

**Artículo Original**

***DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO MÁXIMO Y ECUACIÓN FOTOSINTÉTICA DE LA MACROALGA ULVA LACTUCA BASADA EN CÁLCULOS DE COEFICIENTES ESTEQUIOMÉTRICOS***

***DETERMINATION OF THE MAXIMUM YIELD AND PHOTOSYNTHETIC EQUATION OF THE ULVA LACTUCA MACROALGAE BASED ON CALCULATIONS OF STOICHIOMETRIC COEFFICIENTS***

Lilyana Carbonell Sorí<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8252-8452>  
Agustín Andrés García Rodríguez<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8897-0671>  
Liset Roche Delgado<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5858-2926>  
María Eugenia O'Farrill Pie<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6451-3065>

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

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Abril 27, 2023; Revisado: Mayo 10, 2023; Aceptado: Mayo 21, 2023

**RESUMEN**

**Introducción:**

Estudios realizados han demostrado que la macroalga *Ulva lactuca* es la mayor receptadora de CO<sub>2</sub>. En Cuba se está valorando la posibilidad de instalar una planta para su cultivo intensivo, que contribuya a mitigar el CO<sub>2</sub> y permita obtener biomasa algal de forma sostenible. Para los cálculos de diseño, selección del equipamiento y condiciones de operación, es necesario conocer el rendimiento máximo de la biomasa y su ecuación fotosintética.

**Objetivo:**

Estimar cuantitativamente el mecanismo de fijación de CO<sub>2</sub> de la macroalga *Ulva lactuca*, mediante diferentes alternativas de la ecuación de fotosíntesis basados en el cálculo de los coeficientes estequiométricos.



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](mailto:lilyanacarbonell96@gmail.com)



### **Materiales y Métodos:**

Para calcular el rendimiento y las cantidades de sustrato y nutrientes que es capaz de asimilar la biomasa, se realizan balances de masa, para optimizar la producción de biomasa algal, aplicando el método de los coeficientes estequiométricos en la reacción de fotosíntesis.

### **Resultados y Discusión:**

El rendimiento máximo celular de la *Ulva lactuca* es de 63,5 %. De las ecuaciones de fotosíntesis propuestas, la alternativa cuatro posee valores más cercanos a la realidad fotosintética pues existe una gran correspondencia entre la estequiometría de crecimiento de la microalga y formación de productos, unido a la disponibilidad de las fuentes de nitrógeno y fósforo. Ambos resultados permiten deducir la producción de biomasa microalgal para implantar una tecnología económica y ambientalmente rentable.

### **Conclusiones:**

El rendimiento máximo de la biomasa y la ecuación fotosintética, permiten realizar cálculos de diseño, selección del equipamiento y condiciones de operación para escalar el proceso tecnológico.

**Palabras clave:** coeficientes estequiométricos; ecuación fotosintética; macroalga; rendimiento máximo algal; *Ulva lactuca*.

## **ABSTRACT**

### **Introduction:**

Studies have shown that the macroalga *Ulva lactuca* is the largest CO<sub>2</sub> receptor. In Cuba, the possibility of installing a plant for its intensive cultivation is being evaluated, which contributes to mitigate CO<sub>2</sub> and allows obtaining algal biomass in a sustainable way. For design calculations, equipment selection and operating conditions, it is necessary to know the maximum biomass yield and its photosynthetic equation.

### **Objective:**

To estimate quantitatively the CO<sub>2</sub> fixation mechanism of the macroalga *Ulva lactuca*, using different alternatives of the photosynthesis equation based on the calculation of stoichiometric coefficients.

### **Materials and Methods:**

To calculate the yield and the amounts of substrate and nutrients that the biomass is able to assimilate, mass balances are carried out to optimize the production of algal biomass, applying the method of stoichiometric coefficients in the photosynthesis reaction.

### **Results and Discussion:**

The maximum cell yield of *Ulva lactuca* is 63.5 %. Of the photosynthesis equations proposed, alternative four has values closer to photosynthetic reality, since there is a great correspondence between the stoichiometry of microalgae growth and product formation, together with the availability of nitrogen and phosphorus sources. Both results allow us to deduce the production of microalgal biomass to implement an economically and environmentally profitable technology.

---

## **Conclusions:**

The maximum biomass yield and the photosynthetic equation allow for design calculations, equipment selection and operating conditions to scale up the technological process.

**Keywords:** stoichiometric coefficients; photosynthetic equation; macroalgae; maximum algal yield; *Ulva lactuca*.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El incremento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera a consecuencia del desarrollo de la industria química, ha favorecido el aumento del calentamiento global del planeta. Esto significa que hay que dedicar esfuerzos para desarrollar métodos alternativos, basados en procesos renovables y sustentables, que por una parte contribuyan a la reducción de la contaminación atmosférica y que, por otra, permitan la obtención de productos energéticos y de alto valor agregado.

Las plantas son seres vivos que tiene la capacidad de realizar la fotosíntesis. Este es un proceso anabólico que realizan las células vegetales que tienen cloroplastos, mediante el cual se genera energía utilizando agua, luz solar y dióxido de carbono, formando materia orgánica y liberando oxígeno (O<sub>2</sub>). En la fotosíntesis hay dos fases: fase luminosa y fase oscura: la fase luminosa se lleva a cabo en las granas del cloroplasto, donde la clorofila absorbe luz, lo que excita uno de los electrones que irá a pasar a un compuesto denominado aceptor de protones y electrones; mientras que la fase oscura conocida como el ciclo de Calvin se lleva a cabo en los estromas del cloroplasto, el dióxido de carbono, absorbido del ambiente, se incorpora a la ribulosa (5 carbonos) que hay en el estroma, para formar un compuesto de seis átomos de carbono: la glucosa, Soto (2021).

En el caso de las algas, según estudios realizados se ha demostrado que fijan alrededor de la mitad del carbono del planeta producto del proceso de fotosíntesis, siendo la *Ulva lactuca* la mayor receptadora de CO<sub>2</sub>, logrando captar aproximadamente 1,5 g de CO<sub>2</sub>/g de biomasa según (Nikolaisen y col., 2011), valor que es muy similar al reportado por (García-Rodríguez y col., 2022) que es de 1,53 g de CO<sub>2</sub>/g de biomasa. Su eficiencia fotosintética, se encuentra alrededor del 6-8%, valores superiores a los estimados para las plantas terrestres (1,8-2,2%) (Gómez-Pinchetti y col., 2011). Es por ello que se estudian tecnologías para favorecer el cultivo masivo de estas especies, ya que crecen en una gran variedad de ambientes y condiciones.

En (Cárdenas y col., 2022) se presenta la propuesta realizada por (Duarte y col., 2017) de cuatro parámetros socio-ecológicos a tener en cuenta como estrategia de adaptación al cambio climático, donde se reporta la acuicultura de algas marinas como un componente importante dentro de ellas. Estos parámetros son: la productividad biológica para mejorar la captura de carbono (cuyos límites los determinan las características biológicas de las especies a cultivar), las limitaciones ambientales a la expansión de la acuicultura de algas marinas, los instrumentos normativos que permiten las diferentes prácticas de acuicultura y la gestión de las preferencias de la sociedad.

Por otra parte, Ríos (2016) plantea que el cultivo en tanques de la macroalga marina

---

Ulva lactuca constituye una alternativa eficaz para la reducción de las emisiones de gases de combustión, siendo a la vez, el CO<sub>2</sub> el nutriente principal y el gas factible a reducir en la atmósfera, aunque con un riguroso control por su efecto en la disminución de la alcalinidad del medio.

En Cuba se está valorando la posibilidad de instalar una planta para el cultivo intensivo de macroalgas que no solo contribuya a la mitigación de este gas, sino que también permita la obtención de biomasa algal como fuente de obtención de numerosos subproductos en la industria química, biotecnológica y agrícola (Espinosa y col., 2021). Según (García y col., 2012) y (Mesa, 2018) el desarrollo de un proceso intensivo de cultivo de las mismas para obtener de forma económicamente viable las cantidades necesarias para su industrialización posterior, requiere de zonas marinas y métodos de cultivo de algas efectivos que permitan producir a bajo costo grandes cantidades de biomasa, contribuyendo de forma sostenible al control de la emisión del CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Para lograrlo, antes es necesario conocer el rendimiento máximo de la biomasa y la ecuación fotosintética de la macroalga Ulva lactuca, a partir del conocimiento de su fórmula química, pues estos factores son necesarios para el desarrollo de los cálculos de diseño, selección del equipamiento y condiciones de operación (García-Rodríguez y col., 2022). Precisamente el objetivo de este trabajo estimar cuantitativamente el mecanismo de fijación de CO<sub>2</sub> de la macroalga Ulva lactuca, mediante diferentes alternativas de la ecuación de fotosíntesis basados en el cálculo de los coeficientes estequiométricos.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la ejecución de este trabajo, primeramente, se realizaron balances de masa, que permitieron calcular las cantidades de sustrato y nutrientes que es capaz de asimilar la biomasa, así como su rendimiento. Para ello se partió del conocimiento de la fórmula química de la macroalga Ulva lactuca con un átomogramo de carbono ( $\theta=1$ ): CH<sub>1.995</sub>O<sub>0.9298</sub>N<sub>0.000436</sub>P<sub>0.0000132</sub> (García-Rodríguez y col., 2022), permitiendo así la optimización de la producción de biomasa algal en la fotosíntesis (Bofill y col., 2012). La segunda metodología de investigación utilizada se basó en el método de (Castellanos y col., 2001), ajustado en este caso, para determinar los coeficientes estequiométricos en la reacción de fotosíntesis correspondientes a la fórmula de alga propuesta, bajo diferentes consideraciones. Para ello se presentaron cuatro alternativas de ecuación fotosintética que genera la biomasa, donde se utilizó como única fuente de carbono el CO<sub>2</sub>; y como fuentes de nitrógeno y fósforo, el fosfato de amonio ((NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), el fosfato diamónico ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) y el fosfato monoamónico ((NH<sub>4</sub>)H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)).

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### ***3.1. Cálculo del rendimiento máximo de la biomasa***

Las técnicas del balance materiales se apoyan tanto en relaciones estequiométricas rigurosas, como en relaciones empíricas aproximadas, basadas en consideraciones propias de los bioprocesos. Se deben tomar algunas consideraciones sobre el balance material para el crecimiento y la formación de productos como el grado de reducción

---

(reductancia) o reductividad ( $\gamma$ ) (Boffill y col., 2012).

Bu'Lock y Kristiansen, (1991) y Erickson y col., (1978) definen el Grado de Reducción como el número de equivalentes de oxígeno requeridos para la oxidación completa de todo el compuesto orgánico que contiene en su estructura un átomo de carbono. Los autores señalan que el grado de reducción ( $\gamma$ ) está estrechamente ligado al número equivalente de electrones disponibles del compuesto que posee un átomo gramo de carbono. Por tanto, los coeficientes relacionados con el valor del Grado de Reducción de los diferentes componentes, son los siguientes:

$$C = 4, H = 1, N = -3, O = -2 \text{ y } P = 5$$

Para determinar el grado de reductancia de la macroalga *Ulva lactuca* de fórmula  $CH_{1.995}O_{0.9298}N_{0.000436}P_{0.0000132}$ , se utiliza la ecuación 1:

$$\gamma = (C * C_C) + (H * C_H) - (N * C_N) - (O * C_O) + (P * C_P) \quad (1)$$

donde  $C_C$ ,  $C_H$ ,  $C_N$ ,  $C_O$  y  $C_P$  son los subíndices químicos que indican el número de átomos que se encuentran formando el compuesto.

A través de la ecuación 2 se determina  $m(\text{biomasa})$ , que corresponde al valor de la masa molar de la macroalga; siendo  $M_C$ ,  $M_H$ ,  $M_N$ ,  $M_O$  y  $M_P$  las masas atómicas de los diferentes componentes:

$$m(\text{biomasa}) = (M_C * C_C) + (M_H * C_H) - (M_N * C_N) - (M_O * C_O) + (M_P * C_P) \quad (2)$$

Luego son calculadas la fracción peso de carbono en biomasa ( $\sigma_x$ ) y sustrato ( $\sigma_s$ ), por medio de las ecuaciones 3 y 4 respectivamente:

$$\sigma_x = \frac{m(C)}{m(\text{biomasa})} \quad (3)$$

$$\sigma_s = \frac{m(C)}{m(\text{sustrato})} \quad (4)$$

Donde  $m(C)$  es la masa atómica del carbono y  $m(\text{sustrato})$  es la masa molar del dióxido de carbono.

Luego se determina el rendimiento máximo de la biomasa ( $Y_{x/s}$ ) utilizando la ecuación 5:

$$Y_{(x/s)} = \frac{4 * \sigma_s}{\sigma_x * \gamma} \quad (5)$$

Por último, se calcula el coeficiente de biomasa ( $\frac{Y_{(x/s)}}{\sigma_s/\sigma_x}$ ), por medio de la ecuación 6:

$$\frac{Y_{(x/s)}}{\sigma_s/\sigma_x} \quad (6)$$

Los resultados obtenidos de los cálculos anteriores, se muestran a través de la tabla 1:

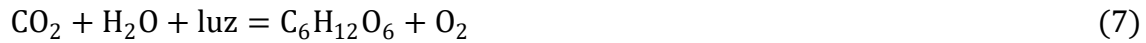
**Tabla 1.** Resultados obtenidos mediante el cálculo

<i>Parámetros</i>	<i>Valores (unidades)</i>
Grado de reductancia	4,1342
Masa molar de la <i>Ulva lactuca</i>	28,8783 g/mol
Fracción peso de carbono en biomasa	0,4155
Fracción peso de carbono en sustrato	0,2727
Rendimiento máximo de la biomasa	0,6350 g biomasa/g CO <sub>2</sub>
Coeficiente de biomasa	0,9675

### 3.2. Cálculo de los coeficientes estequiométricos

Para describir el crecimiento celular y la actividad metabólica se puede utilizar la vía clásica de una simple reacción química a partir de la fórmula elemental del material celular seco. Para ello se parte de la fórmula química referenciada anteriormente para la *Ulva lactuca* con  $\theta=1$ :  $\text{CH}_{1,995}\text{O}_{0,9298}\text{N}_{0,000436}\text{P}_{0,0000132}$

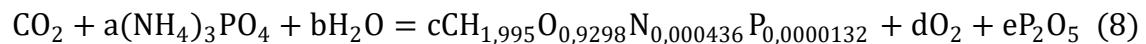
La ecuación general de la fotosíntesis puede escribirse de la forma siguiente:



El balance de los elementos para las cuatro alternativas que se muestran a continuación, suministra cinco ecuaciones para un sistema donde hay cinco incógnitas (a, b, c, d y e). Por este motivo no se necesita del factor de rendimiento máximo celular para el cálculo de los coeficientes estequiométricos, pero sí para comparar este con otros trabajos sobre la temática.

Para ello se presentan las cuatro alternativas que se ajustan al balance de masa para obtener el valor de los coeficientes estequiométricos correspondientes a la fórmula de alga propuesta.

#### Alternativa 1



$$C: 1 = c \quad (9)$$

$$H: 12a + 2b = 1,995c \quad (10)$$

$$O: 2 + 4a + b = 0,9298c + 2d + 5e \quad (11)$$

$$N: 3a = 0,000436c \quad (12)$$

$$P: a = 0,0000132c + 2e \quad (13)$$

Resolviendo el sistema se obtienen los siguientes valores:

$$a = 0,000145 \quad b = 0,996628 \quad c = 1 \quad d = 1,033540 \quad e = 6,6067\text{E-}05$$

#### Alternativa 2



$$C: 1 = c \quad (15)$$

$$H: 12a + 2b = 1,995c + 3e \quad (16)$$

$$O: 2 + 4a + b = 0,9298c + 2d + 4e \quad (17)$$

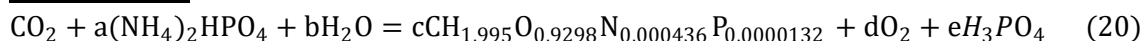
$$N: 3a = 0,000436c \quad (18)$$

$$P: a = 0,0000132c + e \quad (19)$$

Resolviendo el sistema se obtienen los siguientes valores:

$$a = 0,000145 \quad b = 0,996826 \quad c = 1 \quad d = 1,033540 \quad e = 0,000132$$

#### Alternativa 3



$$C: 1 = c \quad (21)$$

$$H: 9a + 2b = 1,995c + 3e \quad (22)$$

$$O: 2 + 4a + b = 0,9298c + 2d + 4e \quad (23)$$

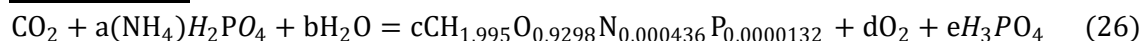
$$N: 2a = 0,000436c \quad (24)$$

$$P: a = 0,0000132c + e \quad (25)$$

Resolviendo el sistema se obtienen los siguientes valores:

a= 0,000218 b= 0,996826 c= 1 d= 1,033540 e= 0,000205

#### **Alternativa 4**



$$C: 1 = c \quad (27)$$

$$H: 6a + 2b = 1,995c + 3e \quad (28)$$

$$O: 2 + 4a + b = 0,9298c + 2d + 4e \quad (29)$$

$$N: a = 0,000436c \quad (30)$$

$$P: a = 0,0000132c + e \quad (31)$$

Resolviendo el sistema se obtienen los siguientes valores:

a= 0,000436 b= 0,996826 c= 1 d= 1,033540 e= 0,000423

La metodología seguida aquí solamente difiere de la establecida por (Castellanos y col., 2001) en dos aspectos:

- (1) en la ecuación planteada por el colectivo de autores citado, el oxígeno es reactante y el dióxido de carbono producto, ocurriendo lo contrario en las ecuaciones de fotosíntesis analizadas en este trabajo.
- (2) no se necesita del completamiento del sistema de ecuaciones con datos propios del proceso que no constituyen factores relacionados con la estequiometría de la reacción.

De las cuatro alternativas, la que posee valores más cercanos a la realidad fotosintética es la cuatro, pues existe una gran correspondencia entre la estequiometría de crecimiento de la macroalga y formación de productos, y unido a ello la disponibilidad de las fuentes de nitrógeno y fósforo. Esta ecuación establece el mecanismo mediante el cual la macroalga fija el  $\text{CO}_2$  en su biomasa. Es importante destacar que no existen estudios anteriores que refieran la ecuación fotosintética de esta macroalga, por lo que no se puede comparar.

La estimación cuantitativa preliminar de índices traducidos a coeficientes estequiométricos y rendimiento, permiten deducir la producción de biomasa microalgal para implantar una tecnología económica y ambientalmente rentable para el país.

#### **4. CONCLUSIONES**

1. El rendimiento máximo celular de la macroalga *Ulva lactuca* de fórmula  $\text{CH}_{1,995}\text{O}_{0,9298}\text{N}_{0,000436}\text{P}_{0,0000132}$  es de 0,6350 g biomasa/g  $\text{CO}_2$ .
  2. De las ecuaciones analizadas para evaluar la producción de biomasa en la captura de  $\text{CO}_2$ , la que se acerca más a la realidad fotosintética es la alternativa número cuatro, pues sus coeficientes estequiométricos son más elevados.
  3. Los resultados obtenidos del rendimiento máximo celular y la ecuación fotosintética de la macroalga, permiten realizar cálculos posteriores de diseño, selección del equipamiento y condiciones de operación para instalar una planta piloto de cultivo intensivo de esta especie en Cuba.
-

## REFERENCIAS

- Boffill, Y., García, A., y Castellanos, J., Estimación cuantitativa preliminar de índices de producción de biomasa microalgal a partir de la reacción de fotosíntesis., *Tecnología Química*, Vol. 32, No. 1, 2012, pp. 31–41. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852012000100004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852012000100004)
- Bu'Lock, J.D., y Kristiansen, B., *Biotecnología Básica.*, Editorial Acribia SA, Zaragoza, España, 1991, pp. 31-41. [https://www.editorialacribia.com/libro/biotecnologia-basica\\_54374/](https://www.editorialacribia.com/libro/biotecnologia-basica_54374/)
- Cárdenas, R., López, M., y Roche, L., Metodología para estimar el potencial fotosintético de algas en biorreactores., *Centro Azúcar*, Vol. 49, No. 1, 2022, pp. 62–70. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2223-48612022000100062&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2223-48612022000100062&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Castellanos, J.E., García, A., Herrera, N., Rodríguez, J.A., y Pérez, A., Estimación del calor de reacción en el transcurso de bioprocesos., *Centro Azúcar*, Vol. 27, No. 1, 2001, pp. 70-77. <https://biblat.unam.mx/fr/revista/centro-azucar/articulo/estimacion-del-calor-de-reaccion-en-el-transcurso-de-bioprocesos>
- Duarte, C.M., Wu, J., Xiao, X., Bruhn, A., & Krause-Jensen, D., Can Seaweed Farming Play a Role in Climate Change Mitigation and Adaptation?., *Frontiers in Marine Science*, Vol. 4, No. 1, 2017, pp. 1-8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00100>
- 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>
- Espinosa, A.A., Hernández, R.M., y González, M., Potencial de las macroalgas marinas como bioestimulantes en la producción agrícola de Cuba., *Centro Agrícola*, Vol. 48, No. 3, 2021, pp. 81–92. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0253-57852021000300081&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0253-57852021000300081&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- García, A., Hernández, J.P., Fernández, Y., y Moreira, A., Evaluación de sistema experimental para el cultivo intensivo de macroalgas marinas., *Centro Azúcar*, Vol. 39, No. 3, 2012, pp. 21-25. [http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro\\_azucar/article/view/343](http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/343)
- García-Rodríguez, A.A., Carbonell-Sorí, L., Roche-Delgado, L., y O'Farrill-Pie, M.E., Determinación de la fórmula química aproximada para la macroalga *Ulva lactuca.*, *Centro Azúcar*, Vol. 49, No. 1, 2022, pp. 71–80. [http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro\\_azucar/article/view/692](http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/692)
- Gómez-Pinchetti, J.L., Suárez-Álvarez, S., Güenaga-Unzetabarrenechea, L., Figueroa, F.L., y García-Reina, G., Posibilidades para el desarrollo de sistemas integrados con macroalgas en las Islas Canarias y su entorno., *Editorial Centro Tecnológico del Mar-Fundación Cetmar, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*, 2011, pp. 75-93. <http://hdl.handle.net/10553/7101>
- Mesa, M.S., Propuesta del sistema de tratamiento de gases de combustión de la ETE “Carlos Manuel de Céspedes” para la planta de cultivo intensivo de macroalgas marinas., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2018.
-



<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/10370/Mesa%20Mirabal%20C%20Mario%20Sergio.pdf?sequence=1&isAllowed=n>

Nikolaisen, L., Daugbjerg, P., Svane, K., Dahl, J., Busk, J., Brødsgaard, T., & Schmidt, E.R., Energy Production from Marine Biomass (Ulva lactuca)., Danish Technological Institute, PSO Project No. 2008-1-0050, Report, 2011, pp. 1-72.  
[https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/12709185/Ulva\\_lactuca.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/12709185/Ulva_lactuca.pdf)

Ríos, J., Propuesta de diseño preliminar de una planta industrial de cultivo intensivo de macroalga (Ulva Lactuca) a partir del CO<sub>2</sub> residual de la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2016.  
<http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/7476>

Soto, M., La fotosíntesis., Revista Logos Boletín Científico de la Escuela Preparatoria, Vol. 8, No. 15, 2021 pp. 22–23.  
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa2/article/view/6514>

## **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. Agustín Andrés García Rodríguez. Conceptualización, supervisión.
- M.Sc. Liset Roche Delgado. Investigación.
- Dra.C. María Eugenia O’Farrill Pie. Investigación.