris* con 430620000 cel/ml en 14 días, seguido de Gómez & Rodríguez (2012) con 78000000 cel/ml en 9 días, lo común que se determinó en estos estudios es la similitud del sistema de cultivo, ya que ambos usaron de tipo abiertos batch y Raceway respectivamente, y además ambos aplicaron medios de cultivo

enriquecidos alternativos como soja y medios residuales hidropónicos, a diferencia de Chía et al. (2013), quién obtuvo el menor crecimiento (84000 cel/ml) en 18 días esto debido a su tipo de sistema, ya que utilizó matraces de Erlenmeyer de una capacidad de 500 ml que contenían solamente 200 ml de cultivo.

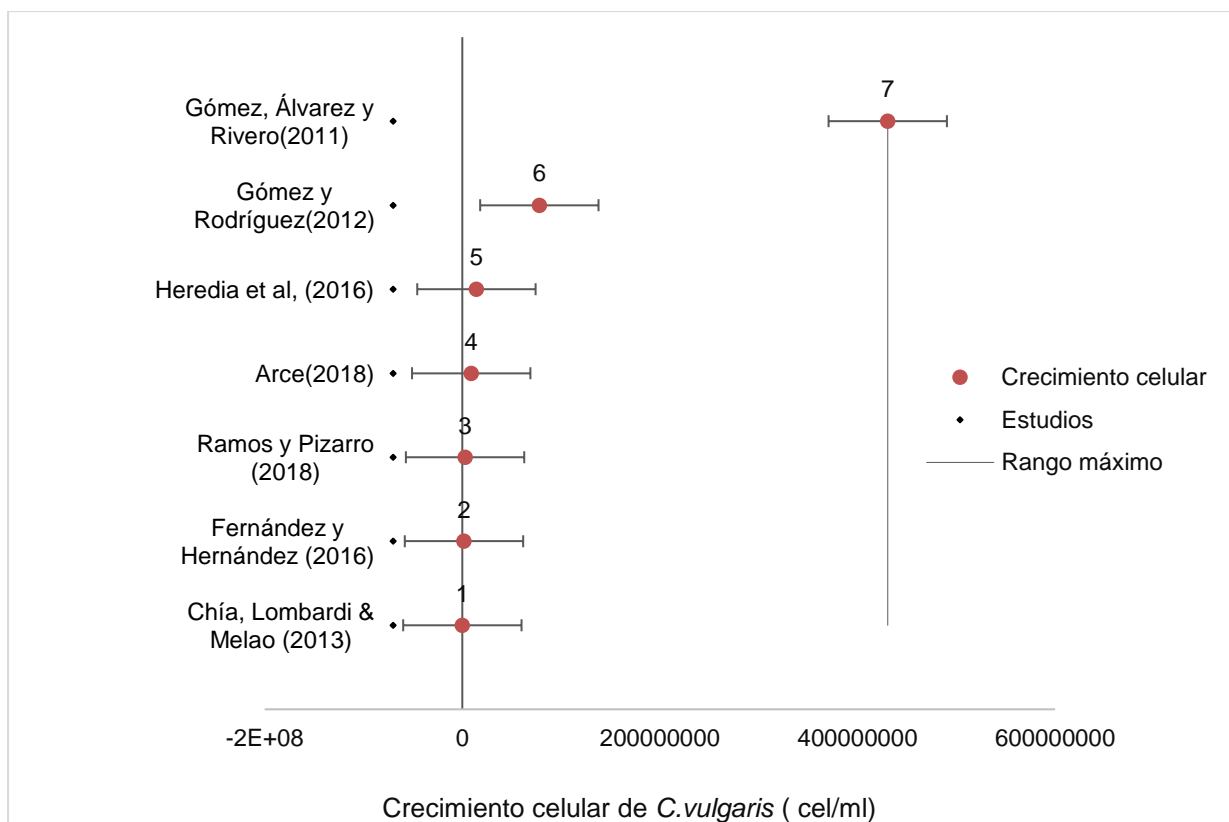


Figura 5

Diagrama de Forest Plot para la distribución del crecimiento celular de *Chlorella vulgaris*

Interpretación:

Según la figura 5, de los estudios analizados para *Chlorella vulgaris*, el mayor crecimiento la obtuvo el estudio realizado por Gómez et al. (2011), aplicando el sistema batch en medio de agua residual de soja, llegando a obtener $430.62 \pm 2.34 \times 10^6$ cel/ml, así mismo Gómez & Rodríguez (2012) también destacó un alto contenido de crecimiento con 7.8×10^7 cel/ml, el crecimiento en los estudios, 6 y 7, se debe a que usaron un mayor volumen (sistemas

abiertos); a diferencia de los estudio 1, en dónde trabajaron a nivel de laboratorio, usando
matraces de Erlenmeyer de 500 ml.

Tabla 5

Crecimiento celular de Chlorella vulgaris en función de la temperatura

Estudio	Crecimiento celular	Temperatura °C
Heredia et al, (2016)	14300000	28
Ramos y Pizarro (2018)	2800000	27.8
Arce (2018)	9037500	27.3
Fernández y Hernández (2016)	1710000	25
Gómez, Álvarez y Rivero (2011)	430620000	22
Chía, Lombardi & Melao (2013)	84000	20
Gómez y Rodríguez (2012)	78000000	19

Nota. La Tabla 2 muestra las temperaturas en °C a las que estuvieron expuestas los
medios de cultivo para el crecimiento de la microalga *Chlorella vulgaris* de cada estudio.

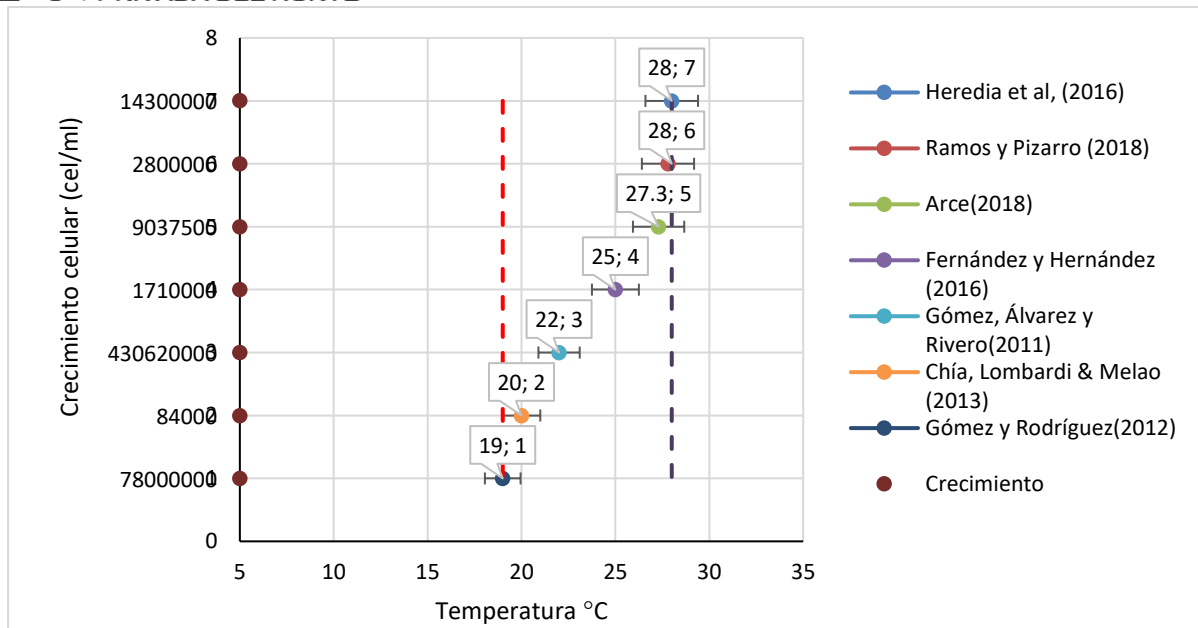


Figura 6

Diagrama de Foresto Plot para la distribución del crecimiento celular de *Chlorella vulgaris* según su temperatura.

Interpretación

Según la Figura 6, el rango de temperatura durante el crecimiento de *Chlorella vulgaris* de los diferentes estudios estuvo basado en un rango de 19 °C a 28 °C, denotando que la temperatura idónea para el cultivo de *Chlorella vulgaris* estuvo entre 19 °C y 22 °C, puesto que a estas temperaturas se evidenció el mayor crecimiento celular de *Chlorella vulgaris* con 430620000 y 780000000 cel/ml. Asimismo, el estudio de Heredia et al. (2016); muestra un crecimiento alto a 28 °C, debido a que utilizó un sistema cerrado de fotobiorreactores de columna con burbujeo, lo que acondiciono el medio para un adecuado crecimiento, manteniendo la temperatura estable.

Tabla 6

Crecimiento celular de Chlorella vulgaris en función de pH

Estudio	Crecimiento celular	pH
Gómez, Álvarez y Rivero (2011)	430620000	7
Gómez y Rodríguez (2012)	78000000	7
Heredia et al, (2016)	14300000	7
Fernández y Hernández (2016)	1710000	7
Chía, Lombardi & Melao (2013)	84000	7
Arce (2018)	9037500	7.4
Ramos y Pizarro (2018)	2800000	8.25

Nota. La tabla 3, muestra el grado de pH de cada medio de cultivo empleado para el crecimiento de *Chlorella vulgaris* de los estudios analizados.

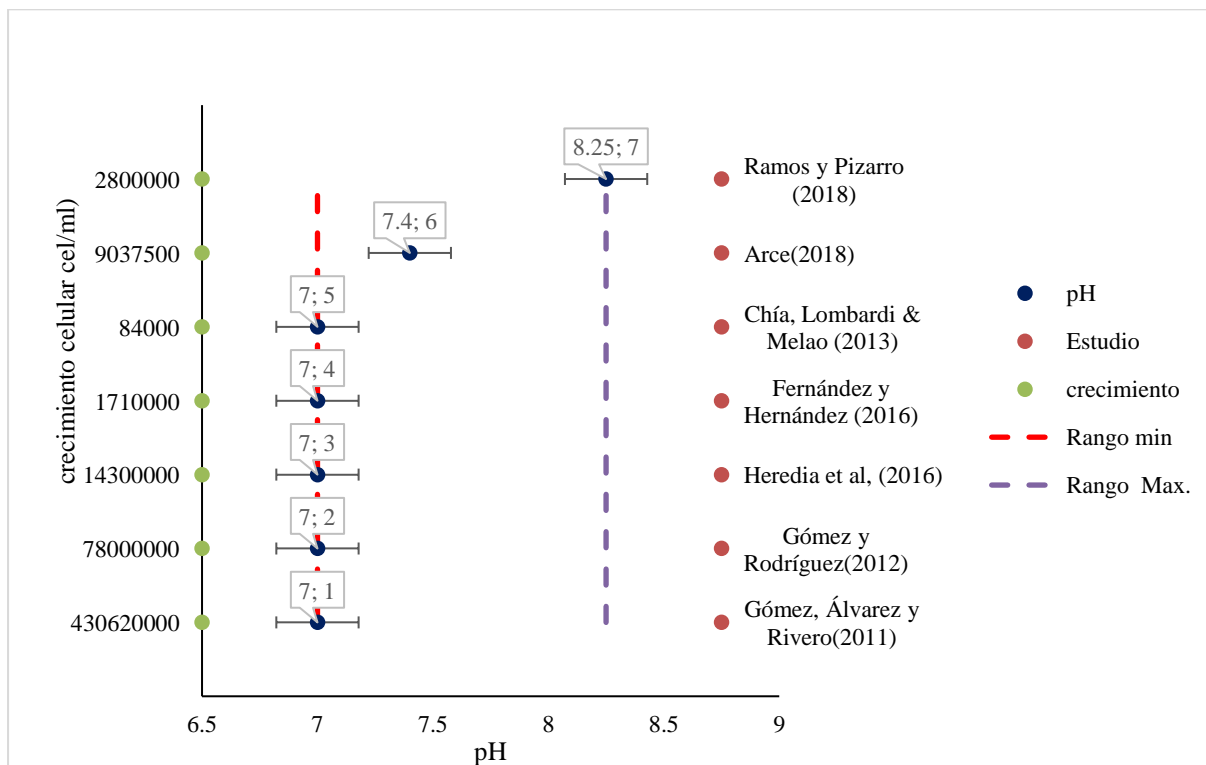


Figura 7

Diagrama de Forest Plot para el crecimiento celular de Chlorella vulgaris en función del pH

Interpretación:

En La figura 7, se observa que el pH 7, fue el parámetro de cultivo más aplicado en 5 de los estudios seleccionados, y con el cual se obtuvo los crecimientos celulares más altos de *Chlorella vulgaris*, así lo demostró el de estudio de Gómez et al. (2011) con $430.62 \pm 2.34 \times 10^6$ cel/ml. Sin embargo, cabe recalcar que también el crecimiento celular depende de otras condiciones de cultivo, medios de cultivo, así como sistemas de cultivo, como lo indica Salazar (2012), quién menciona que las microalgas necesitan parámetros que regulan su crecimiento como la calidad y cantidad de nutrientes, la luz, el pH, la agitación y mezcla, la salinidad y la temperatura.

Tabla 7

Crecimiento celular de Chlorella vulgaris según el tipo de sistema de cultivo.

Estudio	Crecimiento	Tipo De Sistema
Gómez, Álvarez y Rivero (2011)	430620000	Batch
Gómez y Rodríguez (2012)	78000000	Raceway
Heredía et al. (2016)	17100000	Fotobiorreactor de placa plana de polimetil-metacrilato
Fernández y Hernández (2016)	14300000	Fotobiorreactores anulares
Chía, Lombardi & Melao (2013)	9037500	Fotobiorreactor tubular
Arce (2018)	2800000	Batch estanques cilíndrico
Ramos y Pizarro (2018)	8400	Matraz de Erlen Meyer

Nota. La Tabla 4, muestra el crecimiento celular obtenidos por los estudios analizados, según el tipo de sistema empleado tanto de tipos abiertos como cerrados.

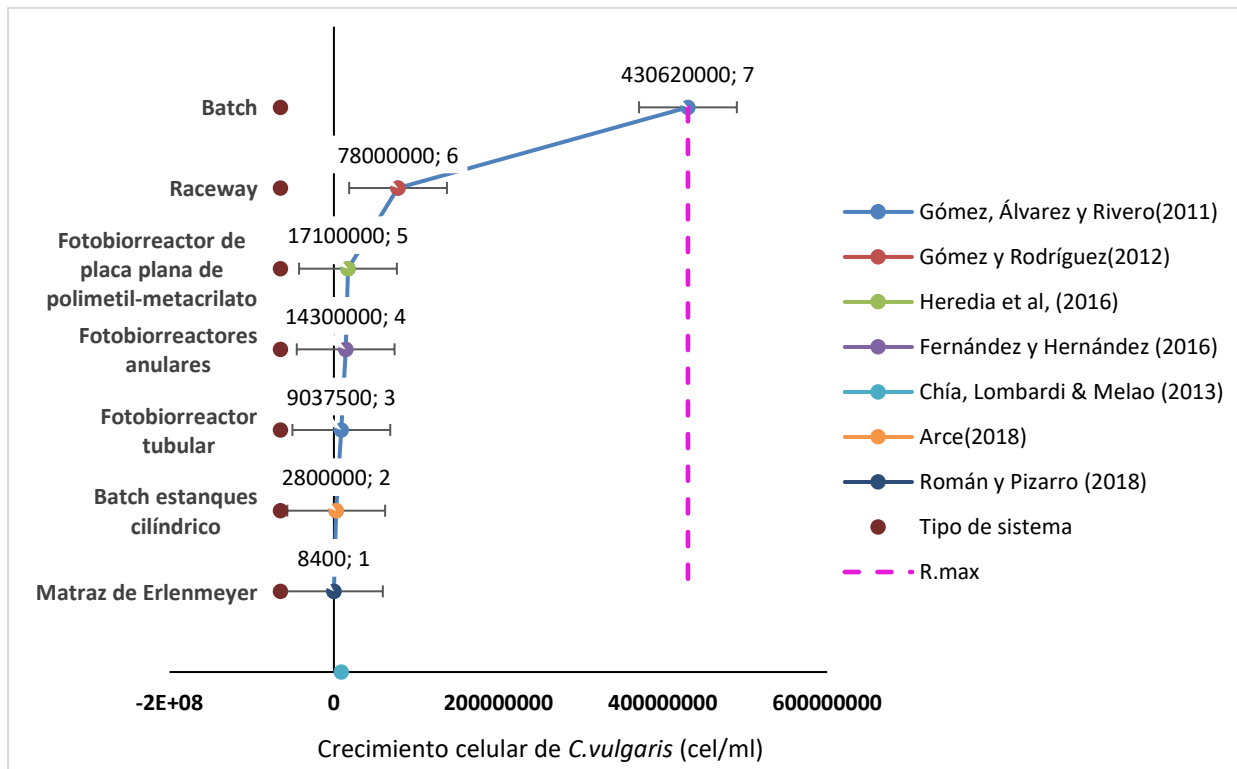


Figura 8

Diagrama de Forest Plot para el crecimiento celular de Chlorella vulgaris según el tipo de sistema de cultivo.

Interpretación:

Según la Figura 8, los mayores crecimientos celulares de *Chlorella vulgaris*, según los estudios evaluados, se dieron en sistemas abiertos de cultivo, como batch y el Raceway, los cuales fueron aplicados por los estudios de Gómez & Rodríguez (2012), con un crecimiento celular de 7.8×10^7 cel/ml y Gómez et al. (2011), quién obtuvo un crecimiento de 430620000 cel/ml. Sin embargo en el estudio de Ramos & Pizarro (2018), que también uso sistemas abiertos su crecimiento fue menor, puesto que las condiciones

de cultivo no fueron controladas a diferencia de Gómez et al. (2011), aplico incluso un campo magnético que ayudo a obtener densidades celulares máximas en menos tiempo de cultivo, en el caso de Gómez & Rodríguez (2012), aplicaron sistemas Raceway con un volumen de 10 litros, con un tipo de inyección de CO₂ controlado y un vidrio de poco espesor para dejar pasar más iluminación al medio de cultivo, y la microalgas desarrollen mayor fotosíntesis.

Tabla 8

Crecimiento celular de Chlorella vulgaris según el tipo de medio de cultivo.

Estudio	Crecimiento celular	Tipo de medio de cultivo
Gómez, Álvarez y Rivero (2011)	430620000	Agua residual de ablandamiento de soya
Gómez y Rodríguez (2012)	78000000	Medio hidropónico
Heredia et al, (2016)	17100000	f/2 de Guillar y Ryther (1962)
Fernández y Hernández (2016)	14300000	0.1, 0.2, 0.3, 0.4 M HCl y NaOH
Chía, Lombardi & Melao (2013)	9037500	Lc Oligo
Arce (2018)	2800000	Bristol
Ramos y Pizarro (2018)	8400	Efluente del pez dorado <i>Seriola lalandi</i>

Nota. La tabla 5 muestra los tipos de medio de cultivo tanto químicos como (Bristol, composición salina, Lc Oligo) y alternativos (aguas residuales, efluentes residuales de *Pez Dorado Seriola lalandi*, aguas residuales de Soja, y aguas residuales hidropónicas) de *Chlorella vulgaris* que emplearon los estudios analizados.

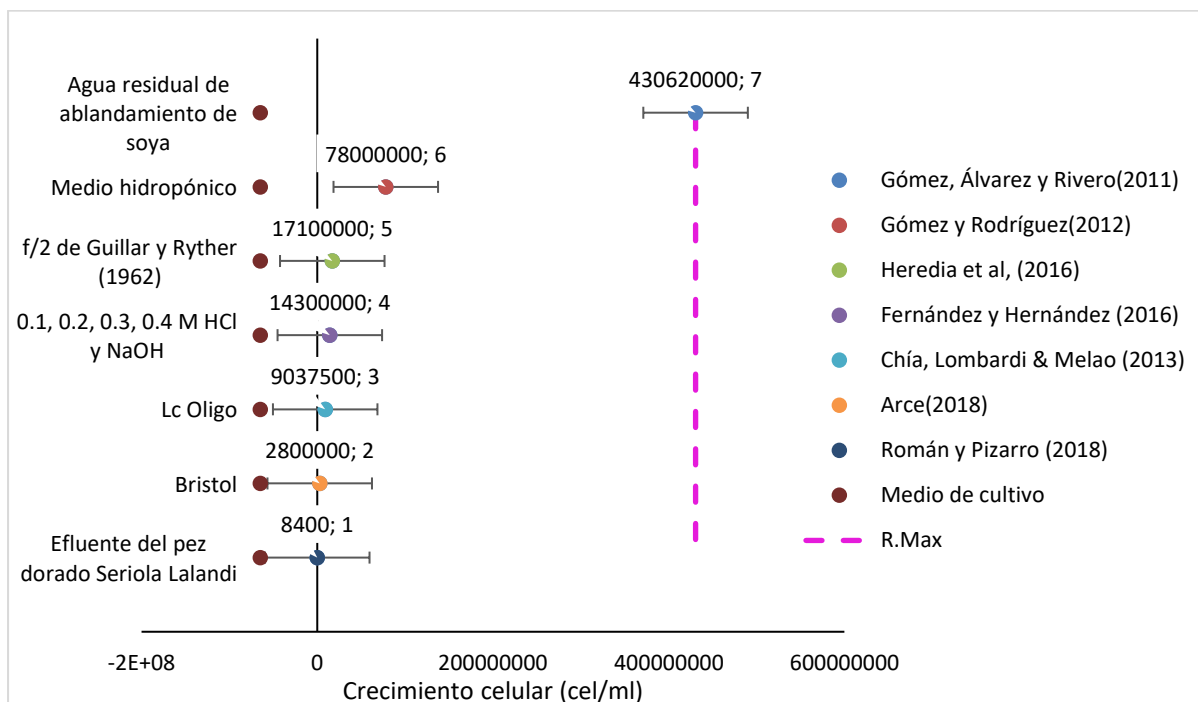


Figura 9

Diagrama de Forest Plot para el crecimiento celular de *Chlorella vulgaris* según el tipo de medio de cultivo.

Interpretación:

Según la figura 9, el mayor crecimiento celular de la microalga *Chlorella vulgaris* se obtienen en medios residuales, así Gómez et al. (2011), obtuvo un crecimiento de $430.62 \pm 2.34 \times 10^6$ cel/ml en un medio de agua residual de soja; así también Gómez et al. (2012), obtuvo el segundo crecimiento más elevado con 7.8×10^7 cel/ml empleando un medio residual hidropónico.

Tabla 9

Descripción del crecimiento celular de microalgas Scenedesmus acutus en función a su temperatura.

Estudio	Crecimiento celular	Temperatura °C
Monzón (2016)	6720000	26.4
Vásquez & Zavaleta (2017)	24930000	24.4

Nota. La Tabla 6 muestra las temperaturas promedio de cultivo de *Scenedesmus acutus* de los estudios de Vásquez & Zavaleta (2017) y Monzón (2016), comprendidas al día 7 de crecimiento y a un 90 y 80 % de dilución de medios residuales respectivamente, es necesario señalar que estos estudios solos analizaron a la microalga *Scenedesmus acutus*.

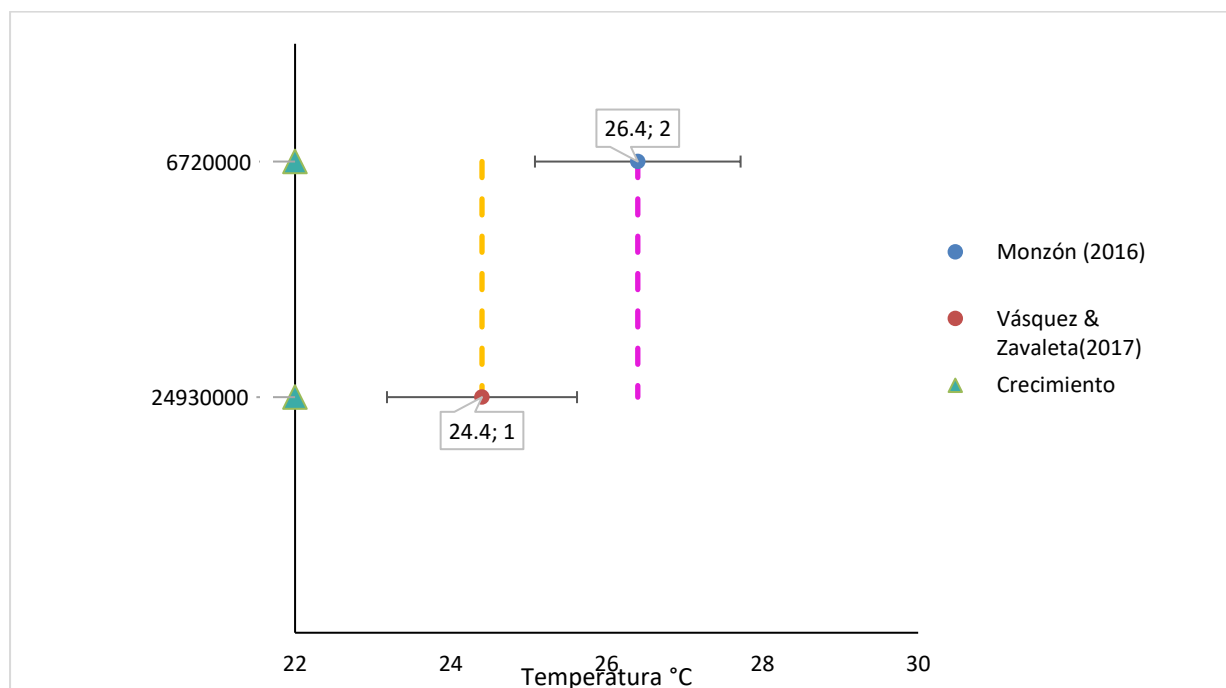


Figura 10

Diagrama de Forest Plot para crecimiento celular de Scenedesmus acutus según su temperatura.

Interpretación

Según la Figura 10, los rangos de temperatura para el crecimiento de *Scenedesmus acutus* estuvieron entre 24.4 °C y 26.4 °C, dónde el mejor crecimiento microalgal lo obtuvo Vásquez & Zavaleta (2017), con $24.93 \pm 0.86 \times 10^6$ cel/ml a una temperatura de 24.4 °C.

Tabla 10

Crecimiento celular de Scenedesmus acutus en función de pH

Estudio	Crecimiento celular(cel/ml)	pH
Monzón (2016)	6720000	9
Vásquez & Zavaleta (2017)	24930000	8.56

Nota. La tabla 7, muestra los pH del medio de cultivo de *Scenedesmus acutus*, de los estudios de Monzón (2016) y Vásquez & Zavaleta (2017).

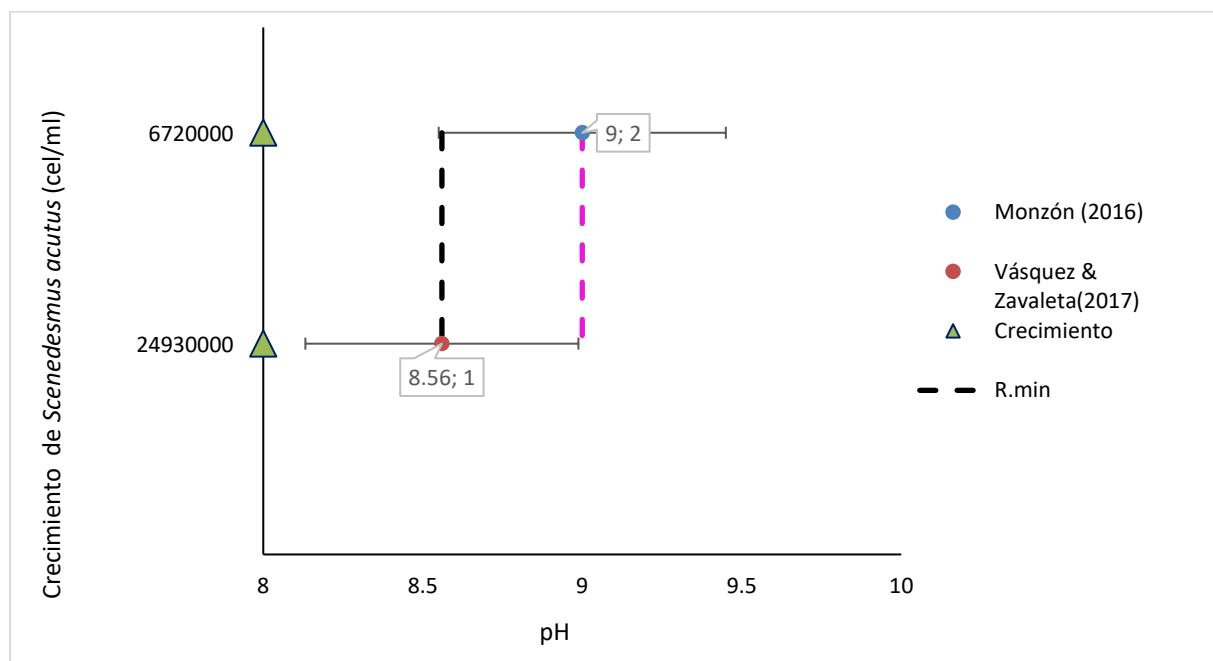


Figura 11

Diagrama de Forest Plot para el crecimiento celular de Scenedesmus acutus en función del pH.

Interpretación:

Según la Figura 11, de los dos estudios analizados el mejor crecimiento microalgal la obtuvo Vásquez & Zavaleta (2017) con un crecimiento celular de $24.93 \pm 0.86 \times 10^6$ cel/ml a un pH de 8.56, resaltando que a medios básicos el crecimiento es mínimo.

Tabla 11.

Crecimiento celular de S. acutus según medio de cultivo.

Estudio	Crecimiento celular	Tipo de medio de cultivo
Monzón (2016)	6720000	Botellas plásticas
Vásquez & Zavaleta (2017)	24930000	Botellas plásticas

Nota. En la tabla 9, muestra el crecimiento celular de *S. acutus*, analizado en función a los sistemas de cultivo empleados, en estos estudios consideraron sistemas económicos como el uso de botellas, ambos experimentos fueron trabajados a nivel de laboratorio.

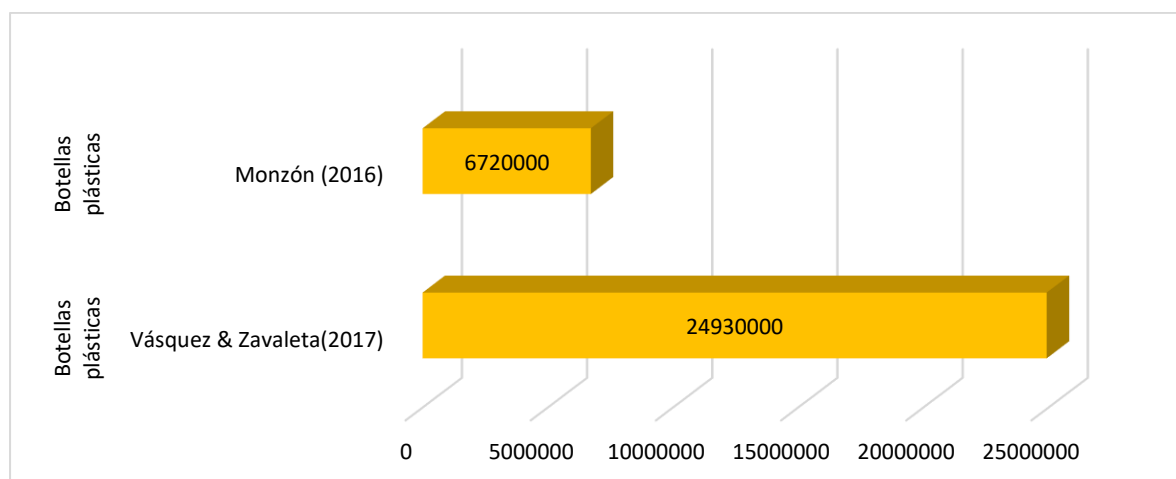


Figura 12

Crecimiento celular de *Scenedesmus acutus* según el tipo de sistema aplicado.

Interpretación

Según la Figura 12, el mayor crecimiento celular de *Scenedesmus acutus*, se obtuvo en Vásquez & Zavaleta (2017); quién aplico sistemas cerrados como las botellas plásticas a una escala de laboratorio, con un volumen neto de 1 litro en 15 botellas de 2 litros; sin embargo, Monzón (2016), aplico en su sistema 18 botellas plásticas con volumen neto de 2 litros, en dónde ambos aplicaron similares condiciones de cultivo en parámetros físico químicos y ambientales, pero emplearon diferentes medios de cultivo.

Tabla 12

Crecimiento celular de Scenedesmus acutus según tipo de medio de cultivo.

Estudio	Crecimiento celular (cel. mL ⁻¹)	Tipo de sistema de cultivo
Monzón (2016)	6720000	HM
Vásquez & Zavaleta (2017)	24930000	Agua residual de lagunas de estabilización.

Nota. La Tabla 10, se muestra el crecimiento celular según los medios químicos (HM) y alternativos (agua residual de lagunas de estabilización) empleados.

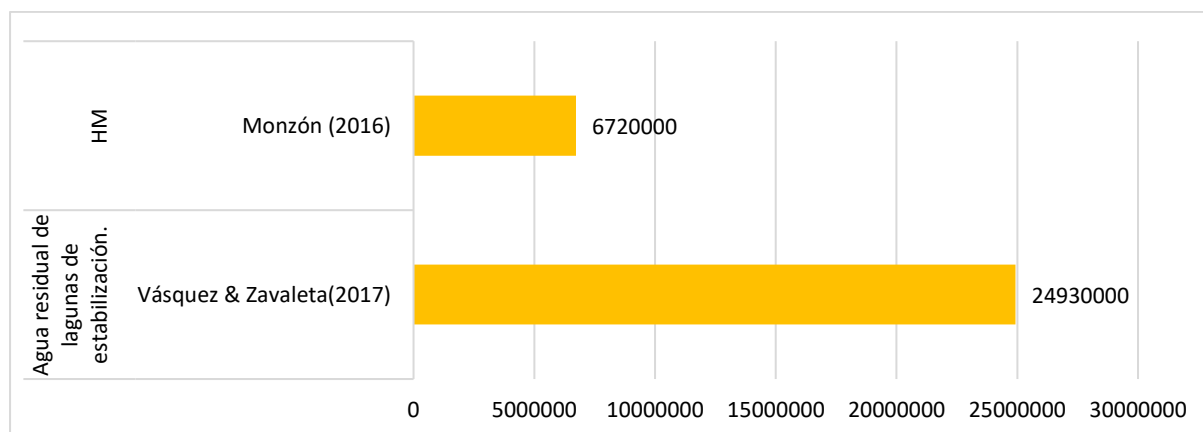


Figura 12

Crecimiento celular de Scenedesmus acutus según tipo de medio de cultivo.

Interpretación

Según la Figura 13, el mayor crecimiento celular de *Scenedesmus acutus* se realizó en medios residuales de lagunas de estabilización con 24930000 cel/ml en el estudio de Vásquez & Zavaleta (2017), debido a las cantidades de nutrientes como nitrógeno y fósforo que evidenciaron el análisis de estas aguas residuales, a diferencia del medio químico que uso Monzón (2016), que presento niveles mínimos de sales.

Tabla 13

Descripción de la producción de biomasa seca de Chlorella vulgaris y Scenedesmus acutus.

Tipo de microalga	Producción de biomasa seca (mg/L)	Temperatura °C	Medio cultivo /Sistema	de Estudio
<i>C.vulgaris</i>	180	25	CHU	Cobos, Castro & Cerdeira (2014)
<i>S. acutus</i>	127		Matraz Erlenmeyer	
<i>C.vulgaris</i>	69.8 61.5	28	Medios Residuales	Sacristán, et al (2014)
<i>S. acutus</i>			Matraz Erlenmeyer	

Nota. La Tabla 11, muestra presenta la producción de biomasa seca de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* en función a su temperatura en °C, medio de cultivo y tipo de sistema que obtuvo cada estudio seleccionado.

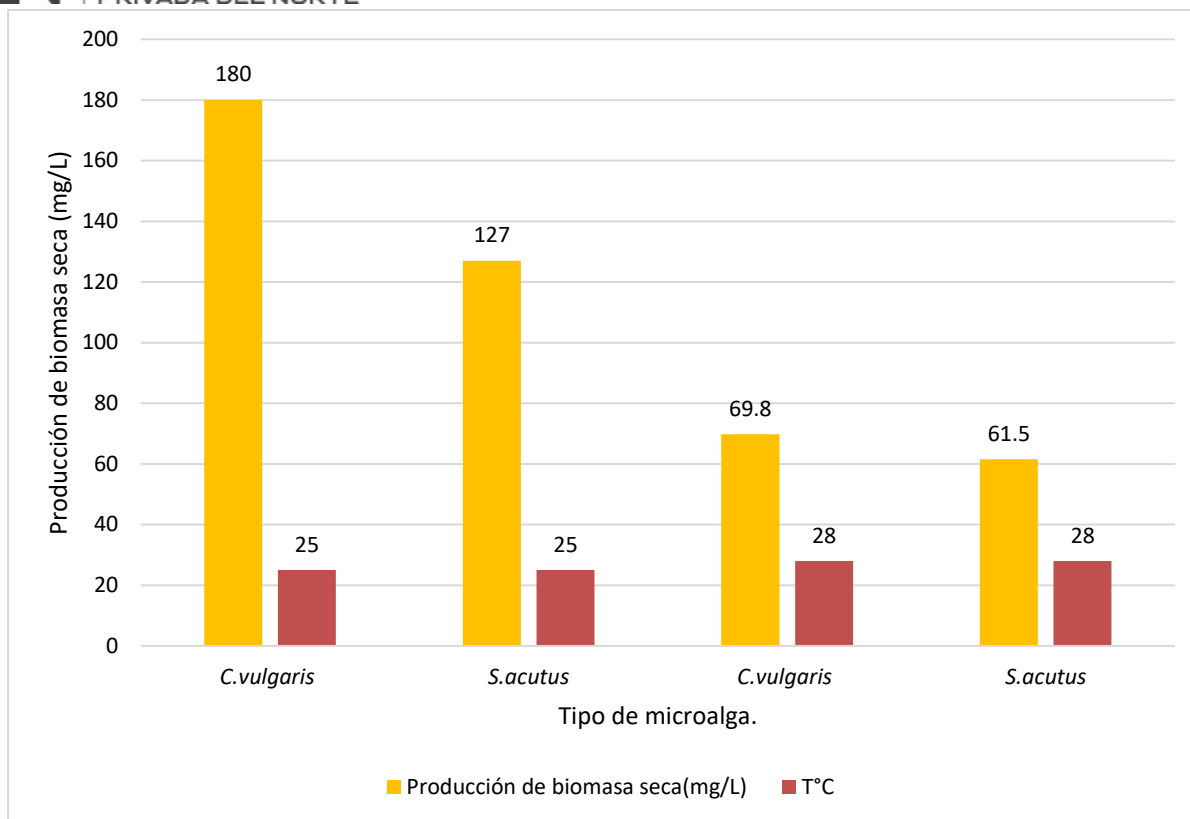


Figura 13

Producción de biomasa seca de Microalgas Scenedesmus acutus y Chlorella vulgaris en función de la temperatura.

Interpretación.

Según la Figura 14, Cobos et al. (2014) obtuvo la mayor producción de biomasa seca, llegando a obtener 180 mg/L en *Chlorella vulgaris* y 127 mg/L en la microalga *Scenedesmus acutus* a una temperatura de 25 °C en comparación con el estudio de Sacristán et al. (2014), que obtuvo 69.8 y 61.5 mg/L, respectivamente a una temperatura de 28 °C, por lo tanto, también podemos evidenciar que el método de cosecha en base a centrifugación usado por Cobos et al. (2014) fue más efectivo que el método de coagulación y floculación usado por Sacristán, et al. (2014), además el primer estudio cosechó a los 21 días mientras que el segundo a los 16 días.

Tabla 14

Cantidad de biomasa seca de Chlorella vulgaris y Scenedesmus acutus

Suma de Biomasa seca (mg/L)	Estudios		
	Tipo de microalga	Cobos, Castro & Cerdeira (2014)	Sacristán, M; et al (2014)
<i>Chlorella vulgaris</i>		180	69.8
<i>Scenedesmus acutus</i>		127	61.5

Nota. La Tabla 12, muestra la suma de la biomasa seca, obtenida en el período de cosecha de cada microalga según cada estudio analizado, para ellos se empleó una tabla dinámica que sumo los datos de biomasa seca de cada microalga, y los distribuyó según el estudio.

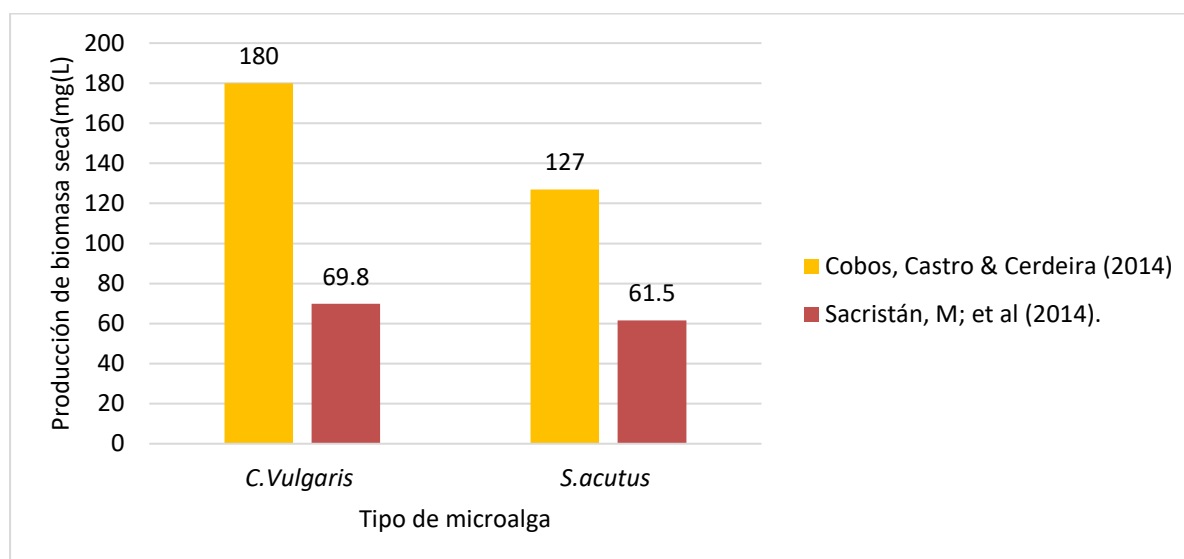


Figura 14.

Distribución de la biomasa según tipo de microalga.

Interpretación.

Según la Figura 15, la mayor producción de biomasa seca la obtuvo *Chlorella vulgaris* en los dos estudios analizados con 180 y 69.8 mg/L respectivamente.

Tabla 15

Cantidad de biomasa seca de Scenedesmus acutus y Chlorella vulgaris según medio de cultivo.

Suma de Biomasa seca	Medio de Cultivo	
	Agua residual (ARC)	CHU
<i>Chlorella vulgaris</i>	69.8	180
<i>Scenedesmus acutus</i>	61.5	127

Nota. En la tabla 13, se analizó la cantidad de biomasa seca, según los medios de cultivos tanto químicos (CHU), y alternativos (Agua residual de ARC), de la suma se obtuvo los valores más altos de biomasa en medios CHU.

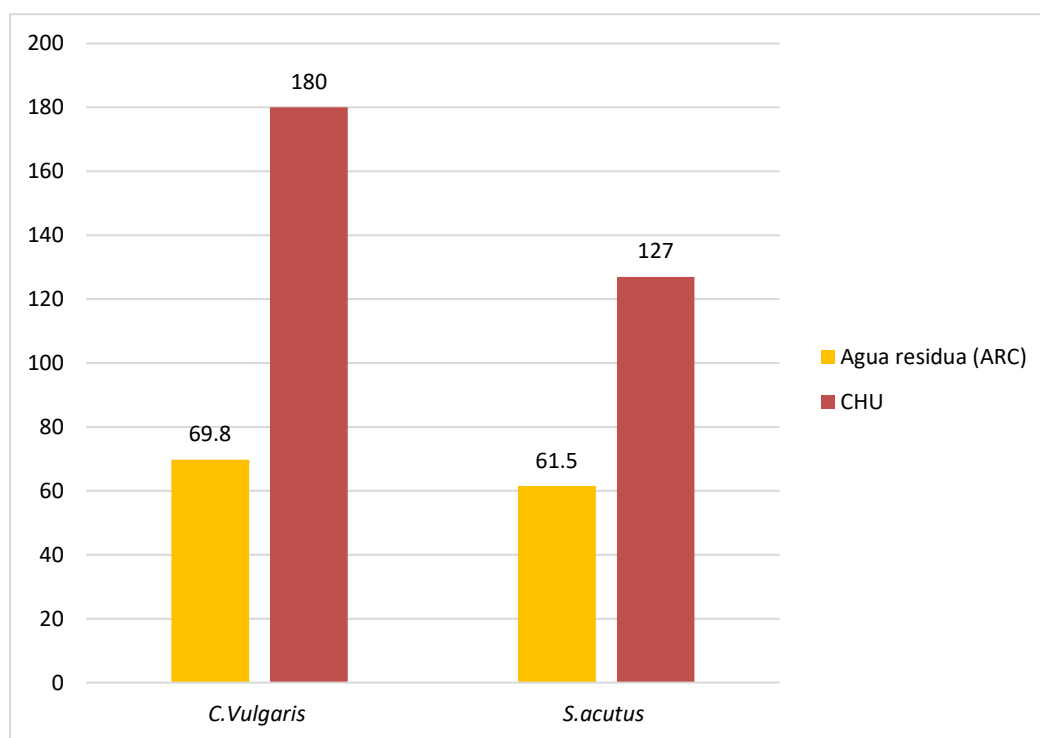


Figura 15.

Suma de biomasa seca por tipo de microalga y medio de cultivo.

Interpretación:

Según la figura 16, el estudio de Cobos *et al.* (2014), obtuvo niveles de biomasa seca más altos en los *C. vulgaris* (180 mg/L) y *S. acutus* (127 mg/L) aplicando medio de cultivo CHU, los cuales contienen más de 11 tipos de sales según el estudio, que ayudan al crecimiento celular, a comparación de Sacristán *et al.* (2014), quién aplico medios de cultivo residuales municipales, los cuales fueron tratados y esterilizados antes de su aplicación.

3.3.Descripción de la cantidad de biomasa lipídica de cada microalga.

Tabla 16

Producción lipídica de las microalgas Chlorella vulgaris y Scenedesmus acutus.

Tipo de microalga	Producción de lípidos g/L	Referencia
<i>Chlorella vulgaris</i>	0.0007	Heredia, <i>et al.</i> (2016)
<i>Chlorella vulgaris</i>	1.9200	Gómez y Rodríguez (2012)
<i>Chlorella vulgaris</i>	0.1070	Chía, Lombardi & Melao (2013)
<i>Scenedesmus acutus</i>	0.1943	Vásquez, D y Zavaleta, G (2017)
<i>Scenedesmus acutus</i>	0.3600	Sacristán, M; <i>et al</i> (2014)
<i>Chlorella vulgaris</i>	5.6360	Arce (2018)
<i>Chlorella vulgaris</i>	0.0396	Cobos, Castro & Cerdeira (2014)
<i>Scenedesmus acutus</i>	0.0356	Cobos, Castro & Cerdeira (2014)
<i>Scenedesmus acutus</i>	0.0170	Sacristán, <i>et al.</i> (2014)
<i>Chlorella vulgaris</i>	0.0156	Sacristán, <i>et al.</i> (2014)

Nota. En la tabla 14, se comparó la cantidad de producción de lípidos en g/L obtenidos en 8 estudios tanto para microalgas de *Scenedesmus acutus* como *Chlorella vulgaris*.

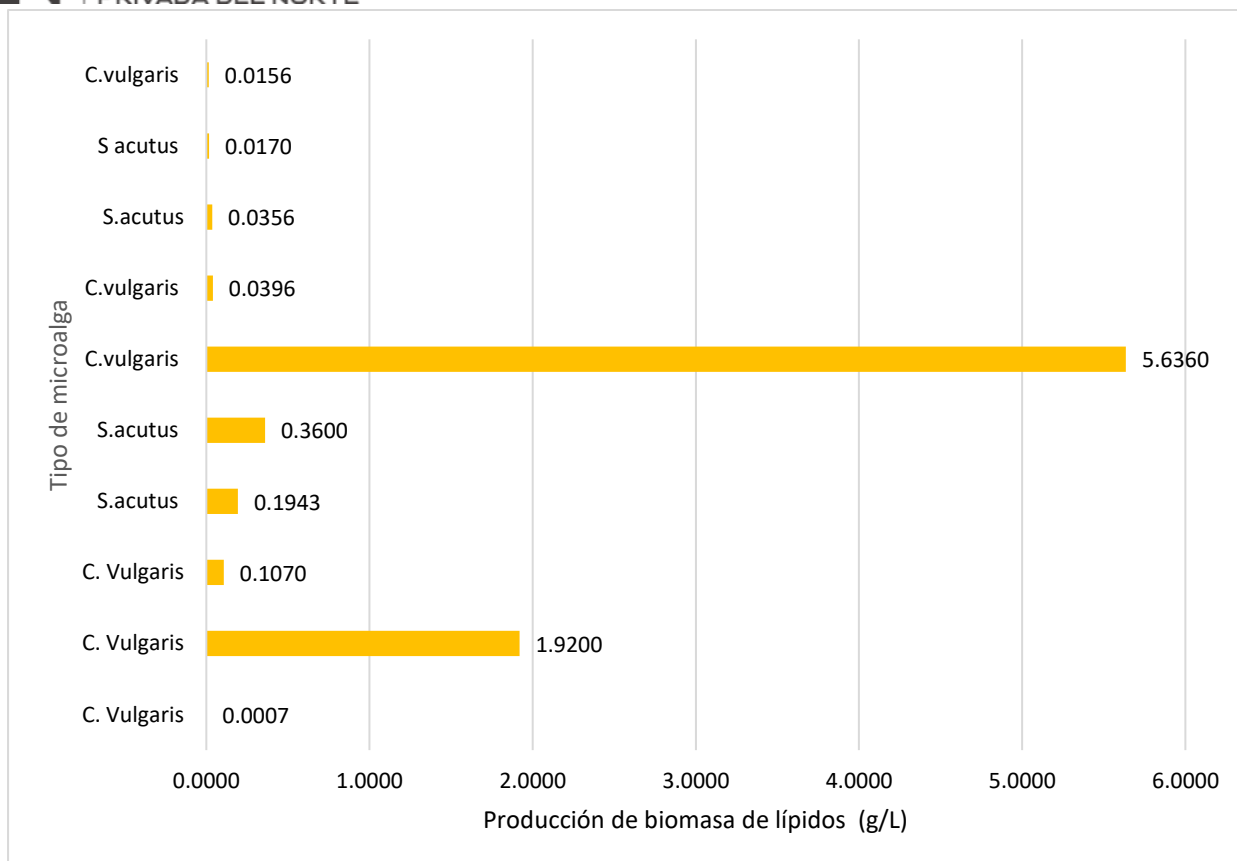


Figura 16

Distribución de cantidad de lípidos según tipo de microalga.

Interpretación.

Según la Figura 17, la mayor producción de lípidos la obtuvo la microalga *Chlorella vulgaris* con 5.6360 g/L, del estudio de Arce (2018), a nivel de laboratorio mediante un fotobiorreactor tubular aplicando medio de cultivo químico como el Bristol. Asimismo, Gómez & Rodríguez (2012) con 1.92 g/L, en cuanto a *Scenedesmus acutus*, Sacristán et al. (2014), obtuvo la mayor cantidad de lípidos con 0.36 g/L.

Tabla 17

Relación de biomasa seca con producción lipídica de Scenedesmus acutus y Chlorella vulgaris

Tipo de microalga	Biomasa seca (mg/l)	Producción de lípidos (%)	Medio de Cultivo	Referencia
<i>C.vulgaris</i>	180.00	22.00%	CHU	Cobos, Castro &
<i>S. acutus</i>	127.00	28.00%		Cerdeira (2014)
<i>C.vulgaris</i>	69.80	22.38%	Agua residual	Sacristán, M; et al
<i>S. acutus</i>	61.50	28.34%	(ARC)	(2014).

Nota. La Tabla 15 muestra la relación de la cantidad de biomasa seca en mg/L de cada microalga relacionada a la producción de lípidos en porcentaje obtenida de los estudios seleccionados, quienes analizaron a las dos tipos de microalga.

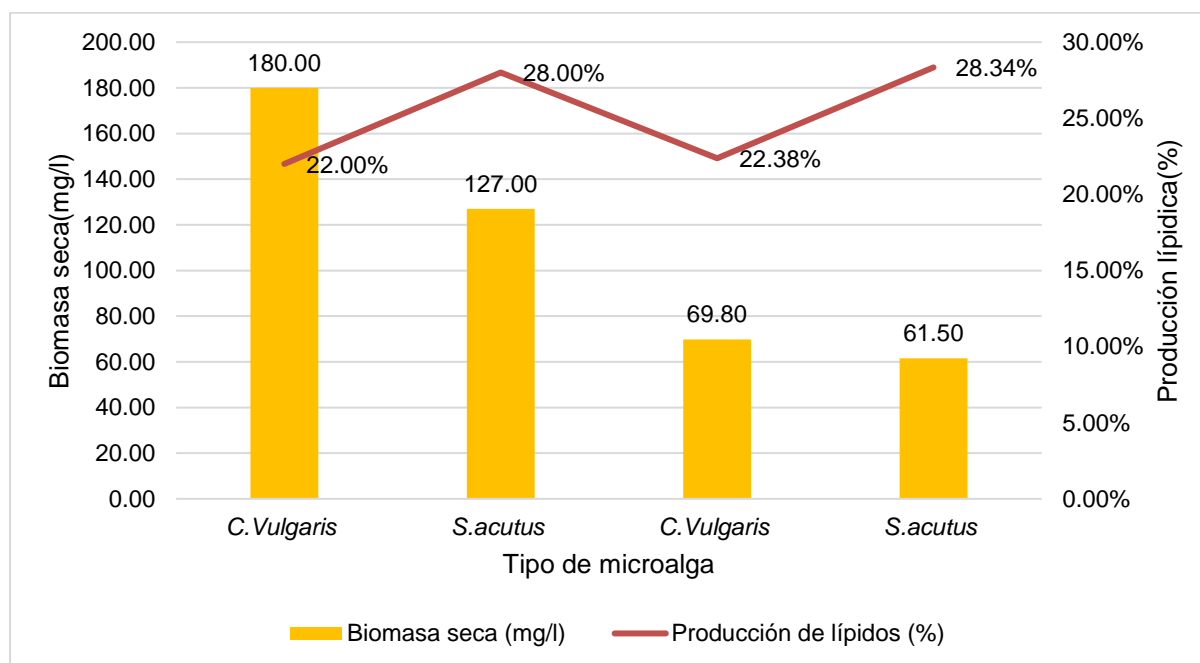


Figura 17

Distribución de biomasa seca y porcentaje de lípidos.

Interpretación

Según la Figura 18, las menores producciones de biomasa seca obtuvieron los más altos porcentajes de lípidos, así en el estudio de Cobos et al. (2014), obtuvo 127 mg/L de biomasa seca y 28 % de lípidos y Sacristán, et al (2014); obtuvo 61.50 mg/L de biomasa seca, pero obtuvo una producción de lípidos mayor con 28.34 %; por lo tanto, en la microalga *Scenedesmus acutus* se obtuvo la mayor cantidad de lípidos, y la microalga *Chlorella vulgaris* produjo la mayor cantidad de biomasa seca en mg/L.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

El estudio de Arce (2018) en la Tabla 1, muestra el máximo rendimiento de biodiésel a partir de lípidos extraídos de *Chlorella vulgaris*, obteniendo un rendimiento teórico al 100%; sin embargo, en su aplicación experimental mediante el método de transesterificación solo alcanzó un 85.6% de biodiésel; es decir, a partir de 1000 mg/L de lípidos obtuvo 856 mg/L, esto es debido al tipo de reactantes que emplean en la transesterificación, así Arce (2018) indica que la cantidad de reactantes empleados para la conversión de ácidos grasos en ésteres (cantidad de metanol=cantidad de biodiésel). Sin embargo, el solvente hexano produce el mayor rendimiento de aceite, pero también presenta la mayor pérdida del disolvente. Por otro lado, Sacristán et al. (2014), estudió que analizó a las dos tipos de microalga, su fase experimental solo llegó a la obtención de lípidos, estableciendo el mayor porcentaje de acumulación de lípidos en *Scenedesmus acutus* y determinando la cantidad de biodiésel teóricamente relacionando la cantidad de biomasa, y contenido de lípidos obtenidos de cada microalga, así en *Chlorella vulgaris* a partir de 218.65 mg/L de lípidos obtuvo 191.76 mg/L de biodiésel y en *Scenedesmus acutus* a partir de 278.87 mg/L obtuvo 244.54 mg/L respectivamente, esto podría explicarse en las condiciones del medio de cultivo en la fase de crecimiento de la microalga, que genera mayor acumulación de lípidos en *Scenedesmus acutus*; así Sacristán et al. (2014) alcanzó el mayor porcentaje de acumulación de lípidos en los medios ARC (Aclara que en los medios AE, la microalga crece de forma autótrofa, y en el ARC, crece de forma heterótrofa y mixototrofa).

En la Figura 4, se puede notar que el estudio de Arce (2018), posee también una diferencia significativa respecto a la obtención de biodiésel que Sacristán et al. (2014), esto es debido al tipo de sistema y medio de cultivo empleado en ambos estudios, en el primero se

aplica un medio de cultivo químico denominado Bristol y un volumen mayor mediante un fotobiorreactor tubular de aproximadamente 100 litros mientras que en el segundo, se emplea un medio alternativo (aguas residuales de lagunas de estabilización) y el diseño se desarrolló mediante matraces de Erlenmeyer con una capacidad de 2 litros.

Por otro lado, Hernández & Fernández (2016) indican tener en cuenta para la obtención de biodiésel, la caracterización de ácidos grasos, así *Chlorella vulgaris* obtuvo en su estudio obtuvo ácidos grasos libres (SFAS) en 52.3 % y ácidos grasos monoinsaturados un total de 26.5 %, sin embargo debido a los altos costos de producción a gran escala, la recomiendan más para la producción de alimentos, como omega 3 o 6. Por otro lado, Cobos et al. (2014), recomienda la realización de una caracterización de lípidos en cuanto a tipos de triglicéridos que presenta cada microalga, indicando que los ácidos altamente poliinsaturados (C₁₄-C₂₄), son los más adecuados para producción de metil ésteres o biodiésel a partir de microalgas, por otro lado manifiesta que una de las técnicas más efectivas para la determinación de lípidos es la cromatografía de gases.

Según la Tabla 2, el estudio de Gómez et al. (2011), obtuvo el mayor crecimiento celular de la microalga *C.vulgaris* con 430620000 cel/ml en 14 días, seguido de Gómez & Rodríguez (2012) con 78000000 cel/ml en 9 días, lo común que se determinó en estos estudios es la similitud del sistema de cultivo, ya que ambos usan sistemas abiertos batch y Raceway respectivamente, y además ambos aplican medios de cultivo enriquecidos como soja y medios residuales hidropónicos, a diferencia de Chía et al. (2013), quién obtuvo el menor crecimiento 84000 cel/ml en 18 días esto debido a que trabajó a nivel de laboratorio usando un volumen menor, ya que utilizó matraces de Erlenmeyer de una capacidad de 500 ml que contenían solamente 200 ml de cultivo.

En cuanto a los parámetros de temperatura que necesita tanto *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* para la obtención de una buena densidad celular, la Figura 6, muestra que

la temperatura idónea para el cultivo de *Chlorella vulgaris* está en el rango de 19 °C a 22 °C, puesto que a estas temperaturas se presenta el mayor crecimiento celular de *Chlorella vulgaris* con 430620000 y 78000000 cel/ml .Sin embargo; el estudio de Heredia et al. (2016); muestra también un crecimiento alto, pero a una temperatura de 28 °C, debido a que utiliza un sistema cerrado de fotobiorreactores de columna con burbujeo, lo que acondiciona el medio para un adecuado crecimiento, manteniendo la temperatura estable. Dentro de este rango están los estudios de Arce (2018); quién determina una temperatura optima de crecimiento para *Chlorella vulgaris* de 20 °C a nivel de laboratorio; sin embargo, a escalas mayores está temperatura suele variar por lo cual es necesario su control, puesto a que como lo indica Arce (2018), las variaciones de temperatura provocan cambios en la velocidad de crecimiento celular, así, Gómez & Rodríguez (2012) indica que la temperatura de *Chlorella vulgaris* es de 22 °C. Por otro lado, Sacristán et al. (2014) indica que la tasa de crecimiento celular depende también del tamaño de la microalga, así *Scenedesmus acutus* mide $10 \pm 0.5 \mu\text{m}$ y su forma es alargada, mientras que *Chlorella vulgaris* $5,5 \pm 0.5 \mu\text{m}$ y tiene forma esférica que le permite un crecimiento más homogéneo.

En comparación con *Chlorella vulgaris*, la microalga *Scenedesmus acutus* tolera rangos de temperatura más elevados, según la Figura 10, los rangos de temperatura para el crecimiento de *Scenedesmus acutus* estuvieron entre 24.4 °C y 26.4 °C, dónde el mejor crecimiento microalgal lo obtuvo Vásquez & Zavaleta (2017), con $24.93 \pm 0.86 \times 10^6$ cel/ml a una temperatura de 24.4 °C en su aplicación experimental, mencionado teóricamente una temperatura de 23,4 °C a 25 °C que rectifica la temperatura adecuada.

En La figura 7, se observa que los estudios que presentan mayor crecimiento celular de *Chlorella vulgaris*, están en medios de cultivo neutros con pH 7, así lo demostró el estudio de Gómez et al. (2011) con $430.62 \pm 2.34 \times 10^6$ cel/ml. Sin embargo, cabe recalcar que también el crecimiento celular depende de otras condiciones de cultivo, medios de cultivo, así como

sistemas de cultivo, como lo indica Salazar (2012), quién menciona que las microalgas necesitan parámetros que regulan su crecimiento como la calidad y cantidad de nutrientes, la luz, el pH, la agitación y mezcla, la salinidad y la temperatura. Por otro lado, la microalga *Scenedesmus acutus* a comparación con *Chlorella vulgaris*, soporta medios más básicos, así en la Figura 11, Vásquez & Zavaleta (2017) presenta el crecimiento celular más alto con $24.93 \pm 0.86 \times 10^6$ cel/ml a un pH de 8.56, este parámetro le permite según Vásquez & Zavaleta (2017) desarrollarse en aguas residuales y soportar elevadas concentraciones de nutrientes en aguas residuales resistiendo variaciones ambientales que las hacen vivir en ambientes extremos.

Según la Figura 8, los mayores crecimientos celulares de *Chlorella vulgaris* se presentan en sistemas abiertos de cultivo, como batch y Raceway, aplicados por los estudios de Gómez & Rodríguez (2012) con un crecimiento celular de 7.8×10^7 cel/ml y Gómez et al. (2011), quién obtuvo un crecimiento de 430620000 cel/ml. Sin embargo, en el estudio de Román & Pizarro (2018), también aplica sistemas abiertos pero el crecimiento es menor, esto se presenta, debido a que las condiciones de cultivo no son controladas a diferencia de Gómez et al. (2011), quienes aplican incluso un campo magnético que les proporciona densidades celulares máximas en menos tiempo de cultivo y en el caso de Gómez & Rodríguez (2012), quienes aplican sistemas Raceway con un volumen de 10 litros, este estudio controla la inyección de CO₂ y permite dejar pasar más iluminación al medio de cultivo para que las microalgas desarrollen mayor fotosíntesis puesto que usan un vidrio de poco espesor. Así lo afirma también Salazar (2012), quién menciona que los sistemas batch pueden ser más económicos, pero son más susceptibles a la contaminación, puesto que los parámetros de crecimiento no son controlados, lo contrario a un sistema cerrado como fotobiorreactores de columna o planos, que son mucho más caros, pero controlan las condiciones del crecimiento celular de las microalgas, puesto que te permite inyectar aire, CO₂, incluso regular la temperatura y la iluminación. Por otro lado, los estudios analizados en *Scenedesmus acutus*, presentaron similares condiciones de cultivo, según la

Figura 12, el mayor crecimiento celular de *Scenedesmus acutus* se presenta en sistemas cerrados, así Vásquez & Zavaleta (2017) obtuvo $24.93 \pm 0.86 \times 10^6$ cel/ml aplicando botellas plásticas a una escala de laboratorio, con un volumen neto de 1 litro en 15 botellas de 2 litros, sin embargo, Monzón (2016), aplico en su sistema 18 botellas plásticas con volumen neto de 2 litros obtuvo un crecimiento menor con 6720000 cel/ml, esto se debe a que ambos emplearon diferentes medios de cultivo, el primero empleo medios alternativos (aguas residuales municipales) y el segundo medio químico (HM).

Según la figura 9, el mayor crecimiento celular de la microalga *Chlorella vulgaris* se obtienen en medios residuales, así Gómez et al. (2011), obtuvo el máximo crecimiento de $430.62 \pm 2.34 \times 10^6$ cel/ml en un medio de agua residual de soja; así también Gómez & Rodríguez (2012), obtuvo el segundo crecimiento más elevado con 7.8×10^7 cel/ml empleando un medio residual hidropónico a diversas concentraciones (50, 25, 15 y 5 %), constituido por macronutrientes y micronutrientes, por lo cual los medios residuales con una alternativa viable para el cultivo de *Chlorella vulgaris*, así Ación et al. (2018) menciona que no requieren de tierras fértiles o agua utilizable para la agricultura y pueden crecer incluso en aguas contaminadas. Asimismo, la microalga *Scenedesmus acutus* también presenta mayores crecimientos celulares, según la Figura 13, el mayor crecimiento celular de *Scenedesmus acutus* se realizó en medios residuales de lagunas de estabilización con 24930000 cel/ml en el estudio de Vásquez & Zavaleta (2017), debido a las cantidades de nutrientes como nitrógeno y fósforo que evidenciaron el análisis de estas aguas residuales, a diferencia del medio químico que uso Monzón (2016), que presento niveles mínimos de sales.

Según la Figura 14, Cobos et al. (2014) obtuvo la mayor producción de biomasa seca, llegando a obtener 180 mg/L en *Chlorella vulgaris* y 127 mg/L en la microalga *Scenedesmus acutus* a una temperatura de 25°C en comparación con el estudio de Sacristán et al. (2014), que obtuvo 69.8 y 61.5 mg/L, respectivamente a una temperatura de 28 °C, por lo tanto también

podemos evidenciar que el método de cosecha en base a centrifugación usado por Cobos et al. (2014) es más efectivo que el método de coagulación y floculación usado por Sacristán, et al. (2014), además el primer estudio cosechó a los 21 días mientras que el segundo a los 16 días. En cuanto al tipo de microalga, de los estudios analizados, *Chlorella vulgaris* presenta la mayor producción de biomasa con 180 mg/L a diferencia de *Scenedesmus acutus* con 69.8 mg/L, como se presenta en la Figura 15. Esto se debe a las condiciones de cultivo en ambas microalgas, según la figura 16, el estudio de Cobos et al. (2014), obtuvo niveles de biomasa seca más altos en los *Chlorella vulgaris* (180 mg/L) y *Scenedesmus acutus* (127 mg/L) aplicando medio de cultivo CHU los cuales contienen más de 11 tipos de sales según el estudio que ayudan al crecimiento celular, a comparación de Sacristán et al. (2014), quién aplico medios de cultivo residuales municipales, los cuales fueron tratados y esterilizados antes de su aplicación.

La mayor producción de lípidos según la Figura 17, la obtuvo la microalga *Chlorella vulgaris* con 5.6360 g/L, del estudio de Arce (2018), aplicando un medio de cultivo Bristol, y un sistema cerrado como un fotobiorreactor tubular, seguida de Gómez & Rodríguez (2012) con 1.92 g/L, en cuanto a *Scenedesmus acutus*, Sacristán et al. (2014), obtuvo la mayor cantidad de lípidos con 0.36 g/L. Sin embargo, en la figura 18, las menores producciones de biomasa seca obtuvieron los más altos porcentajes de lípidos, así en el estudio de Cobos et al. (2014), obtuvo 127 mg/L de biomasa seca y 28 % de lípidos y Sacristán et al. (2014); obtuvo 61.50 mg/L de biomasa seca, pero obtuvo una producción de lípidos mayor con 28.34 %, por lo tanto, en la microalga *Scenedesmus acutus* se obtuvo la mayor cantidad de lípidos, y la microalga *Chlorella vulgaris* produjo la mayor cantidad de biomasa seca en mg/L. Sin embargo la producción de lípidos también obedece a las condiciones de cultivo, así Heredia et al. (2016), evaluó condiciones hidrodinámicas, en dos tipos de fotobiorreactores, en ambos a una velocidad de aireación de 1.8 vvm, obtuvo la mayor cantidad de biomasa seca (0.27 g/L), y

productividad de lípidos ($0.528 \text{ mg/L} \times \text{día}$), en un fotobiorreactor airlift anular (AA), y en el fotobiorreactor de columna de burbujeo anular (CBA), se obtuvo las cantidades más altas de biomasa seca con 0.30 g/L y una producción de lípidos de $0.650 \text{ mg/L} \times \text{día}$. Según, Hernández & Fernández (2016), señala que a bajas concentraciones salinas existe una mayor productividad de lípidos en la microalga *Chlorella vulgaris*, además señalan que el pH más recomendado es neutral con valores de 7 unidades, asimismo indica que de las 4 concentraciones salinas del medio de cultivo (0.1;02;03;04) empleadas, en las concentraciones de 0.3 M, se obtiene una cantidad de biomasa mayor de *Chlorella vulgaris* de 0.039 g/L al día y a pH de 7 una biomasa mayor de $0,452 \text{ g/L}$ al día. Por otro lado, Gómez & Rodríguez (2012), aplicaron concentraciones de 10, 15, 25 y 50 % de medio hidropónico para *Chlorella vulgaris*, obteniendo mayores crecimientos al 15 % infiriendo a que esta concentración se obtiene la cantidad de sales requeridas por la microalga para su mayor crecimiento, y sometiendo al igual que Hernández & Fernández (2016) a estrés a la microalga *Chlorella vulgaris* comprobando que al 10 % de concentración, se obtiene mayor cantidad de lípidos que al 15 %, referente que presentaba la mayor tasa de crecimiento, así obtuvo 8.9903 g de biomasa seca generando 1.92 g de lípidos. Gómez et al. (2011), aplicaron campos magnéticos para el crecimiento de microalgas señalando que es posible obtener una biomasa rica en lípidos, utilizando residual de soja a un CM de 0.03 T de forma permanente, así obtuvieron una biomasa seca de $3.48 \pm 0.03 \text{ pg cel}$. Chía et al. (2013), analizaron tres tipos de medios de cultivo (LC Oligo, Chu 10 y WC medios) para *Chlorella vulgaris*, determinando que en Chu 10 las concentraciones de lípidos son mayores; sin embargo, recomienda a Lc Oligo, por ser de bajo costo, y proporciona el mejor rendimiento de crecimiento y producción de biomasa, así obtuvo el peso seco más alto de biomasa de *Chlorella vulgaris*, aplicando LC Oligo, con $(16,82 \text{ pg de celda}^{-1})$, debido a las concentraciones altas del medio en N Y P, obteniendo una cantidad de lípidos de 10.7 g de lípidos por cada 100 gramos de biomasa seca. Vásquez & Zavaleta (2017), estudió el

crecimiento poblacional y el contenido de lípidos de la microalga *Scenedesmus acutus*, cultivada en concentraciones de 25, 50, 75 y 90 % de agua residual, obteniendo las mayores densidades el quinto día, con $20,56 \times 10^6$ ml en las tres últimas dosis, así mismo se obtuvo una concentración alta de lípidos de 27.98, a 25 %. Sacristán et al. (2014). Realizó la extracción de los lípidos mediante cloroformo: metanol y sonicador, aplicando gravimetría, obteniendo mayor producción de biomasa y lípidos en *Scenedesmus acutus*, la cual presento 1.28 g/L, 28.3 % respectivamente. Siendo el método de ARC el más eficiente por la mayor producción de biomasa principalmente de *Scenedesmus acutus*.

Todo lo presentado permite responder a nuestras hipótesis, mencionado que tanto *Chlorella vulgaris* como *Scenedesmus acutus* presentan capacidad de producción de lípidos para la generación de biodiésel, y esto depende de los medios de cultivo, sistemas de cultivo, así como las condiciones físico químicas del medio y ambiente. Según todas las metodologías utilizadas.

Las limitaciones de esta investigación estuvieron relacionadas al análisis y transformación de la información documental y a la adecuación a herramientas de análisis gráficas como el Forest Plot.

4.2 Conclusiones

Se estudió la capacidad de producción de biodiésel a partir de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* en los últimos 10 años, concluyendo que la microalga *Chlorella vulgaris* en el estudio de Arce (2018), obtuvo la mayor producción de biodiésel produciendo un total de 856 ml a partir de 1000 ml de lípidos. Sin embargo, Sacristán et al. (2014) para *Chlorella vulgaris* obtuvo 218.65 de mg/L de lípidos generando 191.76 mg/L de biodiésel; aplicando medios residuales; para el caso de *Scenedesmus acutus*, en medio ARC (agua residual cruda generó una cantidad mayor que en *Chlorella vulgaris*, de lípidos con 278.87 mg/L generando 244.54 mg/L de biodiésel.

Se determinó el crecimiento celular en *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* en función a parámetros físico químicos en 11 estudios, obteniendo el mayor crecimiento en *Chlorella vulgaris* por el estudio de Gómez et al. (2011) con $430.62 \pm 2.34 \times 10^6$ cel/ml a pH de neutro y a una temperatura óptima de 22 °C. En cuanto a *Scenedesmus acutus*, el mayor crecimiento lo alcanzó Vásquez & Zavaleta (2017), con un total de $24.93 \pm 0.86 \times 10^6$ cel/ml; a un pH de 8.56 y a 24.4 °C, aplicando medios de cultivos de aguas residuales de lagunas de estabilización y botellas PET.

Al evaluar la cantidad de biomasa de lípidos en los 11 estudios analizados, se obtuvo que la mayor producción de lípidos la alcanzó la microalga *Chlorella vulgaris* con 5.6360 g/L, del estudio de Arce (2018), aplicando un medio de cultivo Bristol, y un sistema cerrado como un fotobiorreactor tubular, en cuanto a *Scenedesmus acutus*, Sacristán et al. (2014), obtuvo la mayor cantidad de lípidos con 0.36 g/L. Sin embargo, las menores producciones de biomasa seca produjeron los más altos porcentajes de lípidos, así en el estudio de Cobos et al. (2014), se obtuvo 127 mg/L de biomasa seca y 28 % de lípidos y Sacristán et al. (2014); obtuvo 61.50 mg/L de biomasa seca, pero consiguió una producción de lípidos mayor con 28.34 %, por lo

tanto, en la microalga *Scenedesmus acutus* se obtuvo la mayor cantidad de lípidos, y la microalga *Chlorella vulgaris* produjo la mayor cantidad de biomasa seca en mg/L.

REFERENCIAS

- Acién, F., Fernández, J. y Molina, E. (2018). Contribución de las microalgas al desarrollo de la bioeconomía. *Mediterráneo Económico*(31), 309-331. doi: 1698-3726
- Adamakis, L., Lazaridis, P., Terzopoulou, E., Torofias, S., Valari, M., Kalaitzi, P., Rousonikolos, V., Gkoutzikostas, D., Zouboulis, A., Zalidis, G. y Triantafyllidis, K. (2018). Cultivation, characterization, and properties of *Chlorella vulgaris* microalgae with different lipid contents and effect on fast pyrolysis oil composition. *Environmental science and pollution research international*, 25(23), 23018-23032. doi:1614-7499
- Alcantara, A. (2014). *Modelado y optimización del proceso de producción y uso de biodiesel*. España: Universidad de Córdoba. Obtenido de <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/12387/2014000001007.pdf?sequence=1>
- Álvarez, A., López, Y., Vásquez, M., Gonzáles, A. y Barajas, A. (2017). Obtención de lípidos y carbohidratos a partir de microalgas mediante el diseño de medios de cultivo selectivos. *Tecno Lógicas*, 20(38), 85-96. doi: 0123-7799
- Aramayo, M. (2018). *Ley que modifica diversos artículos de la ley 28054, ley para la promoción del mercado de biocombustibles*. Lima. Obtenido de http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/2016_2021/Proyectos_de_Ley_y_de_Resoluciones_Legislativas/PL0332520180911.pdf
- Arce, J. (2018). *Caracterización fisicoquímica de biodiesel a partir de la microalga *Chlorella vulgaris*, obtenida en Fotobioreactor Tubular*. Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6845/QUarpoja.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Arias, M., Martínez, A., Cañizares, R. (2013). Producción de biodiésel a partir de microalgas: Parámetros del cultivo que afectan a la producción de lípidos. *Acta Biológica Colombiana*, 18(1), 43-68. ISSN: 0120-548X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319028010004>
- Astocondor, M., Mayta, E., Montoya, H. y Tarazona, D. (2017). Crecimiento Poblacional y Productividad de la Microalga Nativa *Chlorella* peruviana bajo Diferentes Salinidades. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, RIVEP*, 28(4), 976-986. Doi:976-986
- Baselga, B., López, C., García, C. y Costas, E. (2018). Microalgae: the first nuclear engineers *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 79(4), 634-645. Obtenido de <http://ebook.ranf.com/anales7904/files/assets/basic-html/index.html#119>
- Campos, S. y Salazar, S. (2013). *Diseño de una planta para la producción de biodiésel a partir de la semilla de Higuierilla en el valle de condebamba, Cajamarca*. Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/196/Sandra%20Campos%20y%20Shirley%20Salazar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castillo, O., Torres, S., Núñez, C., Peña, V. Herrera, C. y Rodríguez, N. (2017). Producción de biodiésel a partir de microalgas: avances y perspectivas biotecnológicas. *Hidrobiológica*, 27(3), 337-352. doi:0188-8897
- Cerón, M. (2013). *Producción de microalgas con aplicaciones nutricionales para humanos y animales*. Cuadernos de estudios agroalimentarios, Universidad de Almería. doi: 2173-7568 | 87-105

- Chía, M., Lombardi, A. y Melao, M. (2013). Growth and biochemical composition of *Chlorella vulgaris* in different growth media. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 85(4), 1427-1438. doi:0001-3765
- Cobos, R., Castro, J. y Cerdeira, L. (2014). Potencial biotecnológico para la producción sustentable de biodiésel de microalgas oleaginosas aisladas del río Itaya, Lorero, Perú. *Ecología Aplicada*, 13(2). doi:1726-2216
- Comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2017). *Indicadores de Cambio Climático en América Latina y el Caribe*. Reunión de Expertos Regionales Estadísticas e Indicadores Ambientales, Santiago, Chile. Obtenido de https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/s5_rquiroya_estadisticas-indicadores-cambio-climatico_0.pdf
- Consejo Nacional de ciencia tecnología e innovación tecnológica (CONCYTEC) (2019). Código nacional de la integridad científica. Obtenido de https://portal.concytec.gob.pe/images/publicaciones/codigo_integr/codigo_nacional_integridad_cientifica.pdf
- Dammert, J., Cárdenas, C., Canziani, E. (2012). *Potencias impactos ambientales y sociales del establecimiento de cultivos de palama aceitera en Loreto*. Lima. Obtenido de <http://www.biofuelobservatory.org/Documentos/Otros/Potenciales-Impactos-Ambientales-y-Sociales-del-establecimiento-de-Cultivos-de-Palma-Aceitera-en-el-Departamento-de-Loreto.pdf>
- Dautor, Y. (2014). *Microalgas modificadas genéticamente para la producción de biodiesel*. España: Universidad de Almería. Obtenido de <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=FJA1PID3jXk%3D>

- Fernández, D y Hernández, G. (2016). Evaluación de las incidencias de Salinidad y pH sobre la biomasa, productividad y acumulación de lípidos en cultivos de *Chlorella Vulgaris* en un Fotobiorreactor de Placa Plana. *ITECKNE*, 13(1), 44-56. doi:2339-3483
- Follano, F. (2015). *Obtención de microalgas, y producción de biodiesel mediante simulación, como estrategia de mitigación del Co2 de la Atmosfera*. Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3975/IQfopaf073.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Galan, M. (2010). Ética de la investigación. *Revista iberoamericana de educación.*, 1-2. Obtenido de <https://rieoei.org/historico/jano/3755GalnnJano.pdf>
- Gómez, C y Rodríguez, J. (2012). *Efecto del estrés inducido por deficiencia de sales nutritivas en un sistema de cultivo Raceway Awl de las microalgas Chlorella vulgaris y Scenedesmus dimorphus en la obtención de aceite*. Arequipa. Obtenido de <https://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/3801/42.0090.IB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gómez, L., Álvarez, I. y Rivero, R. (2011). Cultivo de *Chlorella vulgaris* sobre residual de soja con la aplicación de un campo magnético. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 8(2), 27-36. doi:0123-3475
- Guamán, M. y Gonzales, N. (2016). *Catálogo de microalgas y diatomeas de agua dulce en el Ecuador*. Obtenido de <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/Catlogo-de-Microalgas-y-Cianobacterias-del-Ecuador.pdf>
- Heredia, J., Sacramento, J., Ruiz, A. Baz, S., Canedo, Y. y Narváez, A. (2016). Evaluación de crecimiento celular, remoción de nitrógeno y producción de lípidos por *Chlorella vulgaris* a diferentes condiciones de aireación en dos tipos de fotobiorreactores

anulares. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 361-377. Obtenido de
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62046829006>

Hernández, C. y Baptista, L. (2017). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Hernández, A. y Labbé, J. (2014). *Microalgas, cultivo y beneficios*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, Chile. doi:10.4067/S0718-19572014000200001

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2010). *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas*. San José-Costa Rica: Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles. Obtenido de <http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/IICA/Atlas%20de%20Bioenergia%20y%20Combustibles%202.pdf>

Jaramillo, J (2011). *Evaluación tecno-Económica de la producción de bicomcombustibles a partir de microalgas*. Colombia. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/6751/1/8110005.2012.pdf>

Medina, I., Chávez, V. y Jáuregui, J. (2012). *Biodiésel, un combustible renovable*. *Investigación y Ciencia*, 20 (55), 62-70. ISSN:1665-4412. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67424409008>

MINAM. (2016). *Inventario Nacional de gases de efecto invernadero INGEI (2012)*. Lima. Obtenido de <http://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/2012.pdf>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). *Ley de la promoción del mercado libre de biocombustibles*. Lima. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28054.pdf>

- Monzón, M. (2016). *Efecto del cultivo de la microalga scenedesmus acutus en la remoción de nutrientes y carga bacteriana a diferentes diluciones de aguas residuales municipales del distrito de Chimbote – Ancash*. tesis, Ancash. Obtenido de <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3109/42830.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- León, et al. (2019). Compromiso con la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. *Actualidades Investigativas en Educación*, 348-378. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-47032019000100348&lang=es
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). *El trabajo de la Fao sobre el cambio climático*.
- Pérez, J. (2016). Biocombustibles. *FCE-Fondo de Cultura Económica*. Obtenido de <https://elibro-net.eu1.proxy.openathens.net/es/lc/upnorte/titulos/110626>
- Pienkos, J., Laurens, L., Aden, A. (2012). Biocombustibles de microalgas. *Investigación y Ciencia* (427), 50-58. doi:0210-136X
- Porcelli, A. y Martínez, A. (2018). Una Inevitable Transición Energética: El Prosumidor Y La Generación De Energías Renovables En Forma Distribuida En La Legislación Argentina Nacional Y Provincial. *Actualidad Jurídica Ambiental*. doi: 1989-5666
- Ramos, R y Pizarro, R. (2018). Crecimiento y capacidad de biorremediación de *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) cultivada en aguas residuales generadas en el cultivo del pez dorado *Seriola lalandi* (Perciformes: Carangidae). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 53(1), 75-86. doi: 0718-1957
- Rubio, M. (Febrero de 2011). Microalgas, el petróleo verde. *Técnica Industrial*(291), 16-19. doi:0040-1838

- Sacristán, M., Luna, V., Cadena, E. y Alva, M. (2014). Producción de biodiésel a partir de microalgas y una cianobacteria cultivadas en diferentes calidades de agua. *Agrociencia*, 48(3), 271-284. doi: 1405-3195
- Salazar, L. (2012). *Evaluación de los métodos de extracción de aceite de microalgas para la producción de Biodiesel*. Piura: Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1490/ING_508.pdf
- Salomón, C., Cravero, M., Rost, R., Carstens, M., Parra, A. y Albarracín, I. (2015). Cultivo en efluentes urbanos del alga *Scenedesmus quadricauda* (*Sphaeropleales: Scenedesmaceae*) y su potencial para biodiesel: perfil de ésteres metílicos de ácidos. *Cuadernos de Investigación UNED*, 6(2), 213-221. doi:1659-4266
- Tejeda, B., Henao, D., Alvear, M. y Castillo, C. (2015). Caracterización y perfil lipídico de aceites de microalgas. *Revista Facultad de Ingeniería*, 24(39), 43-54. doi:0121-1129
- Vásquez, D. y Zavaleta, G. (2017). *Crecimiento poblacional y contenido de lípidos de la microalga Scenedesmus acutus cultivada con diferentes concentraciones de aguas residuales municipales en condiciones de laboratorio*. Nuevo Chimbote -Perú. Obtenido de <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2577/42733.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vinicius, M., Silva, P., Randow, R. (2019). Modelagem do crescimento de microalgas. *Research, society and development.*, 8(1). doi:<https://rsd.unifei.edu.br/index.php/rsd/article/view/511/580>

ANEXOS

Anexo 1. Base de datos.

N	Autores	Título	Año	País	Base de Datos	tipo de estudio	Palabra clave
1	Fernández, D y Hernández, G	Evaluación de las incidencias de Salinidad y pH sobre la biomasa, productividad y acumulación de lípidos en cultivos de <i>Chlorella vulgaris</i> en un Fotobiorreactor de Placa Plana	2016	Colombia	Scielo	artículo científico	<i>Chlorella vulgaris</i>
2	Ramos, R y Pizarro, R	Crecimiento y capacidad de biorremediación de <i>Chlorella vulgaris</i> (Treboxiophyceae, Chlorophyta) cultivada en aguas residuales generadas en el cultivo del pez dorado <i>Seriola lalandi</i> (Perciformes: Carangidae)	2018	Chile	Scielo	artículo científico	<i>Chlorella vulgaris</i>
3	Cobos R, Castro, J y Cerdeira L	Potencial biotecnológico para la producción sustentable de biodiésel de microalgas oleaginosas aisladas del río Itaya, Lorero, Perú.	2014	Lima-Perú	Scielo	artículo científico	biodiésel
4	Sacristán, M; et al	Producción de biodiésel a partir de microalgas y una	2014	México	Scielo	artículo científico	biodiésel

							cianobacteria cultivada en diferentes calidades de agua
5	Vásquez, D y Zavaleta, G	20 17	Nuevo Chimbote - Perú	Alici a	tesis de grado	<i>Scenedes mus acutus</i>	Crecimiento poblacional y contenido de lípidos de la microalga <i>Scenedesmus acutus</i> cultivada con diferentes concentracione s de aguas residuales municipales en condiciones de laboratorio
6	Monzón, M	20 16	Ancash-Perú	Alici a	tesis de grado	<i>Scenedes mus acutus</i>	Efecto del cultivo de la microalga <i>Scenedesmus acutus</i> en la remoción de nutrientes y carga bacteriana a diferentes diluciones de aguas residuales municipales del distrito de Chimbote – Ancash
7	Gómez, C y Rodríguez, J	20 12	Arequipa- Perú	Alici a	tesis de grado	<i>Scenedes mus acutus</i>	Efecto del estrés inducido por deficiencia de sales nutritivas en un sistema de cultivo Raceway Awl de las microalgas <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus dimorphus</i> en la obtención de aceite.

8	Arce, J	Caracterización fisicoquímica de biodiesel a partir de la microalga <i>Chlorella vulgaris</i> , obtenida en Fotobiorreactor Tubular	20 18	Arequipa- Perú	Alici a	tesis	<i>Chlorella vulgaris</i>
9	Tejada, L; et al	Caracterización y perfil lipídico de aceites de microalgas	20 15	Colombia	ProQ uest	artículo científico	<i>Chlorella vulgaris</i>
1 0	Gomes, L; Álvarez & Rivero, R	Cultivo de <i>Chlorella vulgaris</i> sobre residual de soja con la aplicación de un campo magnético	20 11	Colombia	Reda lyc	Artículo científico	<i>Chlorella vulgaris</i>
1 1	Chía, M; Lombardi, A y Melao, M	Growth and biochemical composition of <i>Chlorella vulgaris</i> in different growth media.	20 13	Brazil	Reda lyc	Artículo científico	<i>Chlorella vulgaris</i>

Anexo 2. Matriz de consistencia.

Título	Formulación de problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Diseño de la Investigación
“ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL A PARTIR DE <i>Chlorella vulgaris</i> Y <i>Scenedesmus acutus</i> EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS.”	<p>Problema general:</p> <p>¿Cuál es la capacidad de producción de biodiésel de la <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus acutus</i> estudiada en los últimos 10 años?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Estudiar la capacidad de producción de biodiésel a partir de <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus acutus</i></p>	<p>Hipótesis general</p> <p><i>Chlorella vulgaris</i> presenta mayor producción de biodiésel que <i>Scenedesmus acutus</i>.</p>	<p>Variable:</p> <p>Capacidad de Producción de biodiésel.</p>	<p>Parámetros</p> <p>físicoquímicos: pH, Temperatura</p> <p>Medios de cultivo.</p> <p>Tipos de sistemas de cultivo.</p>	<p>La presente investigación es de tipo documental, no experimental, consistió en el análisis documental de 11 estudios, en dónde se analizó los métodos de cultivo, medios de cultivo, cosecha de microalgas <i>Scenedesmus acutus</i> y <i>Chlorella vulgaris</i>, parámetros físico químicos (Temperatura y pH) en función a los valores más altos de crecimiento celular, obtención de biomasa seca, cantidad de lípidos y producción de biodiésel obtenidos de cada estudio seleccionado, representados en tablas y analizados en gráficas, con aplicaciones de la herramienta de Forest Plot y Excel, que nos ayudó a representar factores de crecimiento celular, pH, Temperatura y producción de biodiésel.</p>
	<p>Problemas específicos:</p> <p>- ¿De qué manera los factores fisicoquímicos (pH, y Temperatura influyen en el crecimiento de las</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Describir el crecimiento celular de las microalgas <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus acutus</i></p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p><i>Chlorella vulgaris</i> presenta mayor crecimiento celular que <i>Scenedesmus acutus</i>, proporcional a la temperatura y pH.</p> <p><i>Scenedesmus acutus</i>, presenta mayor contenido</p>			

microalgas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*? en función a parámetros fisicoquímicos como T °C y pH. ¿Cuál es la cantidad de biomasa lipídica de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*? Describir la cantidad de biomasa lipídica de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* para la producción de biodiésel. Lípido que *Chlorella vulgaris* para la producción de biodiésel.

Anexo 3. Condiciones ambientales y fisicoquímicas establecidas para el cultivo de microalgas *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*.

Tipo de microalga	pH	Iluminación	Fotoperiodo	Aireación	Temperatura	OD (mg/l ¹)	Salinidad	Referencia
<i>C. Vulgaris</i>	7.5-8.5	500 a 800 lx	12 horas de luz /12 horas de oscuridad por triplicado	de 60 a 100 burbujas/s	23-27.3	-	-	Arce (2018)
	8,30		-		27,26	4,8	35,03	Ramos y Pizarro (2018)
	7.0	110.35 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$	-	0.45 Lmin^{-1} .	20	-	-	Gómez, Álvarez y Rivero (2011)
	7	8 W	12 horas días y 12 horas noche	3.4 L/min	25	-	-	Fernández y Hernández (2016)
	(7.5 a 8),	4000 o 5000 lux,	18 horas luz y 6 20°C horas noche	3 bombas de pecera (Hp-200				Gómez y Rodríguez (2012)
	7	150 $\text{nmol.m}^{-2}\text{S}^{-1}$),	luz/oscuridad factor 16/8 h)		20 y 24			Chía, Lombardi y Melao (2013)
	7	16000 lx		0.4vvm	28			Heredia; et al (2016)
<i>S. acutus</i>		2000 lx		500 mL min^{-1}				Vásquez y Zavaleta (2017)
		40W (2000 lx)		500 mL				Monzón (2016)
<i>S. acutus</i> y <i>C. vulgaris</i> .		37 klx	Luz: oscuridad de 12H:12h.		25°C			. (Sacristán, et al,2014)
	28°C			Agitación de 110 rpm				Cobos, Castro y Cerdeira, 2014)

Nota. En esta tabla se muestra las características fisicoquímicas y ambientales aplicadas en todos los medios de cultivo de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*.

Anexo 4. Crecimiento celular de *Chlorella vulgaris*, en relación con parámetros (pH, Temperatura), medio y sistema de cultivo.

Crecimiento celular (cel/ml)	Parámetros fisicoquímicos.			Referencia
	Temperatura	pH	Medio de cultivo /Sistema	
9037500	27.3	7.40	Fotobiorreactor tubular/Bristol	Arce (2018)
2,8 x 10 ⁶	27.26	8,25	Batch estanques cilíndrico/efluente del pez dorado Seriola Lalandi	Román y Pizarro (2018)
1.71x10 ⁷	25	7	Fotobiorreactor de placa plana de polimetil-metacrilato	Fernández y Hernández (2016)
14,3 x 10 ⁶	-	7	Fotobiorreactores anulares / aguas residuales.	Heredia et al, (2016)
0,84 x 10 ⁴	20	7	Matraz de Erlen Meyer/ Lc Oligo	Chía, Lombardi & Melao (2013)
7.8 x 10 ⁷	19	7	Raceway/ Medio hidropónico	Gómez y Rodríguez (2012)
430.62±2.34 x 10 ⁶	22	7	Batch/ Soja	Gómez, Álvarez y Rivero (2011)

Anexo 5. Tablas de datos usadas para la elaboración de gráficas con la Herramienta Forest Plot.

ESTUDIO	CRECIMIENTO	TIPO DE SISTEMA	ORDEN	SISTEMA	R.max.
Gómez, Álvarez y Rivero (2011)	430620000	Batch	7	-65000000	430620000
Gómez y Rodríguez (2012)	78000000	Raceway	6	-65000000	430620000
Heredia et al, (2016)	17100000	Fotobiorreactor de placa plana de polimetil- metacrilato	5	-65000000	430620000
Fernández y Hernández (2016)	14300000	Fotobiorreactores anulares	4	-65000000	430620000
Chía, Lombardi & Melao (2013)	9037500	Fotobiorreactor tubular	3	-65000000	430620000
Arce (2018)	2800000	Batch estanques cilíndrico	2	-65000000	430620000
Román y Pizarro (2018)	8400	Matraz de Erlenmeyer	1	-65000000	430620000

Nota. Se muestra los datos de crecimiento celular de *Chlorella vulgaris* en función al tipo de sistema usado, para el Forest Plot se ordenó de manera descendente y se colocó un Rango máximo para identificar cuál era el mejor tipo de sistema a emplear en *Chlorella vulgaris*.

ESTUDIO	CRECIMIENTO CELULAR	TIPO DE MEDIO DE CULTIVO	ORDEN	MEDIO DE CULTIVO	R.max
Gómez, Álvarez y Rivero (2011)	430620000	Agua residual de ablandamiento de soya	7	-65000000	430620000
Gómez y Rodríguez (2012)	78000000	Medio hidropónico	6	-65000000	430620000
Heredia et al, (2016)	17100000	f/2 de Guillar y Ryther (1962)	5	-65000000	430620000
Fernández y Hernández (2016)	14300000	0.1, 0.2, 0.3, 0.4 M HCl y NaOH	4	-65000000	430620000
Chía, Lombardi & Melao (2013)	9037500	Lc Oligo	3	-65000000	430620000
Arce (2018)	2800000	Bristol	2	-65000000	430620000
Román y Pizarro (2018)	8400	Efluente del pez dorado <i>Seriola Lalandi</i>	1	-65000000	430620000

Nota. Se muestra los datos de crecimiento celular de *Chlorella vulgaris* en función al tipo de medio de cultivo, para el Forest Plot.

Estudio	Crecimiento celular	pH	Orden	Ref.	Crecimiento	Rango mínimo	Rango máximo
Gómez, Álvarez y Rivero (2011)	430620000	7	1	8.75	6.5	7	8.25
Gómez y Rodríguez (2012)	78000000	7	2	8.75	6.5	7	8.25
Heredia et al, (2016)	14300000	7	3	8.75	6.5	7	8.25
Fernández y Hernández (2016)	1710000	7	4	8.75	6.5	7	8.25
Chía, Lombardi & Melao (2013)	84000	7	5	8.75	6.5	7	8.25
Arce (2018)	9037500	7.4	6	8.75	6.5	7	8.25
Ramos y Pizarro (2018)	2800000	8.25	7	8.75	6.5	7	8.25

Nota. Se muestra los datos de crecimiento celular de *Chlorella vulgaris* en función al pH del medio de cultivo, para el Forest Plot

Estudio	Crecimiento celular	Temperatura (°C)	Orden	Crecimiento	Ran min	Ran máx.
Heredia et al, (2016)	14300000	28	7	5	19	28
Ramos y Pizarro (2018)	2800000	27.8	6	5	19	28
Arce (2018)	9037500	27.3	5	5	19	28
Fernández y Hernández (2016)	1710000	25	4	5	19	28
Gómez, Álvarez y Rivero (2011)	430620000	22	3	5	19	28
Chía, Lombardi & Melao (2013)	84000	20	2	5	19	28
Gómez y Rodríguez (2012)	78000000	19	1	5	19	28

Nota. Se empleo el Forest Plot para representar el mejor crecimiento según los rangos de temperatura usados.

Estudio	Crecimiento celular	Temperatura (°C)	Orden	Crecimiento	R. min	R. Max.
Monzón (2016)	6720000	26.4	2	22	24.4	26.4
Vásquez & Zavaleta (2017)	24930000	24.4	1	22	24.4	26.4

Nota. Datos de crecimiento celular de *S. acutus* en función a la temperatura en °C

Estudio	Crecimiento	pH	Orden	Crecimiento	R.min	R.max.
celular						
Monzón (2016)	6720000	9	2	8	8.56	9
Vásquez & Zavaleta (2017)	24930000	8.56	1	8	8.56	9

Nota. Datos de crecimiento celular de *S. acutus* en función a pH

Anexo 6. Métodos de cosecha.

Autor	Microalga	Técnicas	Fase	Obtención y secado
Arce (2018)	<i>Chlorella vulgaris</i>	Sedimentación y Filtración	Estacionaria	Se mantuvo en refrigeración a 4°C para favorecer la sedimentación celular. Enseguida se procedió a decantar el sobrenadante para concentrar las células. La pasta húmeda se transfirió a una cápsula de porcelana, colocándose en una estufa a 50 - 60 °C durante aproximadamente 15 horas. Después de secada la muestra, la pasta seca fue pesada en una balanza analítica. (Arce, 2018)
Fernández y Hernández (2016)	<i>Chlorella vulgaris</i>	Liofilización	Estacionaria	Las muestras luego del cultivo, ya concentradas fueron llevadas a un crisol, luego este es llevado a un horno durante 3 horas y media a una temperatura de 60 °C, aquí obtuvieron la biomasa seca. (Fernández y Hernández, 2016)
Gómez Rodríguez (2012)	<i>Chlorella vulgaris</i>	Floculación y sedimentación	Estacionaria	Un floculante que aplicaron fue el Al ₂ (SO ₄), tratando de utilizar la menor cantidad posible para no alterar el peso seco a obtener, probaron con 5 mL de Sulfato de Aluminio a concentración de 25, 50, 100 y 200 ppm en 1L de muestra de microalgas, la concentración más adecuada fue la de 100, luego de la formación de flocs, se extrajo el sobrenadante por medio de sifoneado. Finalmente, el proceso de secado se realizó en una estufa P. Selecta en recipientes de acero inoxidable a 75°C por 5h (Barajas et al. 2008, Gómez y Rodríguez, 2012)
Chía, Lombardi y Melao (2013)	<i>Chlorella vulgaris</i>	Gravimetría	Estacionaria	Se determinó gravimétricamente con la ayuda de una balanza analítica utilizando 0.45 filtros de membrana de acetato, durante 24 h.

Heredia, et al (2016)	<i>Chlorella vulgaris</i>	Floculación	Estacionaria	Se aplicó una solución de quitosano de acuerdo con la técnica de Romero y Ferrán (2001), posteriormente la biomasa cosechada se congeló y liofilizó por 48 H, a una temperatura de -40°C y una presión de 0.133 mbar. (Heredia; et al, 2016)
Vásquez y Zavaleta (2017)	<i>Scenedesmus acutus</i>	Metodología modificada de Cobos et al (2016)	Estacionaria	Se peso el papel filtro Wharman N° 42, se colocó en un embudo Buchner con matras Kitasato y con ayuda de una bomba de vacío se filtró 50 mL de suspensión microalgal y se colocaron en placas de Petri para llevarlo a estufa a 60°C por 12 h, seguido se aumentó a una temperatura de 105°C por 10 min. Se dejó enfriar en un secador de campana por 1 h, y se pesó cada papel filtro. (Vásquez y Zavaleta, 2017)
Sacristán, et al., (2014)	<i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus acutus</i>	Método de coagulación-floculación	Estacionaria	Se aplico usando quitosano a una concentración de 20 mg L ⁻¹ (Divakaran y Pillai, 2002, Vásquez y Zavaleta, 2017)
Cobos, Castro y Cerdeira (2014)	<i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus acutus</i>	Centrifugación	Estacionario	La centrifugación del cultivo a 1730 g *10' a 4 °C. El precipitado microalgal obtenido fue transferido a placas Petri y se dejó secar a 50°C por 24 horas. (Vásquez y Zavaleta, 2017)

Anexo 7. Métodos de extracción y determinación de contenido de lípidos.

Referencia	Microalga	Método
Arce (2018)	<i>Chlorella vulgaris</i>	Extracción; método Soxhlet y el contenido de lípidos mediante Ramos 2010 modificado
Gómez y Rodríguez (2012)	<i>Chlorella vulgaris</i>	Método Soxhlet
Chía, Lombardi y Melao (2013)	<i>Chlorella vulgaris</i>	Método modificado de Folch
Heredia, et al (2016)	<i>Chlorella vulgaris</i>	Método reportado por Bligh y Byer (1959) modificado
Vásquez y Zavaleta (2017)	<i>Scenedesmus acutus</i>	Método de Blight & Dyer (1959), la determinación de su contenido mediante la metodología modificada de March& Weinsteinn (1966)
Sacristán, et al (2014)	<i>Scenedesmus acutus</i> y <i>Chlorella vulgaris</i>	Mezcla de cloroformo: metanol (2:1) (J. TNAKER) Y un sonicador durante 1min
Cobos, Castro y Cerdeira (2014)	<i>Scenedesmus acutus</i> y <i>Chlorella vulgaris</i>	Se realizó de acuerdo con Yu et al (2012)

Anexo 8. Proceso de transesterificación según estudios seleccionados.

Referencia	Procedimiento
Arce (2018)	<p>Aplicaron un sistema de almacenamiento tipo mini reactores, en primera instancia donde calentaron el aceite hasta 60°C, con agitación constante, simultáneamente prepararon la solución del catalizador (KOH) y metanol, calculados en el método previo de titulación.</p> <p>Posteriormente mezclaron el aceite y la solución y se agitó por 1 hora, dejando reposar 2 horas, en este proceso obtuvieron los productos de glicerina, y biodiésel separado por fases. La primera fase de glicerina se drenó en una galonera aparte, y el biodiésel también drenado a un depósito para su posterior filtración y eliminación de impurezas presentes, para lo cual se utilizó el método de lavado en seco, mediante una columna de aserrín por donde se hizo filtrar el biodiésel, y se recogió en un depósito de vidrio. (Arce, 2018)</p>
Sacristán, et al (2014)	<p>La producción de biodiésel fue calculada teóricamente con base en la eficiencia de la reacción de transesterificación (transformación de los lípidos en biodiésel) equivalente a 87.7%, multiplicada por la concentración de lípidos extraída de la biomasa de cada microorganismo (Sacristán et al, 2014)</p>

Anexo 9. Resultados del análisis de plagios.



Nota. La presente captura es referente al porcentaje del informe de similitud basado en el programa PlagScan.