

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y
Humanidades, Asunción, Paraguay.**

ISSN en línea: 2789-3855, 2025, Volumen VI

Producción de Biodiésel a partir de la Microalga Scenedesmus sp. mediante una Plataforma de Biorrefinería a Escala de Laboratorio

Biodiesel production from the microalga Scenedesmus sp. using
a laboratory-scale biorefinery platform

Tamara Anel Barrientos Rivera

riversam0510@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-2197-4300>

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima – Perú

José Manuel Alejandro Cerdán Morillo

jcerdan@usp.br

<https://orcid.org/0000-0001-5650-5874>

Universidade de São Paulo
São Carlos – Brasil

Nicole Menaly Onofre Bejarano

onofrenicoleb@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-8663-2188>

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima – Perú

Vanessa Sofía Soberón Forsberg

vsoberon@lamolina.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-5504-7549>

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima – Perú

Paola Andrea Palacios Pupuche

paolapalaciosp8@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-7742-4083>

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima – Perú

Shantalle Brigitte Romero Quiroz

brighitteromero036@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-9430-4044>

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima – Perú

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4488>

Artículo recibido: 03 de junio de 2025

Aceptado para publicación: 17 de
septiembre de 2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.


Redilat
Red de Investigadores
Latinoamericanos

NÚMERO

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4488>

Producción de Biodiésel a partir de la Microalga *Scenedesmus* *sp.* mediante una Plataforma de Biorrefinería a Escala de Laboratorio

Biodiesel production from the microalga *Scenedesmus* *sp.* using a laboratory-scale biorefinery platform

Tamara Anel Barrientos Rivera¹

riversam0510@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-2197-4300>

Universidad Nacional Agraria La Molina

Lima – Perú

Nicole Menaly Onofre Bejarano

onofrenicoleb@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-8663-2188>

Universidad Nacional Agraria La Molina

Lima – Perú

Paola Andrea Palacios Pupuche

paolapalaciosp8@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-7742-4083>

Universidad Nacional Agraria La Molina

Lima – Perú

Shantalle Brigitte Romero Quiroz

brighitteromero036@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-9430-4044>

Universidad Nacional Agraria La Molina

Lima – Perú

José Manuel Alejandro Cerdán Morillo

jcerdan@usp.br

<https://orcid.org/0000-0001-5650-5874>

Universidade de São Paulo

São Carlos – Brasil

Vanessa Sofía Soberón Forsberg

vsoberon@lamolina.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-5504-7549>

Universidad Nacional Agraria La Molina

Lima – Perú

Artículo recibido: 03 de junio de 2025. Aceptado para publicación: 17 de septiembre de 2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

El objetivo de la presente investigación es investigar el potencial teórico de producción de biodiésel de la microalga *Scenedesmus* *sp.* como materia prima para la producción sostenible de biodiésel. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y experimental, enfocado en las etapas de cultivo, escalamiento y extracción de lípidos. La cepa *Scenedesmus* *sp.* fue seleccionada por su elevado contenido lipídico y su capacidad de adaptación a condiciones ambientales adversas. La microalga

¹ Autora de correspondencia.

Scenedesmus sp se cultivó exitosamente y se escaló hasta 3050 g Biomasa Húmeda (62 litros), utilizando medios alternativos como Zarrouk modificado y Bayfolan para una producción eficiente. La biomasa se recuperó mediante una combinación de centrifugación y sedimentación por gravedad, logrando una cosecha de bajo costo. Para la extracción de lípidos, se empleó el método Soxhlet con acetona como solvente. Se extrajo 12.78 gramos de lípidos obteniéndose una eficiencia de extracción del 9.2%. A partir de los lípidos extraídos (12.78 gramos), se estimó una producción teórica de 13.36 ml de biodiésel. Aunque la eficiencia de extracción fue inferior a la reportada en otros estudios, los resultados confirman que tanto la microalga *Scenedesmus sp.* como la técnica utilizada son viables para la producción de biodiésel a escala de laboratorio. Se recomienda para futuras investigaciones evaluar solventes más eficientes para optimizar (como cloroformo-metanol o n-hexano) y tecnologías de extracción sostenibles (como la extracción asistida por ultrasonidos o la extracción supercrítica con CO₂) para optimizar el rendimiento.

Palabras clave: microalga, *scenedesmus sp*, extracción de lípidos, biodiesel

Abstract

The objective of this research is to investigate the theoretical biodiesel production potential of the microalga *Scenedesmus sp.* as a feedstock for sustainable biodiesel production. The study was developed under a quantitative and experimental approach, focusing on the cultivation, scaling-up, and lipid extraction stages. The strain *Scenedesmus sp.* was selected for its high lipid content and its ability to adapt to adverse environmental conditions. The microalga *Scenedesmus sp.* was successfully cultivated and scaled up to 3050 g wet biomass (62 liters), using alternative media such as modified Zarrouk and Bayfolan for efficient production. The biomass was recovered through a combination of centrifugation and gravity sedimentation, achieving a low-cost harvest. For lipid extraction, the Soxhlet method with acetone as the solvent was used. 12.78 grams of lipids were extracted, obtaining an extraction efficiency of 9.2%. From the extracted lipids (12.78 grams), a theoretical production of 13.36 ml of biodiesel was estimated. Although the extraction efficiency was lower than that reported in other studies, the results confirm that both the microalga *Scenedesmus sp.* and the technique used are viable for laboratory-scale biodiesel production. Future research recommends evaluating more efficient solvents (such as chloroform-methanol or n-hexane) and sustainable extraction technologies (such as ultrasound-assisted extraction or supercritical CO₂ extraction) to optimize yield.

Keywords: microalgae, *scenedesmus sp*, lipid extraction, biodiesel

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons.



Cómo citar: Barrientos Rivera, T. A., Onofre Bejarano, N. M., Palacios Pupuche, P. A., Romero Quiroz, S. B., Cerdán Morillo, J. M. A., & Soberón Forsberg, V. S. Producción de Biodiésel a partir de la Microalga *Scenedesmus sp.* mediante una Plataforma de Biorrefinería a Escala de Laboratorio. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 6 (4), 3035 – 3053.
<https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4488>

INTRODUCCIÓN

El uso intensivo de combustibles fósiles ha generado una crisis energética y ambiental sin precedentes, impulsando la búsqueda de fuentes sostenibles. La transición hacia la bioenergía es esencial para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar el cambio climático. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), la demanda de combustibles líquidos alcanzará los 100 millones de barriles diarios en 2035, a pesar de que la producción de crudo convencional muestra una tendencia decreciente. El Perú refleja claramente esta vulnerabilidad, ya que depende de la importación de combustibles fósiles principalmente para satisfacer la demanda del sector transporte, lo cual constituye una debilidad estructural en su economía (Ruiz, Ríos y Cáceres, 2021).

No obstante, el problema no es solo económico. Esta dependencia de los combustibles fósiles también obstaculiza el cumplimiento de los compromisos ambientales asumidos por el Perú en el Acuerdo de París (2015), donde 196 países, incluido el nuestro, se comprometieron a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En el Perú, estas emisiones provienen principalmente de la deforestación de la Amazonía y de la quema de petróleo y gas natural. (Campodónico y Carrera, 2022)

Dentro de las alternativas energéticas sostenibles, el biodiésel se posiciona como una opción particularmente atractiva debido a sus propiedades inherentes de biodegradabilidad y su perfil de emisiones contaminantes significativamente reducido en comparación con el diésel de origen fósil (Castillo et al., 2017). Entre las diversas materias primas disponibles para la producción de biodiésel, las microalgas emergen como una alternativa especialmente prometedora, destacándose especies como *Scenedesmus* sp. por su excepcional contenido lipídico y su capacidad de crecimiento acelerado (Mercado et al., 2020). Sin embargo, la viabilidad comercial de esta tecnología a escala industrial depende críticamente del desarrollo de sistemas de producción eficientemente diseñados y de la implementación de evaluaciones ambientales comprehensivas que garanticen su sostenibilidad. En este contexto, el desarrollo de biorrefinerías basadas en biomasa microalgal representa una solución tecnológica innovadora que se alinea con los principios de la economía circular. Este enfoque integrado permite no solamente la producción de biodiésel como producto principal, sino también la obtención simultánea de múltiples productos de valor agregado, incluyendo biofertilizantes, suplementos nutricionales y bioplásticos, maximizando así el aprovechamiento de la biomasa y optimizando la rentabilidad del proceso (Figuerola y Theodoropoulos, 2023). Sin embargo, el potencial teórico de extracción de biodiésel a partir de la microalga *Scenedesmus* sp. permanece poco explorado, lo que limita su aplicación a escala comercial y la valoración integral de sus productos agregados.

El proyecto que se presenta fue realizado en el Laboratorio de Biofactorías del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos (CEMTRAR) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, como parte de una biorrefinería a escala laboratorio orientada al aprovechamiento sostenible de biomasa microalgal para la obtención de biodiésel. El objetivo general de este trabajo es desarrollar una plataforma de biorrefinería de biomasa microalgal para la producción de biodiésel. El objetivo específico es investigar el potencial teórico de producción de biodiésel a partir de la microalga. La relevancia de esta investigación radica en contribuir a la transición energética sostenible y generar información científica crítica sobre los impactos ambientales más relevantes asociados a esta tecnología emergente.

METODOLOGÍA

La metodología de este estudio adoptó un enfoque cuantitativo y experimental, basado en la evaluación del cultivo y procesamiento de biomasa microalgal para la producción de biodiésel.

Selección y obtención de microalga

La microalga *Scenedesmus* sp. fue seleccionada a partir de una revisión bibliográfica debido a su alto potencial lipídico (20–25% del peso seco), según Wood (2021), un perfil de ácidos grasos favorable para la transesterificación y su notable tolerancia a condiciones ambientales adversas, clave para su aplicación en la producción de biocombustibles. Además, el escaso número de estudios disponibles sobre esta especie en el contexto de biorrefinerías representó una oportunidad para contribuir con nuevos conocimientos científicos. La cepa IMP-BG-334 fue proporcionada por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) en un volumen inicial de 15 mL. Su cultivo y aclimatación se llevaron a cabo en el Laboratorio de Biofactorías del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos (CEMTRAR) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, como parte de una biorrefinería a escala laboratorio orientada al aprovechamiento sostenible de biomasa microalgal para la obtención de biodiésel.

Figura 1

Vista satélite del Laboratorio de Biofactorías



Fuente: Google Earth.

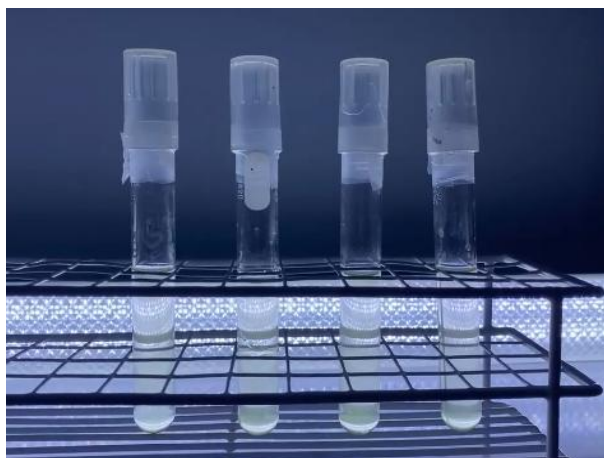
Descripción de las fases de producción

Cultivo

El cultivo de *Scenedesmus* sp. se inició en tubos de ensayo utilizando medio CHU modificado, con una proporción inicial de 2 mL de inóculo y 8 mL de medio. Las unidades experimentales se mantuvieron bajo iluminación LED continua con una intensidad de $50 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante 14 días. Para asegurar una adecuada oxigenación y evitar la sedimentación celular, los tubos fueron agitados manualmente dos veces al día. Se aseguró condiciones óptimas de iluminación (fotoperiodo 12:12), temperatura (18°C), aireación constante y concentración de nutrientes.

Figura 2

Cultivo inicial de Scenedesmus sp.



Escalamiento

Una vez confirmado el crecimiento adecuado en fase inicial, los cultivos de *Scenedesmus sp.* fueron escalados utilizando medios Zarrouk modificado y Bayfolan, ajustando la relación microalga-agua-medio para asegurar una adecuada disponibilidad de nutrientes. Se monitorearon continuamente la temperatura y el pH, y el crecimiento celular fue evaluado mediante recuento en cámara de Neubauer, aplicando la fórmula de Vega & Voltolina (2007):

$$C = N \times 10^4 \times \text{dil} \quad (1)$$

Donde:

C es el número de células/mL.

N el promedio de células en 1 mm² (0.1 µL).

dil el factor de dilución (cuando se utilizó una dilución 1:10).

El proceso de escalamiento se realizó cada cuatro días, pasando de matraces de 100 mL y 250 mL a 2 L, hasta alcanzar 62 L, manteniendo luz LED continua y aireación constante.

Figura 3

Finalización de escalamiento obteniendo 62 L



Cosecha

Uno de los principales desafíos en el cultivo de microalgas es la recuperación de biomasa. En este estudio se emplearon dos métodos: centrifugación y sedimentación por gravedad. Inicialmente, se utilizó una centrifugadora con ocho tubos de 50 mL a 4500 rpm durante 10 minutos, procesando el contenido de aproximadamente cuatro matraces de 2 L. Sin embargo, debido a la limitación de volumen, se optó por completar la cosecha mediante sedimentación. Aunque este método es considerado rudimentario, destaca por su alta eficiencia en relación con su bajo costo de ejecución (Hernández & Labbé, 2014), lo que lo convierte en una alternativa viable y sostenible para proyectos a pequeña escala.

Figura 4

Separación de la biomasa y el medio de cultivo mediante sedimentación



Secado de la biomasa

La biomasa concentrada fue separada del sobrenadante y transferida a placas Petri. Debido al elevado volumen de biomasa obtenido, se emplearon de manera complementaria una estufa y un deshidratador, con el objetivo de acelerar el proceso. El secado se realizó a una temperatura constante de 40 °C durante 24 horas. Este procedimiento permitió reducir el contenido de humedad y obtener la biomasa en peso seco.

Figura 5

Biomasa seca retirada de la estufa



Extracción de lípidos

La extracción de lípidos se realizó mediante el método Soxhlet, procedimiento empleado según los lineamientos del Method 3540C: Soxhlet Extraction de la EPA (US EPA, 1996), utilizando acetona como solvente, aplicado a biomasa seca de *Scenedesmus* sp. Se utilizó acetona porque era el solvente al cual se tenía acceso y por su capacidad para disolver triglicéridos y ácidos grasos libres. Se emplearon 137.69 g de biomasa microalgal pulverizada, previamente recolectada y secada, distribuidos en 12 cartuchos con aproximadamente 5 g cada uno. Cada cartucho fue tratado con 60 mL de acetona y sometido al proceso de extracción durante 4 horas a una temperatura de 76 °C. Se utilizó acetona porque era el solvente disponible. Finalizada la extracción, se utilizó un sistema rotavapor para recuperar la acetona y concentrar el extracto lipídico.

Figura 6

Extracción de lípidos mediante un Sistema Soxhlet y recuperación de la acetona en el rotavapor

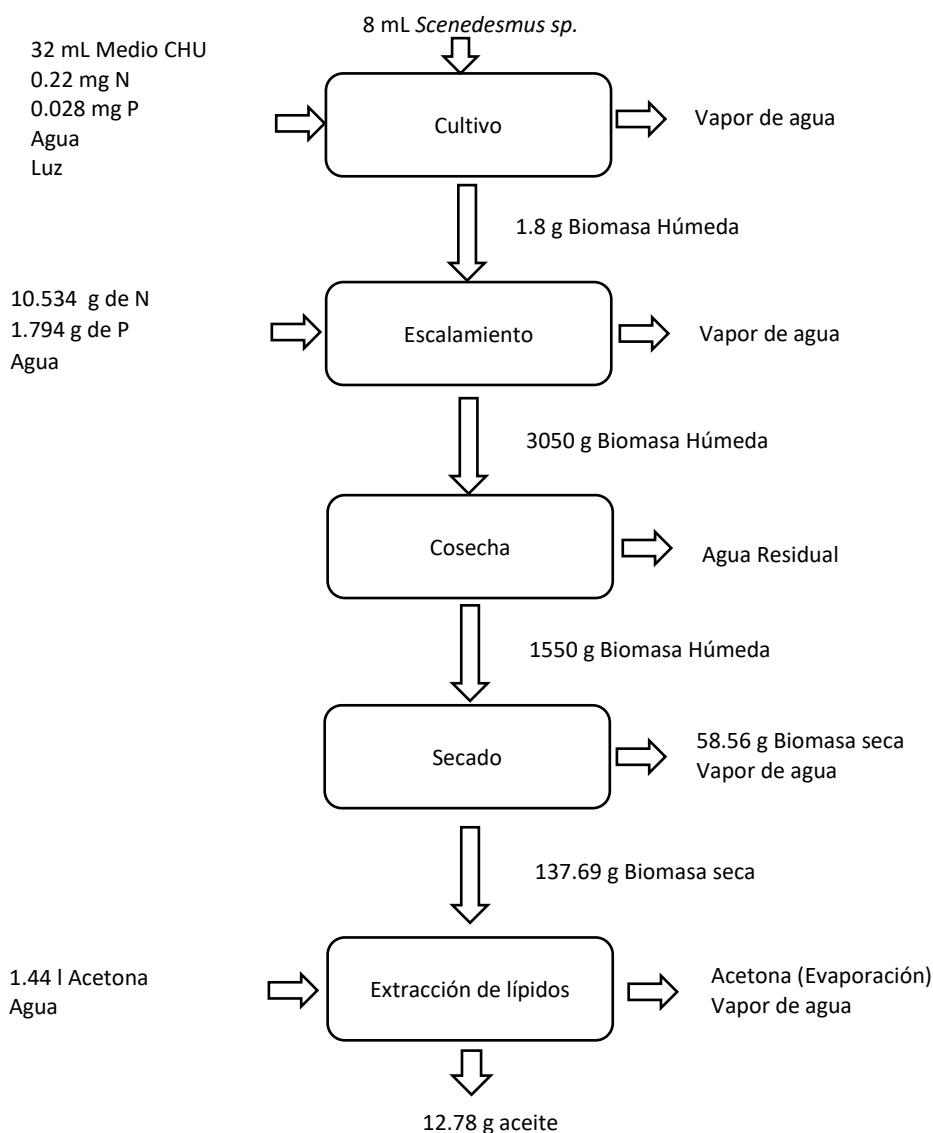


RESULTADOS

La Figura 7 presenta el balance de masa del proceso de producción de biodiésel considerado en esta investigación. El cultivo se inició con 8 mL de *Scenedesmus sp.*, y al finalizar se obtuvieron 12,78 g de aceites extraídos. A partir de esta cantidad, se estimó el rendimiento teórico del biodiésel.

Figura 7

Descripción general de los procesos de producción de biodiésel a partir de microalgas para esta investigación



Fase de cultivo

Se llevó a cabo un cultivo a pequeña escala de *Scenedesmus sp.* en tubos de ensayo, bajo condiciones controladas y durante un periodo de 14 días. Se empleó 8 mL de cultivo de *Scenedesmus sp.* y 32 mL de Medio CHU. La cantidad de nitrógeno y fósforo se calculó utilizando la relación de miligramos por litro (mg/L) de estos elementos presentes en el medio de cultivo CHU, según lo indicado en la Ficha técnica (HiMedia Laboratories, 2015). Al finalizar el período de incubación, se obtuvieron 36 mL de biomasa húmeda. Considerando una densidad algal 50 g/L (Yuan et al., 2015) esto equivale 1.8 gr de

biomasa húmeda. El balance de masa de la etapa de cultivo se ilustra en la Figura 8 y en la Tabla 1 se encuentra un resumen de las entradas y salidas para el cultivo.

Figura 8

Diagrama de flujo de la fase de cultivo

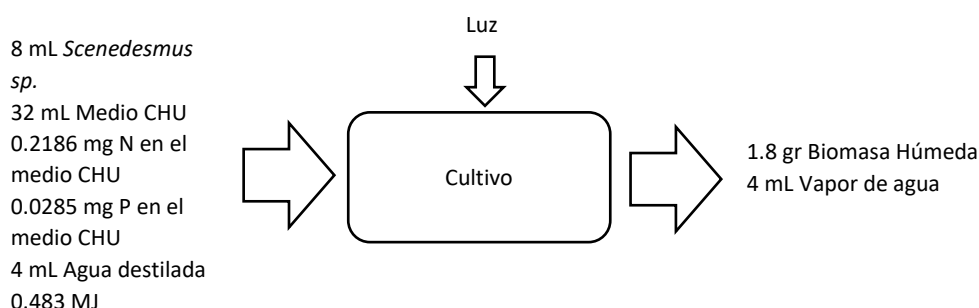


Tabla 1

Resumen de las concentraciones de entrada y salida para el cultivo

Entradas				
Flujo	Cantidad	Unidades	Tipo de dato	Fuente / Cálculo resumido
Inóculo de cultivo <i>Scenedesmus</i> sp.	8	mL	Datos primarios	Laboratorio
Medio de cultivo CHU	32	mL	Datos primarios	Laboratorio
Nitrógeno (N)	0.2186	mg N en el medio	Calculado	Ca(NO ₃) ₂ : MM = 164.1 g/mol; contiene 28 g N/mol (2 NO ₃ ⁻); Fracción = 0.1707; 40 mg → 6.83 mg N/L (HiMedia Laboratories, 2015). Se multiplico 6.83 mg N/L por los 32 ml de Medio CHU
Fósforo (P)	0.0285	mg P en el medio	Calculado	K ₂ HPO ₄ : MM = 174.2 g/mol; P = 30.97 g/mol; Fracción = 0.1777; 5 mg → 0.89 mg P/L (HiMedia Laboratories, 2015). Se multiplico 0.89 mg P/L por los 32 ml de Medio CHU
Electricidad	0.483	MJ	Secundario	Multiplicando los 196.25 g de Biomasa seca en la etapa del secado y la relación energética de 2.46 MJ/kg biomasa seca (Yuan et al., 2015)
Salidas				
Flujo	Cantidad	Unidades	Tipo de dato	Fuente / Cálculo resumido
Biomasa húmeda	1.8	g	Calculado	A partir de un volumen de 36 mL de biomasa húmeda y utilizando una densidad de 50 g/L (Yuan et al., 2015).

Vapor de agua	4	mL	Datos primarios	Laboratorio
---------------	---	----	-----------------	-------------

Escalamiento de biomasa

Posteriormente, se procedió al escalado del cultivo utilizando la biomasa húmeda obtenida previamente, junto con los medios Zarrouk modificado y Bayfolan. El escalamiento tuvo una duración de 70 días. Se utilizó 1 mL/L de Bayfolan y 20 L de Medio Zarrouk modificado. Las concentraciones de nitrógeno y fósforo se estimaron aplicando las fracciones para el medio Zarrouk modificado que son 0.4120 para el nitrógeno y 0.0889 para el fósforo (Muñoz et al., 2021) y las fracciones para el Bayfolan obtenidos de la ficha técnica que son 0.1147 para el nitrógeno y 8×10^{-4} para el fósforo (Bayer Forte, s.f.). Tras esta etapa, se lograron obtener 62 L de biomasa húmeda y utilizando una densidad algal 50 g/L (Yuan et al., 2015) se convirtió a 3050 gramos de biomasa húmeda. La Figura 9 muestra el balance de masa de la etapa de escalamiento y la Tabla 2 muestra un resumen de las entradas y salidas para el escalamiento.

Figura 9

Diagrama de flujo de la fase de escalamiento

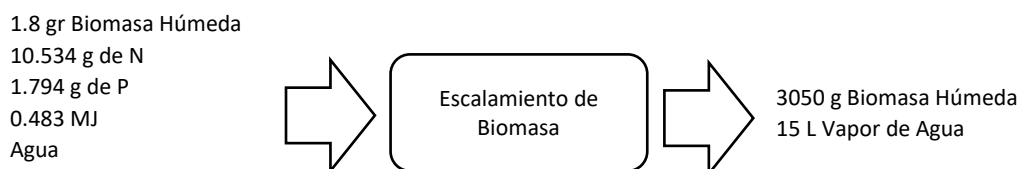


Tabla 2

Resumen de las concentraciones de entrada y salida para el escalamiento de biomasa

Entradas				
Flujo	Cantidad	Unidades	Tipo de dato	Fuente / Cálculo resumido
Biomasa húmeda	1.80	g	Calculado	A partir de un volumen de 36 mL de biomasa húmeda y utilizando una densidad de 50 g/L (Yuan et al., 2015).
Nitrógeno (N) presente en el Bayfoland	2.294	g	Calculado	Dosis de 1mL/L Bayfoland. Calculado para un volumen de 20 L de medio Se multiplico la fracción de 0.1147 (Bayer Forte, s.f.) por los 20 Litros del Medio.
Fósforo (P) presente en el Bayfoland	0.016	g	Calculado	Dosis de 1mL/L Bayfoland. Calculado para um volumen de 20 L de medio Se multiplico la fracción de 8×10^{-4} (Bayer Forte, s.f.) por los 20 Litros del Medio
Medio Zarrouk Modificado	20	L	Datos primarios	Laboratorio
Nitrógeno (N) presente en el Medio Zarrouk Modificado	8.24	g	Calculado	Concentración: 2.50 g/L; Masa molar $\text{NaNO}_3 = 85.00 \text{ g/mol}$; Masa molar N = 14.01 g/mol. Fracción de N en $\text{NaNO}_3 = 14.01/85.00 = 0.1648$ N por L = $2.5 \times 0.1648 = 0.4120$ (Muñoz et al., 2021) Se multiplicó 0.4120 por los 20 Litros del Medio Zarrouk Modificado

Fósforo (P) presente en el Medio Zarrouk Modificado	1.778	g	Calculado	Concentración: 0.50 g/L; Masa molar $K_2HPO_4 = 174.18$ g/mol; Masa molar P = 30.97 g/mol. Fracción de P en $K_2HPO_4 = 30.97/174.18 = 0.1778$ P por L = $0.50 \times 0.1778 = 0.0889$ (Muñoz et al., 2021) Se multiplicó 0.0889 por los 20 Litros del Medio Zarrouk Modificado
Electricidad	0.483	MJ	Secundario	Multiplicando los 196.25 g de Biomasa seca en la etapa del secado y la relación energética de 2.46 MJ/kg biomasa seca (Yuan et al., 2015)
Salida				
Flujo	Cantidad	Unidades	Tipo de dato	Fuente / Cálculo resumido
Biomasa Húmeda (Scenedesmus sp. + Medio)	3050	g	Calculado	A partir de un volumen de 62 L de biomasa húmeda y utilizando una densidad de 50 g/L (Yuan et al., 2015).
Agua (Evaporación)	15	L	Datos primarios	Laboratorio

Cosecha

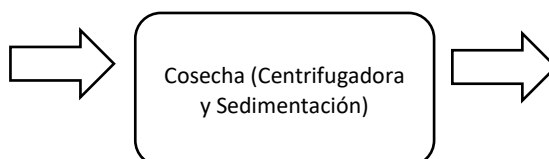
La cosecha de la biomasa se llevó a cabo mediante una combinación de centrifugación y sedimentación por gravedad. se procesaron 3050 g Biomasa de biomasa húmeda. Como resultado de esta etapa, se obtuvieron 31 litros de biomasa concentrada y utilizando una densidad algal 50 g/L (Yuan et al., 2015) se convirtió a 1550 g de biomasa húmeda. La Figura 10 detalla el balance de masa para la etapa de cosecha y la Tabla 3 muestra un resumen de las entradas y salidas.

Figura 10

Diagrama de flujo de la fase de cosecha

Tabla 3

3050 g Biomasa Húmeda
0.126 MJ



1550 g Biomasa Húmeda
1.5 L Agua residual

Resumen de las concentraciones de entrada y salida para la cosecha

Entradas				
Flujo	Cantidad	Unidades	Tipo de dato	Fuente / Cálculo resumido
Biomasa Húmeda (Scenedesmus sp. + Medio)	3050	g	Calculado	A partir de un volumen de 62 L de biomasa húmeda y utilizando una densidad de 50 g/L (Yuan et al., 2015).
Electricidad	0.126	MJ	Secundario	Multiplicando los 196.25 g de Biomasa seca en la etapa del secado y la relación energética de 0.64 MJ/kg biomasa seca (Yuan et al., 2015).

Salidas				
Flujo	Cantidad	Unidades	Tipo de dato	Fuente / Cálculo resumido
Agua residual	1.5	L	Datos primarios	Laboratorio
Biomasa húmeda (scenedesmus sp)	1550	g	Calculado	A partir de un volumen de 31 L de biomasa húmeda y utilizando una densidad de 50 g/L (Yuan et al., 2015).

Secado de la biomasa

Los 1550 gramos de biomasa concentrada se sometieron a un proceso de secado utilizando una combinación de estufa y deshidratador. Este proceso resultó en la obtención de 196.25 gramos de biomasa seca. La Figura 11 muestra el balance de masa para el secado y la Tabla 4 muestra un resumen de las entradas y salidas.

Figura 11

Diagrama de flujo de la fase de secado

Tabla 4

Resumen de las concentraciones de entrada y salida para el secado



Entradas				
Flujo	Cantidad	Unidades	Tipo de dato	Fuente / Cálculo resumido
Biomasa húmeda	1550	g	Calculado	A partir de un volumen de 31 L de biomasa húmeda y utilizando una densidad de 50 g/L (Yuan et al., 2015).
Calor	2,71	MJ	Calculado	(Lardon et al., 2009)
Electricidad	0,28	MJ	Calculado	(Lardon et al., 2009)
Salidas				
Flujo	Cantidad	Unidades	Tipo de dato	Fuente / Cálculo resumido
Biomasa seca	196.25	g	Datos primarios	Laboratorio
Vapor de agua	1.35	L	Datos primarios	Laboratorio

Extracción de lípidos

La extracción de lípidos se realizó utilizando el método Soxhlet utilizando acetona como solvente y luego usando el rotavapor. De la cantidad total de 196.25 gramos de biomasa seca del secado, 137.69 gramos fueron seleccionados para la fase de extracción de lípidos por motivos prácticos. La extracción de lípidos se llevó a cabo en tres fechas diferentes. Durante la etapa de Soxhlet se utilizó 137.69 gramos de biomasa seca y 1440 ml de acetona; distribuidos en 24 cartuchos, con un volumen de 60 ml de acetona por cartucho. Se obtuvo 412.92 gramos de mezcla que luego pasó al rotavapor y se

obtuvo 12,78 g de aceite microalgal. La Figura 12 muestra el balance de masa de la etapa de extracción de lípidos y la Tabla 5 muestra el resumen de entradas y salidas.

Figura 12

Diagrama de flujo de la fase de extracción de lípidos

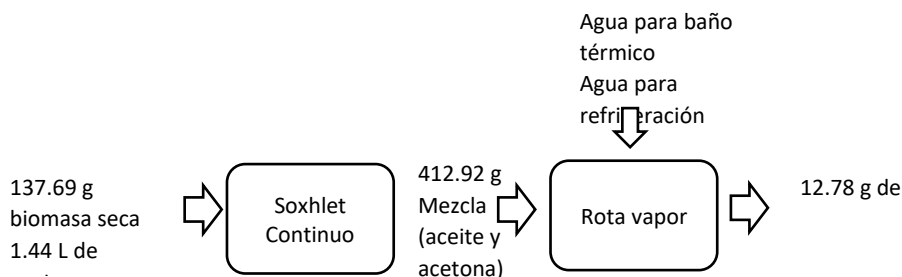


Tabla 5

Resumen de las concentraciones de entrada y salida para la extracción de lípidos

Soxhlet Continuo				
Entradas				
Flujo	Cantidad	Unidades	Tipo de dato	Fuente / Cálculo resumido
Biomasa seca	137.69	g	Datos primarios	Laboratorio
Acetona	1.44	L	Datos primarios	Laboratorio
Calor	0.091	MJ	Calculado	Multiplicando los 137.69 g de Biomasa seca y la relación energética de 0.66 MJ kg ⁻¹ biomasa seca (Yuan et al., 2015)
Salidas				
Flujo	Cantidad	Unidades	Tipo de dato	Fuente / Cálculo resumido
Aceite + acetona (mezcla)	412.92	g	Datos primarios	Laboratorio
Rotavapor				
Entradas				
Flujo	Cantidad	Unidades	Tipo de dato	Fuente / Cálculo resumido
Aceite + acetona (mezcla)	412.92	g	Datos primarios	Laboratorio
Calor	0,27	MJ	Calculado	Multiplicando los 412.92 g de mezcla y la relación energética de 0.66 MJ kg ⁻¹ biomasa (Yuan et al., 2015)
Electricidad	0,0165168	MJ	Calculado	Multiplicando los 412.92 g de mezcla y la relación energética de 0.04 MJ kg ⁻¹ biomasa (Yuan et al., 2015)
Salidas				
Flujo	Cantidad	Unidades	Tipo de dato	Fuente / Cálculo resumido

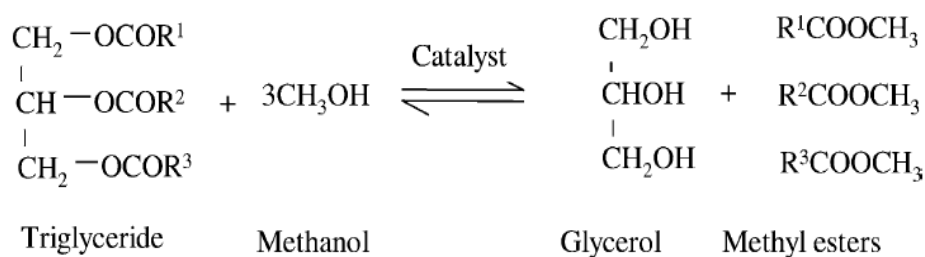
Aceite extraído	12.78	g	Datos primarios	Laboratorio
Pérdida de solvente	0.94	L	Datos primarios	Laboratorio
Solvente recuperado (acetona)	0.5	L	Datos primarios	Laboratorio

Estimación del potencial teórico de producción de biodiésel

Se asumió que los 137.69 gramos de aceite extraído estaba compuesto principalmente por triglicéridos, susceptibles de convertirse en ésteres metílicos (biodiésel) mediante una reacción de transesterificación (Figura 13).

Figura 13

Reacción de transesterificación basado en Meher et al. (2006)



Para estimar el potencial real de conversión a biodiésel, se asumió el rendimiento experimental reportado por Rashd et al. (2024), quienes lograron una conversión de $92.2 \pm 0.8\%$ utilizando metanol y 1% de KOH como catalizador, a 65°C durante 2 horas, sobre aceite de *Scenedesmus parvus*.

A partir de este rendimiento, se calcularon las siguientes masas y volúmenes de biodiésel, considerando una densidad de 0.882 g/mL (Rashd et al., 2024) para el producto final. La Tabla 6 muestra la cantidad estimada de biodiesel teórico a obtener.

Tabla 6

Producción teórica biodiésel a partir del aceite extraído

Muestra	Biomasa seca (g)	Aceite extraído (g)	Rend. extracción (%)	Biodiésel estimado (g)	Biodiésel estimado (mL)
M1	15.00	1.41	9.40%	1.30	1.47
M2	60.40	4.33	7.17%	3.99	4.52
M3	62.29	7.04	11.30%	6.49	7.36
Total	137.69	12.78	9.28 %	11.78	13.36

Nota: Volumen (mL) = masa de biodiésel (g) / 0.87 g.mL^{-1} .

DISCUSIÓN

En este estudio se evaluó el potencial teórico de la microalga *Scenedesmus* sp. como fuente de biodiésel, utilizando el método Soxhlet con acetona para la extracción de lípidos. El método Soxhlet continúa siendo uno de los procedimientos más utilizados para la obtención de lípidos a partir de microalgas, debido a su capacidad para realizar extracciones continuas con recirculación de solventes calientes. No obstante, este método presenta desventajas como el alto consumo energético debido a los tiempos prolongados y el uso de temperaturas elevadas.

El rendimiento de extracción obtenido fue de 9.28%, un valor inferior a los reportados en la literatura para especies del mismo género y otras microalgas (ver Tabla 7). Este bajo rendimiento sugiere una eficiencia de extracción menor a la esperada. Por ejemplo, *Scenedesmus dimorphus* ha mostrado rendimientos superiores al 24% con métodos similares (Ahmed et al., 2025), y hasta un 73.6% cuando se mide en base a biomasa húmeda (Yuan et al., 2014). En contraste, nuestro resultado con *Scenedesmus* sp. fue considerablemente más bajo que el de estos estudios.

Tabla 7

Porcentajes de lípido extraído de diferentes algas

Especie de microalga	Biomasa seca (kg)	Lípidos extraídos (kg)	Rendimiento lipídico (%)	Condiciones / Método de extracción	Referencia
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	1	0.18	73.6 % (de la biomasa húmeda)	Nitrógeno normal	(Yuan et al., 2014)
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	1	0.29	73.6 % (de la biomasa húmeda)	Bajo nitrógeno	(Yuan et al., 2014)
<i>Scenedesmus parvus</i>	1c	0.24	24%	-	(Rashd et al., 2024)
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	1c	0.291	29.10%	-	(Ruiz et al, 2021)
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	1 c	0.2436	24.36%	Soxhlet	(Ahmed et al, 2025)
<i>Scenedesmus dimorphus</i>	1 c	0.2784	27.84%	Ebullición directa	(Ahmed et al, 2025)
<i>Scenedesmus</i> sp.	1	0.92812	9.28%	Soxhlet con acetona (este estudio)	Este estudio

La productividad de biomasa y el contenido lipídico en microalgas dependen de múltiples factores: especie, condiciones de cultivo (disponibilidad de nutrientes, método de cultivo), factores ambientales (luz, temperatura, pH, fotoperíodo), y el método de extracción empleado (Supriya Pandey et al., 2024). En este estudio, *Scenedesmus* sp. fue seleccionada por su alto potencial lipídico reportado (Wood, 2021), cultivándose bajo condiciones controladas con disponibilidad adecuada de nitrógeno y fósforo, y un fotoperíodo de 12:12 (luz: oscuridad).

Para esta investigación, se seleccionó el método de extracción Soxhlet para la recuperación de lípidos. Una de las limitaciones del presente estudio fue el uso de acetona como solvente principal, elección motivada principalmente por su disponibilidad en el laboratorio. Si bien la acetona tiene la capacidad de disolver triglicéridos y ácidos grasos libres, y puede ayudar a romper la pared celular, su eficacia es menor en comparación con solventes apolares como el hexano o mezclas binarias. Además, su polaridad permite la coextracción de pigmentos como la clorofila, lo que puede influir en la pureza del extracto final. Estudios previos han demostrado que mezclas como cloroformo: metanol (1:2), etanol

puro, y metanol: hexano (1:3) proporcionan rendimientos significativamente más altos, superiores al 17% en especies como *Scenedesmus* y *Chlorella* (Pérez et al., 2018) y la mezcla el uso de solventes como cloroformo, etanol y hexano proporcionan rendimientos superiores al 10% en la *Chlorella* (Ramluckan et al., 2014). Por el contrario, se ha reportado que la acetona sola o combinada con hexano produce rendimientos bajos para el alga *Chlorella* Sp (Pérez et al., 2018). Ver la Tabla 8 que muestra el rendimiento de lípido extraído de diferentes algas con diferentes solventes utilizando el método Soxhlet.

Esto sugiere que el bajo rendimiento de extracción observado en este estudio podría deberse principalmente a la selección de acetona como único disolvente. Además, la acetona puede extraer compuestos no lipídicos, lo que podría haber afectado la pureza del extracto obtenido.

Cabe señalar que el aceite obtenido en la extracción de lípidos presentó impurezas y cristalizaciones inesperadas. Estudios previos reportan que estas impurezas podrían deberse a: (1) la presencia de ácidos grasos saturados de cadena larga que cristalizan a temperatura ambiente (Knothe, 2005), (2) contaminación por sales minerales del medio de cultivo (Zhou et al., 2022), o (3) degradación térmica durante el secado (Lee et al., 2010). Estos resultados sugieren que se requieren etapas adicionales de purificación.

Tabla 8

Porcentajes de lípido extraído de diferentes algas con diferentes solventes

Especie de microalga	Solventes usados	Rendimiento lipídico (%)	Referencia
Familia <i>Scenedesmus</i>	cloroformo:metanol (1:2); metanol:hexano (1:3); etanol y cloroformo:etanol (1:3)	>17%	(Pérez et al., 2018)
Familia <i>Scenedesmus</i>	Hexano:Acetona (1:1)	13 % aprox	(Pérez et al., 2018)
Familia <i>Scenedesmus</i>	solvente n-hexano	7.04%.	(Pérez et al., 2018)
familia <i>Chlorella</i>	(1:2), metanol:hexano (1:3), etanol y cloroformo:etanol (1:3)	>16%	(Pérez et al., 2018)
familia <i>Chlorella</i>	Éter Dietílico; Hexano:Acetona (1:1)	5 % aprox	(Pérez et al., 2018)
<i>Chlorella</i> sp.	Acetona	2.32%	(Ramluckan, Moodley, & Bux., 2014)
<i>Chlorella</i> sp.	Cloroformo, etanol y hexano	>10%	(Ramluckan, Moodley, & Bux., 2014)
<i>Scenedesmus</i> sp.	Acetona	9.2 %	Este estudio

Debido a las limitaciones del estudio, no fue posible llevar a cabo una caracterización detallada de la composición de los lípidos extraídos. Aunque se asume que el aceite obtenido consiste principalmente en triglicéridos, que son la materia prima ideal para la producción de biodiésel, no se pudo confirmar su composición exacta.

Para futuros estudios, se recomienda encarecidamente realizar un análisis de la composición de ácidos grasos (FAMES) mediante técnicas como la cromatografía de gases. Esto permitiría confirmar la calidad y el potencial del aceite para la producción de biodiésel, así como optimizar el proceso de transesterificación.

En resumen, el método de extracción Soxhlet con acetona como solvente permitió obtener 12.78 gramos de lípidos, resultando en una eficiencia del 9.2% a partir de la microalga *Scenedesmus* sp. Este resultado confirma que esta técnica es viable para la extracción de lípidos a escala de laboratorio. Sin embargo, la eficiencia observada es inferior a la reportada en estudios previos donde se encontraron eficiencias superiores al 17% en especies como *Scenedesmus* y *Chlorella* (Pérez et al., 2018) y hasta un 73.6% cuando se mide en base a biomasa húmeda (Yuan et al., 2014). Esta diferencia puede atribuirse al uso de la acetona, un solvente relativamente polar. Es probable que la acetona sea menos selectiva o eficiente para disolver los lípidos no polares del alga en comparación con mezclas de solventes más potentes, como el cloroformo-metanol, que son conocidos por su alta capacidad de extracción de lípidos microalgales. A pesar del rendimiento moderado, el potencial de *Scenedesmus* sp. como materia prima para biodiésel se confirma. Para optimizar el proceso, se recomiendan los siguientes pasos para futuras investigaciones realizar un estudio comparativo para determinar el solvente más eficiente para la extracción de lípidos de esta cepa microalgal, contrastando la acetona con mezclas de alta eficacia como cloroformo-metanol o n-hexano. También se recomienda evaluar alternativas más sostenibles e innovadoras como la extracción asistida por ultrasonidos (UAE) o la extracción supercrítica con CO₂, que pueden ofrecer mayores rendimientos y reducir el impacto ambiental.

CONCLUSIÓN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial de *Scenedesmus* sp. para la producción de biodiésel. Para ello, se desarrolló una plataforma de biorrefinería que permitió el cultivo exitoso de la microalga hasta alcanzar 3050 g (62 litros), con la recuperación eficiente de biomasa mediante centrifugación y sedimentación.

El proceso de extracción de lípidos, utilizando el método Soxhlet con acetona, generó un rendimiento de 9.2%, lo cual confirma la viabilidad de esta biomasa como materia prima para la producción de biodiésel. Aunque el rendimiento fue inferior al de otros estudios, el potencial de *Scenedesmus* sp. queda demostrado.

En conclusión, este estudio establece una base para la producción de biodiésel a partir de biomasa microalgal, validando el cultivo y la extracción como pasos clave en el proceso. Los resultados sugieren que futuras optimizaciones, especialmente en la selección del solvente de extracción, podrían incrementar significativamente el rendimiento, fortaleciendo así el potencial de la microalga como fuente de energía renovable.

REFERENCIAS

- Ahmed, A.S., Ali, A., Gorgun, E., Jameel, M., Khandaker, T., Islam, M.S., Islam, M.S. and Abdullah, M. (2025), Microalgae to Biofuel: Cutting-Edge Harvesting and Extraction Methods for Sustainable Energy Solution. *Energy Science & Engineering*, 13: 3525-3540. <https://doi.org/10.1002/ese3.70111>
- Bayer Forte (s.f.). Productos Fitosanitarios: Datos generales del producto [Folleto técnico]. <https://www.quimagro.com.mx/web/content/14639/Bayfolan-Forte-Ficha-tecnica.pdf>
- Campodónico, H., & Carrera, C. (2022). Energy transition and renewable energies: Challenges for Peru. *Energy Policy*, 171, 113261. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113261>
- Hernández-Pérez, A., & Labbé, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de biología marina y oceanografía*, 49(2), 157-173.
- HiMedia Laboratories (2015). Chu' s Medium No. 10 M697. Technical Data, 10. https://exodocientifica.com.br/_technical-data/M697.pdf
- Knothe, G. (2005). Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*, 86(10), 1059-1070.
- Lardon, L., Hélias, A., Sialve, B., Steyer, J. P., & Bernard, O. (2009). Life-cycle assessment of biodiesel production from microalgae. *Environmental Science and Technology*, 43(17), 6475–6481. <https://doi.org/10.1021/es900705j>
- Lee, J. Y., Yoo, C., Jun, S. Y., Ahn, C. Y., & Oh, H. M. (2010). Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae. *Bioresource Technology*, 101(1), S75-S77.
- Meher, L. C., Vidya Sagar, D., & Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(3), 248–268. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.002>
- Mercado, I., Álvarez, X., Verduga, M.-E., & Cruz, A. (2020). Enhancement of Biomass and Lipid Productivities of *Scenedesmus* sp. Cultivated in the Wastewater of the Dairy Industry. *Processes*, 8(11), 1458. <https://doi.org/10.3390/pr8111458>
- Pandey, S., Narayanan, I., Selvaraj, R., Varadavenkatesan, T., & Vinayagam, R. (2024). Biodiesel production from microalgae: A comprehensive review on influential factors, transesterification processes, and challenges. *Fuel*, 367(February), 131547. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131547>
- Pérez, M., Quishpi, J., Pauta, G., León, F., Cisneros, J., Pinos, V., & Alvarado, A. (2018). Comparación de las eficiencias de recuperación de lípidos de las microalgas *Chlorella* y *Scenedesmus* obtenidas con diferentes disolventes. *Maskana*, 9(2), 27–34. <https://doi.org/10.18537/mskn.09.02.04>
- Muñoz Puetate, F. A., Pineda Insuasti, J. A., Barrigas Revelo, D. A., & Pineda Soto, C. A. (2021). Producción de espirulina (*Arthrospira platensis*): una revisión. *Revista Biorrefinería*, 4(4), 1–9. <https://www.cebaecuador.org/wp-content/uploads/2022/01/16.pdf>
- Ramluckan, K., Moodley, K. G., & Bux, F. (2014). An evaluation of the efficacy of using selected solvents for the extraction of lipids from algal biomass by the soxhlet extraction method. *Fuel*, 116, 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.07.118>
- Rashd, J. A., Lalung, J., Kassim, M. A., Wijaya, D., Allzrag, A. M. M., & Shaah, M. A. (2024). Kinetics and thermodynamic studies on biodiesel synthesis via Soxhlet extraction of *Scenedesmus parvus* algae oil.

Energy Conversion and Management: X, 23(May), 100633.
<https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100633>

Ruiz, J. A., Ríos, A., & Cáceres, E. (2021). Theoretical estimation of the production potential of biodiesel from microalgae at the Talara refinery. *International Journal of Renewable Energy Research*, 11(4).
<https://doi.org/10.20508/ijrer.v11i4.12498.g8328>

United States Environmental Protection Agency. (1996). Method 3540C: Soxhlet extraction (SW-846 Test Method). United States Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov.translate.google/hw-sw846/sw-846-test-method-3540c-soxhlet-extraction?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Vega, B. O. A., & Voltolina, D. (2007). Concentración, recuento celular y tasa de crecimiento. *Métodos y herramientas analíticas en la evaluación de la biomasa microalgal*, 1, 17-25.

Wood, D. A. (2021). Microalgae to biodiesel - Review of recent progress. *Bioresource Technology Reports*, 14(February), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100665>

Yuan Juhong, Kendall Alissa y Zhang Yizhen (2014). Mass balance and life cycle assessment of biodiesel from microalgae incorporated with nutrient recycling options and technology uncertainties. *GCB Bioenergy* (2015) 7, 1245–1259, <https://doi.org/10.1111/gcbb.12229>

Zhou, W., Wang, J., Chen, P., Ji, C., Kang, Q., Lu, B. & Ruan, R. (2022). Bio-mitigation of carbon dioxide using microalgal systems: Advances and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](#) .