

Artículo Original

**POTENCIAL DE LAS AGUAS RESIDUALES PESQUERAS PARA LA
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y MICROALGAS**

**POTENCIAL OF FISHERY WASTEWATER FOR BIOGAS AND
MICROALGAE PRODUCTION**

Lilyana Carbonell Sorí^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-8252-8452>
Julio Pedraza Gárciga¹ <https://orcid.org/0000-0003-1780-5297>
Lisbet Mailín López González¹ <https://orcid.org/0000-0002-2362-5703>

¹ Universidad de Sancti Spiritus "José Martí", Unidad de Desarrollo e Innovación-Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (UDI-CEEPI), Sancti Spiritus, Cuba.

Recibido: Octubre 24, 2023; Revisado: Octubre 30, 2023; Aceptado: Noviembre 6, 2023

RESUMEN

Introducción:

La industria de procesamiento del pescado genera grandes volúmenes de aguas residuales, que generalmente son tratadas en lagunas, generando malos olores y emitiendo gases contaminantes a la atmósfera. De acuerdo a su contenido de materia orgánica estas pueden ser tratadas en reactores anaerobios con un acople de microalgas para la biorremediación del efluente, debido a su alta capacidad de remoción de N, P y CO₂.

Objetivo:

Determinar el potencial de las aguas residuales del procesamiento de pescado de la industria pesquera en Sancti Spiritus para la producción de biogás y microalgas.

Materiales y Métodos:

Se toma como punto de partida las características fisicoquímicas de las aguas residuales y se realizan balances de masa empleando índices de la literatura, para determinar los volúmenes de biogás y la cantidad de biomasa cosechada de la microalga *Chlorella vulgaris*.

Resultados y Discusión:

Las aguas analizadas, representan un potencial para la obtención de biogás y para el desarrollo de cultivos de microalgas como alternativa prometedora para mejorar el



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Lilyana Carbonell, Email: lilyanacarbonell96@gmail.com



rendimiento de los procesos, lo que permite obtener energía y productos de alto valor añadido.

Conclusiones:

Las aguas residuales de la empresa pesquera Pescaspir, permiten obtener 21,8 m³ de biogás al día y 0,58 kg/d de biomasa microalgal seca, por lo que el sistema de tratamiento propuesto permite la generación de energía renovable, la producción de biomasa, la obtención de un efluente depurado y la reducción del impacto ambiental que causan en los sistemas acuáticos naturales, además de otras posibles aplicaciones tecnológicas.

Palabras clave: biodigestor; biogás; biomasa de microalga; *Chlorella vulgaris*; residuales pesqueros.

ABSTRACT

Introduction:

The fish processing industry generates large volumes of wastewater, which are generally treated in lagoons, generating bad odors and emitting polluting gases into the atmosphere. According to their organic matter content, these can be treated in anaerobic reactors with a microalgae coupling for the bioremediation of the effluent, due to their high N, P and CO₂ removal capacity.

Objective:

To determine the potential of fish processing wastewater from the fishing industry in Sancti Spíritus for biogas and microalgae production.

Materials and Methods:

The physicochemical characteristics of the wastewater are taken as a starting point and mass balances are performed using indexes from the literature to determine the volumes of biogas and the amount of biomass harvested from the microalgae *Chlorella vulgaris*.

Results and Discussion:

The analyzed waters represent a potential for obtaining biogas and for the development of microalgae cultures as a promising alternative to improve process performance, which allows obtaining energy and high value-added products.

Conclusions:

The wastewater from the Pescaspir fishing company produces 21.8 m³ of biogas per day and 0.58 kg/d of dry microalgal biomass, so the proposed treatment system allows the generation of renewable energy, the production of biomass, obtaining a purified effluent and reducing the environmental impact on natural aquatic systems, in addition to other possible technological applications.

Keywords: biodigester; biogas; microalgae biomass; *Chlorella vulgaris*; fishery wastewater.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos en Cuba constituye uno de los objetivos priorizados en los que se trabaja, con el propósito de elevar la seguridad alimentaria de la población

(Cabrera y col., 2019). Los productos del mar representan una fuente de alimentos altamente nutritivos con una amplia diversidad dietética para los consumidores y son una importante fuente de ingresos para los productores (Han y col., 2022). Sin embargo, durante el procesado y manipulación del pescado se genera una cantidad considerable de residuos orgánicos sin valor comercial, como vísceras, piel, cabeza, aletas y sangre, generando malos olores, acumulación de residuos y vertidos no autorizados, que provocan olores desagradables, Ulloa (2022). Estos residuos, al ser vertidos, pueden provocar disminución en la concentración de oxígeno disuelto, aumento en la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), aumento en la demanda química de oxígeno (DQO), aumento de nitrógeno (N) en sus diferentes formas químicas (amonio, nitrito y nitrato) y fósforo (P), (Ramos y Pizarro, 2018).

Entre los procesos de tratamiento de aguas residuales utilizados en los países en desarrollo, la laguna de estabilización ha sido el método más utilizado, tanto por su bajo costo como por su alta eficiencia en la reducción de organismos patógenos (Romero y Castillo, 2018). Aunque comúnmente las lagunas funcionan adecuadamente, muchas veces tienden a perder sus capacidades de depuración durante los picos de producción, por lo que la laguna genera mal olor y por lo tanto afecta la calidad del aire. Además, la filtración de efluentes a las aguas subterráneas, podría causar su contaminación, Cedeño (2020). Estos sistemas no consiguen eliminar altas concentraciones de nutrientes (N y P) de las aguas residuales, Pal (2017), y tienen un impacto importante en las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que son responsables de alrededor del 5% de las emisiones de metano a la atmósfera, Ulloa (2022).

Como resultado del procesamiento y manipulación del pescado, la empresa Pescaspir, de la provincia de Sancti Spíritus, genera un volumen promedio de residuales de 180 m³ al día, los cuales actualmente reciben tratamientos físicos (separación de grasas) y biológicos (sistemas de lagunas anaerobia y facultativas). En la laguna anaeróbica se produce la primera fase de depuración biológica mediante las bacterias anaeróbicas presentes en el residual. Posteriormente el residual continúa su proceso de depuración en dos lagunas facultativas las cuales trabajan en serie para poder lograr la depuración necesaria y obtener los parámetros exigidos por la Norma Cubana 27, (2012), referente al vertimiento de aguas residuales a las lagunas terrestres y al alcantarillado, debido a que tienen como fuente receptora al río Jubainicú. Sin embargo, en la evaluación del sistema de tratamiento de los residuales, se han detectado deficiencias en el procesamiento de los mismos, pues el valor de DQO_{Cr} (128 mg/L) se encuentra ligeramente superior en ocho unidades al establecido por la norma y, además, se detectó que la laguna facultativa 1 no funciona.

En la actualidad, el tratamiento de efluentes representa un costo y un proceso que no genera ganancia para las empresas de acuicultura. Por lo tanto, las investigaciones sobre este tema se deben centrar en el desarrollo de tecnologías eficientes y de bajo costo, para disminuir o mitigar los efectos de los residuos generados por el consumo, comercio y acopio de pescado, que permita su aprovechamiento para la generación de energía, contribuyendo así al desarrollo sostenible y garantizando el bienestar de los ecosistemas Ulloa (2022). Por esta razón, existe un gran interés en el uso de alternativas para reducir la contaminación de los residuos pesqueros, que van desde el uso de digestores anaerobios para producir biogás hasta el tratamiento secundario con microalgas

(Chiclote y col., 2020). Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo del trabajo es determinar el potencial de las aguas residuales del procesamiento de pescado de la industria pesquera en Sancti Spíritus para la producción de biogás y microalgas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar el potencial de las aguas residuales pesqueras para la obtención del biogás y el cultivo de microalgas, se toma como punto de partida, las características físico-químicas de las aguas a la salida de la trampa de grasas (tabla 1) reportado por Pardillo (2022), para comprobar si es posible la sustitución de los sistemas de lagunas existentes, por un biodigestor para la generación de biogás con fines energéticos y posteriormente un cultivo de microalgas para la obtención de biomasa.

Tabla 1. Características de las aguas residuales a la salida de la trampa de grasas

<i>Parámetros</i>	<i>ST</i>	<i>SV</i>	<i>SS</i>	<i>STF</i>	<i>pH</i>	<i>Conductividad eléctrica</i>	<i>DBO₅</i>	<i>DQO_{Cr}</i>
<i>Unidad</i>	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Unidades	μS/cm	mg/L	mg/L
<i>Valor</i>	706	132	2	574	7	849	268	800

ST: sólidos totales, SV: sólidos totales volátiles, SS: sólidos sedimentables, STF: sólidos totales fijos.

Luego se aplica la metodología empleada por (Carbonell y col., 2023), la cual se detalla a continuación:

2.1 Evaluación de la calidad de las aguas para la obtención de biogás

Para obtener la cantidad de materia orgánica total que entra al biodigestor se aplica la ecuación 1, donde M_{SV} es la masa de los sólidos volátiles totales, $V_{residual}$ es el flujo de residual y $SV_{residual}$ son los sólidos volátiles presentes en el residual. Partiendo de que 1 kg de SV equivale a 0,55 m³ de CH₄ (Bücker y col., 2020), entonces el volumen de CH₄ obtenido del biodigestor (V_{CH_4}) se calcula a través de la ecuación 2. Luego se determina el volumen de biogás ($V_{biogás}$) a partir de la ecuación 3, donde %CH₄ representa el por ciento de metano en el biogás:

$$M_{SV} = SV_{residual} * V_{residual} \quad (1)$$

$$V_{CH_4} = M_{SV} * 0,55 \quad (2)$$

$$V_{biogás} = V_{CH_4} * \%CH_4 \quad (3)$$

La masa de biogás obtenido ($M_{biogás}$) se puede determinar a través de la ecuación 4, donde $\rho_{biogás}$ representa la densidad del biogás. Para el cálculo de la masa del residual ($M_{residual}$) se utiliza la ecuación 5. Luego, a través de un balance total representado en la ecuación 6, se determina la cantidad de digestato obtenida ($M_{digestato}$), donde $\rho_{residual}$ es la densidad del agua residual de pescado:

$$M_{biogás} = V_{biogás} * \rho_{biogás} \quad (4)$$

$$M_{residual} = V_{residual} * \rho_{residual} \quad (5)$$

$$M_{digestato} = M_{residual} - M_{biogás} \quad (6)$$

Para el cálculo de la materia orgánica presente en el digestato ($DQO_{\text{digestato}}$), se emplea la ecuación 7, donde DQO_{in} es el valor de la carga de la DQO inicial, y $\%Rem_{DQO}$ representa el por ciento de remoción de la DQO. La masa de la fracción líquida ($M_{\text{fracc.liq}}$) se considera igual al 90% del digestato, Varnero-Moreno (2011), y puede ser calculada por medio de la ecuación 8, así como su volumen equivalente a través de la ecuación 9:

$$DQO_{\text{digestato}} = DQO_{\text{in}} * (1 - \%Rem_{DQO}) \quad (7)$$

$$M_{\text{fracc.liq}} = M_{\text{digestato}} * 0,9 \quad (8)$$

$$V_{\text{fracc.liq}} = \frac{M_{\text{fracc.liq}}}{\rho_{\text{residual}}} \quad (9)$$

2.2 Evaluación de la calidad del efluente del biodigestor para el cultivo de microalgas

El cálculo del potencial del efluente de un biodigestor alimentado con aguas residuales pesqueras, para el cultivo de microalgas, se dividió en dos partes: i) Determinación del rendimiento máximo de la biomasa de la *Chlorella vulgaris* (*C. vulgaris*); ii) Determinación de la biomasa cosechada.

2.2.1 Determinación del rendimiento máximo de la biomasa de la *C. vulgaris*

Se parte del cálculo del grado de reductancia (γ) de la microalga *C. vulgaris* de fórmula $CH_{1.995}O_{0.525}N_{0.084}P_{0.002}$ (Picardo y col., 2013) a través de la ecuación 10. Para ello se conoce que los coeficientes relacionados con el valor del Grado de Reducción de los diferentes componentes, son los siguientes: C = 4, H = 1, N = -3, O = -2 y P = 5 (Bu'Lock y Kristiansen, 1991) y (Erickson y col., 1978), donde C_C , C_H , C_N , C_O y C_P son las composiciones de los diferentes componentes en la macroalga; y C, H, O, N y P son el grado de reducción de cada elemento. Luego se determina la masa molar de la biomasa (M_{biomasa}) partir de la ecuación 11, donde M_C , M_H , M_N , M_O y M_P son las masas atómicas de cada elemento:

$$\gamma = (C * C_C) + (H * C_H) - (N * C_N) - (O * C_O) + (P * C_P) \quad (10)$$

$$M_{\text{biomasa}} = (M_C * C_C) + (M_H * C_H) - (M_N * C_N) - (M_O * C_O) + (M_P * C_P) \quad (11)$$

A continuación, son calculadas la fracción peso de carbono en biomasa (σ_x) y sustrato (σ_s), y el rendimiento máximo de la biomasa ($Y_{x/s}$) utilizando las ecuaciones 12, 13 y 14 respectivamente, siendo M_{sustrato} la masa molar del dióxido de carbono.

$$\sigma_x = \frac{M_C}{M_{\text{biomasa}}} \quad (12)$$

$$\sigma_s = \frac{M_C}{M_{\text{sustrato}}} \quad (13)$$

$$Y_{(x/s)} = \frac{4 * \sigma_s}{\sigma_x * \gamma} \quad (14)$$

2.2.2 Determinación de la biomasa cosechada

Para determinar el valor de la carga de la DQO a la salida del cultivo (DQO_{sal}), se utiliza la ecuación 15, donde $\%Rem_{\text{microalga}}$ es la capacidad de remoción de la microalga. Por otra parte, la masa de CO_2 removida en el cultivo ($M_{\text{remov.CO}_2}$) se puede calcular a través de la ecuación 16, donde $\%CO_{2\text{remov}}$ es el por ciento de CO_2 removido en el cultivo. Para determinar la masa de microalgas, y la concentración de las mismas en el

residual, se utilizan las ecuaciones 17 y 18 respectivamente:

$$DQO_{sal} = DQO_{digestato} * (1 - \%Rem_{microalga}) \quad (15)$$

$$M_{remov.CO2} = M_{biogás} * \%CO_{2remov} \quad (16)$$

$$M_{microalgas} = M_{remov.CO2} * Y_{(x/s)} \quad (17)$$

$$C_{microalgas} = \frac{Masa_{microalgas}}{V_{frac.liq}} \quad (18)$$

La productividad volumétrica (P_V) en kg/m^3d , puede ser determinada a partir de la ecuación 19, donde μ es el crecimiento específico de la microalga. La biomasa cosechada húmeda y seca se calcula a partir de las ecuaciones 20 y 21, considerando que $4,5 kg/m^3$ de biomasa húmeda equivalen a $1 kg/m^3$ de biomasa seca, (Romero y Suárez, 2022).

$$P_V = C_{microalgas} * \mu * 24 \quad (19)$$

$$Cosecha_{húmeda} = P_V * V_{frac.liq} \quad (20)$$

$$Cosecha_{seca} = \frac{Cosecha_{húmeda}}{4,5} \quad (21)$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evaluación de la calidad de las aguas para la obtención de biogás

De acuerdo a las características de las aguas muestreadas, se podrá obtener aproximadamente $21,8 m^3$ de biogás. A continuación se muestran las consideraciones realizadas para el cálculo tomando como base de cálculo 1 día: la densidad del agua residual es igual a la densidad del agua a $30^\circ C$ ($997,05 kg/m^3$), existe un 60% de remoción de DQO, el biogás a la salida del biodigestor tiene un 60% de CH_4 y un 40% de CO_2 , y la densidad del biogás es $1,133 kg/m^3$, (León y col., 2019). En el caso de la fracción sólida del digestato, puede utilizarse como bio-abono orgánico como sustituto de los químicos, Prieto (2020). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de los potenciales diarios de biogás y metano

Parámetros	Resultados (unidades)
Masa de sólidos volátiles	23,8 kg SV
Volumen de CH_4	13,1 $m^3 CH_4$
Volumen de biogás	21,8 m^3
Masa de biogás	24,7 kg
Masa de residual	179217 kg
Masa del digestato	179192 kg
Carga de DQO en el digestato	57,6 kg/d
Masa de la fracción líquida del digestato	161273,1 kg
Volumen de la fracción líquida	161,98 m^3
Masa de la fracción sólida del digestato	17919,2 kg

El valor calorífico del biogás con concentraciones de metano entre el 50 y el 70 % es de $5,5$ a $7,6 kWh/m^3$. Según las referencias bibliográficas, un metro cúbico de biogás equivale a: 0,8 L de gasolina, 1,3 L de alcohol, 0,7 L de gasóleo, $0,6 m^3$ de gas natural,

1,5 kg de madera, y 6,8 kW/h de electricidad, Arhoun (2017). La tabla 3 muestra las equivalencias del biogás (21,8 m³) con otros portadores energéticos.

Tabla 3. Equivalencia del biogás obtenido a partir de las aguas residuales pesqueras con otros portadores energéticos

<i>Productos</i>	<i>Gasolina</i>	<i>Gasóleo</i>	<i>Gas natural</i>	<i>Madera</i>	<i>Alcohol</i>	<i>Electricidad</i>
<i>Unidad</i>	L	L	m ³	kg	L	kW/h
<i>Equivalencia</i>	17,4	15,3	16,1	32,7	28,3	148,2

A partir de este cálculo preliminar, se puede afirmar que las características de las aguas analizadas, representan un potencial para la obtención de biogás generado en biodigestores alimentados con estos residuales, pudiera utilizarse para sustituir alguno de los portadores energéticos mostrados en la tabla 3.

3.2 Evaluación de la calidad del efluente del biodigestor para el cultivo de microalgas

3.2.1 Determinación del rendimiento máximo de la biomasa de la *C. vulgaris*

Para el cálculo se considera que el CO₂ es el sustrato limitante para el crecimiento de las microalgas. Los resultados de los cálculos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados del rendimiento máximo de la biomasa de la *C. vulgaris*

<i>Parámetros</i>	<i>Grado de reductancia</i>	<i>Masa molar de la biomasa</i>	<i>Fracción peso de carbono en biomasa</i>	<i>Fracción peso de carbono en sustrato</i>	<i>Rendimiento máximo de la biomasa</i>
<i>Valores (Unidades)</i>	4,262	23,633 g/mol	0,5078	0,2727	0,5041 kg biomasa/ kg CO ₂

3.2.2 Determinación de la biomasa cosechada

Para la determinación de la biomasa cosechada también se parte de una serie de consideraciones: el sistema se encuentra en estado estacionario (no se tuvo en cuenta el inóculo), se utiliza como fuente de carbono y como medio de cultivo de las microalgas, el biogás y la fracción líquida procedente del biodigestor referido en el epígrafe 3.1, se considera un 10% de CO₂ en el biogás a la salida del cultivo, para que pueda ser empleado en motores de combustión interna sin perjudicar la potencia del vehículo y sin grandes modificaciones en los equipamientos, (Souza y Schaeffer, 2012). Además se considera un tiempo de residencia celular de 6 días, el crecimiento específico (μ) de la *C. vulgaris* es de 0,033 h⁻¹ (Ma'mun y col., 2022), y su una capacidad de remoción es del 84% en residuales pesqueros (Alazaiza y col., 2023). Los resultados de los cálculos se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Determinación de la biomasa cosechada de la *C. vulgaris*

<i>Parámetros</i>	<i>Resultado (unidades)</i>
Carga de la DQO a la salida	9,216 kg/d
Masa de CO ₂ removida por las microalgas	7,41 kg
Masa de las microalgas	3,74 kg
Concentración de microalgas en el residual	0,02 kg/m ³
Productividad volumétrica	0,016 kg/m ³ d
Biomasa Cosecha húmeda	2,59 kg/d
Biomasa Cosecha seca	0,58 kg/d

Según los resultados del cálculo, se puede concluir que la fracción líquida y el biogás procedente de un reactor anaerobio alimentado con aguas residuales pesqueras, puede utilizarse como nutrientes para el cultivo de microalgas, al aportar cantidades de CO₂ necesarias para el crecimiento de estas especies. Además, dada la capacidad de asimilación de nutrientes como N y P (Alazaiza y col., 2023), pueden ser empleadas como una herramienta de biorremediación. De manera general, las algas aquí producidas y extraídas del medio residual pueden tener un amplio uso en la alimentación animal de especies de la acuicultura, así como para la obtención de bio-derivados con un alto valor económico. La biomasa seca alcanzará un valor aproximado de 0,58 kg/d (17,4 kg/mes).

4. CONCLUSIONES

Las aguas residuales de la empresa pesquera Pescaspir, permiten obtener 21,8 m³ de biogás al día y 0,58 kg/d de biomasa microalgal seca, por lo que el sistema de tratamiento propuesto permite la generación de energía renovable, la producción de biomasa, la obtención de un efluente depurado y la reducción del impacto ambiental que causan en los sistemas acuáticos naturales, además de otras posibles aplicaciones tecnológicas.

REFERENCIAS

- Alazaiza, M.Y.D., He, S., Su, D., Abu, S.S., Toh, P.Y., & Bashir, M.J.K., Sewage water treatment using *Chlorella Vulgaris* microalgae for simultaneous nutrient separation and biomass production., *Separations*, Vol. 10, No. 4, 2023, pp. 1-13. <https://doi.org/10.3390/separations10040229>
- Arhoun, B., Digestión y codigestión anaerobia de residuos agrícolas, ganaderos y lodos de depuradora., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias, Especialidad Ingeniería Química en la Universidad de Málaga, España, 2017. <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/15500>
- Bücker, F., Marder, M., Peiter, M.R., Lehn, D.N., Esquerdo, V.M., de Almeida, L.A., & Konrad, O., Fish waste: An efficient alternative to biogas and methane production in an anaerobic mono-digestion system., *Renewable Energy*, Vol. 147, No. P1, 2020, pp. 798-805. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.140>
- Bu'Lock, J.D., y Kristiansen, B., *Biotechnología Básica.*, Editorial Acribia SA, Zaragoza, España, 1991, pp. 1-574. <https://www.editorialacribia.com/libro/biotechnologia->

[basica_54374/](#)

- Cabrera, I., Valladares, D., Tejeda, L.A., y Arbona, M., Diseño de un sistema de tratamiento de los residuales líquidos de la empresa pesquera Induvilla de Santa Clara., Centro Azúcar, Vol. 46, No. 4, 2019, pp. 28-38. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2223-48612019000400028&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Carbonell, L., García-Rodríguez, A.A., Roche-Delgado, L., y O’Farrill-Pie, M.E., Determinación del rendimiento máximo y ecuación fotosintética de la macroalga *Ulva lactuca* basada en cálculos de coeficientes estequiométricos., Centro Azúcar, Vol. 50, No. 3, 2023, e1025. http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/757
- Cedeño, D.M., Impacto ambiental de las lagunas de tratamiento de aguas residuales. Sector Colinas San José, Ciudad de Rocafría., Polo del Conocimiento, Vol. 5, No. 1, 2020, pp. 257-280. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i01.1223>
- Chiclote, L.E., Chiclote, B., Mariños, J.C., Diego, A.S., Huamán, A.I., y Pinglo, M.E., Biotratamiento para reducción de carga orgánica generada en el agua residual de curtiembres., Revista de innovación y transferencia productiva, Vol. 1, No. 2, 2020, pp. 1-11. <https://doi.org/10.54353/ritp.v1i2.e001>
- Erickson, L.E., Minkevich, I.G., & Eroshin, V.K., Application of mass and energy balance regularities in fermentation., Biotechnology and Bioengineering, Vol. 20, No. 10, 1978, pp. 1595-1621. <https://doi.org/10.1002/bit.260201008>
- Han, K., Leem, K., Choi, Y.R., & Chung, K., What drives a country’s fish consumption? Market growth phase and the causal relations among fish consumption, production and income growth., Fisheries Research, Vol. 254, 2022, 106435. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106435>
- León, C.A., Nomberto, C., Mendoza, G.A., Bardales, C.B., Cabos, J., y Barrera Gurbillón, M.A., Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, Biol y Biosol., Arnaldoa, Vol. 26, No. 3, 2019, pp. 1017-1032. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26311>
- Ma’mun, S., Wahyudi, A., & Raghdanesa, A.S., Growth rate measurements of *Chlorella vulgaris* in a photobioreactor by Neubauer-improved counting chamber and densitometer., IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 963, No. 1, 2022, 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/963/1/012015>
- Norma Cubana 27., Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado: Especificaciones., Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 2012, pp. 1-14.
- Pal, P., Biological Treatment Technology., Industrial Water Treatment Process Technologic, Elsevier: Academic Press, 2017, pp. 65-144. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810391-3.00003-5>
- Pardillo, J.L., Caracterización de residuales líquidos PESCASPIR SS., código 2201000001., Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos., 2022, pp. 1-25.
- Picardo, M., de Medeiros, J., Monteiro, J., Chaloub, R., Giordano, M., & Araujo, O., A methodology for screening of microalgae as a decision making tool for energy and green chemical process applications., Clean Technologies and Environmental Policy, Vol. 15, 2013, pp. 275-291. <https://doi.org/10.1007/s10098-012-0508-z>
-

- Prieto, I., Estudio del crecimiento de la microalga *Chlorella vulgaris* y su capacidad de depuración de agua residual., Tesis presentada en opción al Título de Biotecnología en la Universidad de Almería, España, 2020. <http://repositorio.ual.es/handle/10835/9896>
- Ramos, R., y Pizarro, R., 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*, Vol. 53, No. 1, 2018, pp. 75-86. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572018000100075>
- Romero, T. de J., & Castillo, Y., Actualización del estado de las lagunas de estabilización de la provincia Mayabeque., *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol. 39, No. 2, 2018, pp. 72-85. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1680-03382018000200006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Romero, T. de J., y Suárez, G., Uso sostenible del agua residual de la pesca a partir del cultivo de microalgas. Caso de estudio Epigran., *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, Vol. 43, No. 2, 2022, pp. 17-28. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1680-03382022000200017&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Souza, J., y Schaeffer, L., Sistema de Compresión de Biogás y Biometano., *Información Tecnológica*, Vol. 24, No. 6, 2012, pp. 03-08. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000600002>
- Ulloa, E.J.R., Aprovechamiento de residuos de pescado en la producción de biogás obtenido mediante digestión anaerobia en la ciudad de Arequipa., Tesis presentada en opción al Grado de Ingeniero Pesquero en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, 2022. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/14177>
- Varnero-Moreno, M.T., *Manual de biogás*, FAO, Santiago de Chile, 2011, pp. 1-119. https://issuu.com/mbritoa/docs/uchile-manualbiogas_2012

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Lilyana Carbonell Sorí. Redacción - revisión y edición, investigación.
 - Dr.C. Julio Pedraza Gárciga. Investigación.
 - Dra.C. Lisbet Mailín López González. Conceptualización, supervisión.
-