

**Artículo Original**

**DETERMINACIÓN DE LA FÓRMULA QUÍMICA APROXIMADA  
PARA LA MACROALGA *ULVA LACTUCA***

**APPROXIMATE CHEMICAL FORMULA OF *ULVA LACTUCA*  
MACROALGAE DETERMINATION**

Agustín Andrés García Rodríguez <sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3680-5850>

Lilyana Carbonell Sorí <sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8252-8452>

Liset Roche Delgado <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5858-2926>

María Eugenia O'Farrill Pie <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6451-3065>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera Camajuaní km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>2</sup> Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales (CEEPI), Universidad de Sancti Spiritus "José Martí Pérez", Ave. de los Mártires N° 360. CP 60100. Sancti Spiritus, Cuba.

Recibido: Octubre 22, 2021; Revisado: Octubre 31, 2021; Aceptado: Noviembre 25, 2021

**RESUMEN**

**Introducción:**

Las emisiones de dióxido de carbono procedentes de la industria constituyen una de las principales causas de contaminación ambiental a controlar. El cultivo intensivo de algas puede ser una alternativa tecnológica viable para mitigar las emisiones de gas a la atmósfera. Para la macroalga *Ulva lactuca* no hay fórmula química aproximada que facilite los cálculos de ingeniería de instalaciones para cultivo intensivo de algas, ni la simulación de este proceso para su intensificación.

**Objetivo:**

Determinar la fórmula química aproximada de la macroalga *Ulva lactuca*, a partir de la composición química de esta especie obtenida de los reportes de la literatura.

**Materiales y Métodos:**

Se utilizan reportes de las composiciones químicas de las sustancias que integran la misma. Sumando las moléculas de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y fósforo que constituyen los componentes químicos de la especie, se procede a calcular la fórmula química elemental aproximada de la macroalga.



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: Agustín A. García, Email: [agarcia@uclv.edu.cu](mailto:agarcia@uclv.edu.cu)



### **Resultados y Discusión:**

La fórmula química aproximada de *Ulva lactuca* obtenida es  $C_{182} H_{363} O_{169} N P$  y el Índice de Captación de  $CO_2$  1,533 g  $CO_2$  /g macroalga, con efecto de biorremediación atmosférica de 2,2 % superior, al criterio expresado por Nikolaisen y col., (2011).

### **Conclusiones:**

La fórmula química aproximada de la *Ulva Lactuca* obtenida constituye una opción adecuada para utilizar en los cálculos requeridos en el diseño, selección de equipamiento y condiciones de operación para una instalación de cultivo intensivo de esta macroalga, así como, la evaluación técnico-económica y ambiental de este proceso.

**Palabras clave:** Composición química macroalga; Macroalga; *Ulva lactuca*.

### **ABSTRACT**

#### **Introduction:**

Carbon dioxide emissions from industry are one of the main causes of environmental pollution to be controlled. The algae intensive cultivation can be a viable technological alternative to mitigate gas emissions. For *Ulva lactuca* macroalgae there is no approximate chemical formula that facilitates the engineering calculations of facilities for its intensive cultivation, process simulation and intensification.

#### **Objective:**

To determine the approximate chemical formula of the *Ulva lactuca* macroalgae, from the chemical composition of this species obtained from the literature reports.

#### **Materials and Methods:**

Reports of the substances that comprise *Ulva lactuca* macroalgae chemical compositions are used. Adding the molecules of carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen and phosphorus that constitute the chemical components of the species, the approximate macroalgae elemental chemical formula is calculated.

#### **Results and Discussion:**

The approximate chemical formula of *Ulva lactuca* obtained is  $C_{182} H_{363} O_{169} N P$  and the  $CO_2$  Uptake Index is 1.533 g  $CO_2$  /g macroalgae, with an atmospheric bioremediation effect of 2.2% higher than the expressed criteria by Nikolaisen et al., (2011).

#### **Conclusions:**

The approximate chemical formula of the *Ulva lactuca* obtained constitutes an appropriate option to use in the required calculations in design, equipment selection and operating conditions for an intensive cultivation facility of this macroalgae, as well as in this process technical, economic and environmental evaluation.

**Keywords:** Macroalgae chemical composition; Macroalgae; *Ulva lactuca*.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las emisiones de dióxido de carbono procedentes de la industria química y energética constituyen una de las principales causas de contaminación ambiental a controlar. Las algas son capaces de asimilar altas concentraciones de dióxido de carbono y el cultivo

intensivo de estas especies puede ser una alternativa tecnológica viable para mitigar las emisiones de este gas en la atmósfera (Gao y Mckinley, 1994).

La composición química de las algas está directamente condicionada por la especie, la situación geográfica, las condiciones ambientales y especialmente la estación del año, donde el efecto de irradiación solar es decisivo (Barsanti y Gualtieri, 2006); (Gómez y col., 2010). En cuanto a la influencia de la especie, los polisacáridos mayoritarios varían según se trate de algas verdes, pardas o rojas (Holdts y Kraan, 2011). Las especies de algas verdes manifiestan altos niveles de monosacáridos, celulosa y hemicelulosa, lo que las hacen útiles como fuentes de energía (Frikha y col., 2011); (Nikolaisen y col., 2011).

En la literatura, no se precisa ninguna fórmula química para macroalgas; solo hay referencia de la fórmula química para microalgas ( $C_{106} H_{263} O_{110} N_{16} P$ ) reportada por Grobbelaar (2004); Chisti (2007); (Chandra y col., 2012); (Boffill y col., 2012). Los autores de este artículo, expusieron en ponencia resultados parciales alcanzados para obtener una fórmula química aproximada de la *Ulva lactuca* ( $C_{210} H_{420} O_{192} N P$ ) aunque con una información limitada (García y col., 2020). Con el fin de precisar mejor la fórmula referida es que se desarrolla este trabajo, a partir de la ampliación de la información bibliográfica disponible, para proyectar con más efectividad el estudio del cultivo intensivo de la misma, según las necesidades que requiere la Ingeniería de Procesos para la proyección de instalaciones destinadas a ese fin y la simulación del proceso para su intensificación. Por lo que el presente artículo tiene como objetivo determinar la fórmula química aproximada de la macroalga *Ulva lactuca*, a partir de la composición química de esta especie obtenida de los reportes de la literatura.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***2.1 Determinación de la fórmula química de la Ulva lactuca***

Para la obtención de la fórmula química de la *Ulva lactuca* se realiza una búsqueda bibliográfica para obtener la composición química promedio de las diferentes sustancias que integran esta especie. Teniendo en cuenta el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y fósforo que se expresan en los componentes químicos de la especie es posible obtener la fórmula química elemental aproximada de la macroalga. La naturaleza de las macroalgas se puede resumir básicamente en cinco componentes (carbohidratos, proteínas, lípidos, fibras y cenizas) que constituyen la composición de la materia en base seca (b.s.) de las mismas. Según los reportes ajustados al interés de la investigación, se calcula un promedio general para cada componente de la *Ulva lactuca*. La composición elemental de la *Ulva lactuca* se determina a partir de cada uno de los componentes que la integran. Para las proteínas, se utiliza la fórmula de todos los aminoácidos que se reportan. En el caso de los lípidos, carbohidratos y fibras se utiliza la fórmula de las sustancias que más se expresan en esta macroalga. El fósforo se refiere al % de su composición en la ceniza.

Como criterio más efectivo para valorar el resultado obtenido, se utilizó la capacidad de captación de dióxido de carbono que tiene la macroalga *Ulva lactuca*, a partir de la fórmula química obtenida y se compara con el resultado referido por (Nikolaisen y col., 2011), de que 1 g de biomasa algal consume 1,5 g  $CO_2$ .

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Determinación de fórmula química de la *Ulva lactuca*

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la composición química media reportada del alga *Ulva lactuca*, ajustados al interés de la investigación.

**Tabla 1.** Composición química media reportada del alga *Ulva lactuca* (g/100g b.s.)

Compuesto	Proteína	Lípidos %	Carbohidratos	Fibra	Ceniza
Promedio	12,42±7,44 1,2, 3,4,5,6,8	1,43±1,27 1,2,3,4,5,6	50,74±12,25 1,2,3,4,5,6	10,1±4,17 1,3,4,5,6	29,04±17,56 1,2,3,4,5,6

<sup>1</sup>Díaz (2010); <sup>2</sup>Ortiz (2012); <sup>3</sup>Pádua y col., (2004); <sup>4</sup>(Wong y Cheung, 2000), <sup>5</sup>(Carrillo y col., 2002), <sup>6</sup>(Castro y col., 1996), <sup>7</sup>(Cuenca y col., 2017), <sup>8</sup>(Nikolaisen y col., 2011).

Los valores son un promedio de los resultados individuales reportados por los investigadores referidos en cada caso al pie de la tabla. Se incluyen datos específicos para la especie *Ulva lactuca*, proveniente de las muestras procesadas de diferentes hábitats y áreas geográficas de cuatro continentes que singularizan las condiciones ambientales y estacionales que se derivan de esto, lo que justifica la apreciable variabilidad de los valores promedios de cada componente.

#### 3.2. Composición elemental de la proteína

La Tabla 2 reporta los resultados obtenidos de la composición promedio elemental de proteína (Pr), a través del contenido de aminoácidos (A) en la *Ulva lactuca*.

**Tabla 2.** Composición promedio elemental de proteína (Pr), a través del contenido de aminoácidos(A) en la *Ulva lactuca*

Fórmula	A	MM (g/mol)	mgA /100g Pr	g de A	moles de A	C	H	O	N
C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>4</sub>	Asp	133,1	6247	1,0701	0,008040	0,03216	0,05628	0,03216	0,00804
C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>4</sub>	Glu	147,13	5596	0,9586	0,006515	0,03258	0,05864	0,02606	0,00652
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>3</sub>	Ser	105,09	2880	0,4933	0,004694	0,01408	0,03286	0,01408	0,00469
C <sub>6</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>	His	155,16	1440	0,2466	0,001590	0,00954	0,01431	0,00318	0,00159
C <sub>5</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	Gly	75,07	4074	0,6978	0,00929	0,04648	0,06507	0,01859	0,00930
C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>3</sub>	Thr	119,12	2965	0,5079	0,004264	0,01706	0,03837	0,01279	0,00426
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> NO <sub>2</sub>	Arg	174,2	5188	0,8887	0,005102	0,03061	0,07142	0,01020	0,00510
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	Ala	89,09	3696	0,6331	0,007107	0,02132	0,04975	0,01421	0,00711
C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>	Pro	115,13	2614	0,4478	0,003889	0,01945	0,03500	0,00778	0,03889
C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>3</sub>	Tyr	181,21	2343	0,4014	0,002215	0,01993	0,02436	0,00664	0,00221
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub>	Val	117,15	3050	0,5225	0,004459	0,02230	0,04906	0,00892	0,00446
C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub> S	Met	149,2	1378	0,2361	0,001582	0,00791	0,01740	0,00316	0,00158
C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub> S	Cys	121,16	714	0,1223	0,001009	0,00303	0,00707	0,00202	0,00101
C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>	Ile	131,17	2396	0,4104	0,003129	0,01877	0,01877	0,00626	0,00313
C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>	Leu	131,17	4268	0,7311	0,005574	0,03344	0,07246	0,01115	0,00557
C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub>	Phe	165,19	2850	0,4882	0,002955	0,02660	0,03251	0,00591	0,00296
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Lys	146,19	3429	0,5874	0,004018	0,02411	0,05625	0,00804	0,00804
g A/100 g muestra b.s	17,3				Σ	0,37937	0,69959	0,19116	0,07945

En este caso se utiliza el promedio 17,3 (g proteína/100g muestra b.s.) obtenido de la composición de aminoácidos reportada por (Wong y Cheung, 2000) y Ortiz (2012) y que son las referencias encontradas para la *Ulva lactuca*, que expresan completamente la composición de aminoácidos de la misma. La composición promedio elemental se calcula considerando el promedio de estos reportes. Como se desprende de estos reportes referidos, el promedio derivado de los mismos está enmarcado en el entorno del valor promedio expresado en la Tabla 1. Los aminoácidos más abundantes encontrados en la *Ulva lactuca* son los ácidos Aspártico, Glutámico, Arginina y Leucina, coincidentes en ambos reportes de muestras de tan diferentes regiones como lo son Asia y América.

### 3.3. Composición elemental de los lípidos

Los lípidos se representan por los ácidos grasos que se encuentran en una proporción significativa en la *Ulva lactuca*, como se aprecia en la Tabla 3, donde se expone aproximadamente su contribución individual promedio a la fórmula química de esta macroalga.

**Tabla 3.** Composición promedio elemental de lípidos, a través del contenido de ácidos grasos en la *Ulva lactuca*

<i>Fórmula</i>	<i>Lípidos</i>	<i>MM g/mol</i>	<i>(%) peso</i>	<i>lípidos (g)</i>	<i>moles lípidos</i>	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>O</i>
C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	ácido palmítico	256,4	15,01	21,46	0,0837	1,3394	2,6789	0,1674
C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	ácido esteárico	284,5	9,53	13,63	0,0479	0,8623	1,7247	0,0958
C <sub>24</sub> H <sub>48</sub> O <sub>2</sub>	ácido lignocérico	368,6	10,12	1,47	0,0393	0,9422	1,8844	0,0785
C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	ácido oleico	282,5	29,4	42,04	0,1488	2,6791	5,0605	0,2977
g lípido/100 g muestra	1,43				Σ	5,8230	11,3485	0,6394

La presencia del ácido oleico y el ácido palmítico son los más abundantes en la *Ulva lactuca* y constituyen el 29% y 15% del peso del total respectivamente.

### 3.4. Composición elemental de los carbohidratos

Para el caso de los carbohidratos, se tuvo en cuenta la composición de la macroalga, reportada para la *Ulva ohnoi* (Tsubaki y col., 2014), por presentar características similares a la *Ulva lactuca*, de procedencia asiática y reporte muy preciso; se incluyen además, composiciones de monosacáridos referenciadas por (Nikolaisen y col., 2011). La composición promedio se muestra para cada monosacárido detectado en mayor proporción en la *Ulva lactuca*, y se refleja en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Composición promedio elemental de carbohidratos (CH), a través del contenido de monosacáridos en la *Ulva lactuca*

<i>Fórmula</i>	<i>CH</i>	<i>MM</i> (g/mol)	<i>CH</i> (%)	<i>CH</i> (g)	<i>CH</i> (moles)	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>O</i>
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	ramnosa	164,16	23,1	1172,0	7,139948	42,8396	85,6793	35,6997
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	galactos	180,08	2,1	106,55	0,591703	3,55022	7,10044	3,55022
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	glucosa	180,1	66,35	3366,5	18,69294	112,157	224,315	112,157
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	xilosa	150,13	8,35	423,67	2,822080	14,1104	28,2208	14,1104
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	manosa	180,15	0,1	5,074	0,028164	0,16898	0,33797	0,16898
g carbohidrato / 100g muestra	50,74	Σ				172,8267	345,6547	165,6878

La glucosa (66% y la ramnosa (23%) son los carbohidratos más abundante en la *Ulva lactuca* y rigen por tanto la composición de este componente en esta alga.

### 3.5. Composición elemental de las fibras

Para la fibra bruta se tuvo en cuenta el promedio de composiciones de celulosa (con n=12 moléculas de glucosa de la cadena) y de hemicelulosa, como los más representativos de la composición química de las fibras, según los reportes referenciados en la Tabla 5, que expresan la contribución de estos en la formulación química de la *Ulva lactuca*.

**Tabla 5.** Componentes de la fibra bruta (FB) en la fórmula química en la *Ulva lactuca*

<i>Fórmula</i>	<i>Componente</i>	<i>MM</i> g/mol	<i>FB</i> %	<i>FB</i> g	<i>FB</i> moles	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>O</i>
(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>12</sub>	Celulosa	1944	7,79	78,13	0,04019	1,44692	2,41153	1,20576
(C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> ) <sub>5</sub>	Hemicelulosa	900	8,67	86,96	0,09662	2,89867	5,79734	2,89867
g fibra/100g muestra bs.	10,1	Σ				4,34559	8,20887	4,10443

Como se observa en la tabla 5, la *Ulva lactuca* tiene un bajo contenido de fibra bruta, comportamiento que es general para las algas. La celulosa y la hemicelulosa son las sustancias de las fibras de interés por su mayor aporte en los elementos que interesan.

### 3.6. Composición elemental de fósforo

A partir de los contenidos de cenizas reportados, se obtiene el promedio del contenido de fósforo, (0,22 ± 0,18 g fósforo/100 g de ceniza), (Castro y col., 1996); (Carrillo y col., 2002); (Nikolaisen y col., 2011); Díaz (2010); Ortiz (2012) según se muestra en la Tabla 6:

**Tabla 6.** Contenido promedio de Fósforo en la *Ulva lactuca*

<i>Fórmula</i>	<i>Minerales</i>	<i>Masa</i> <i>atómica (u)</i>	<i>%</i>	<i>g</i>	<i>moles de P</i>
P	Fósforo	30,98	0,0022	0,063888	0,002062234
g cenizas / 100 g muestra b. s.	29,04				

Este elemento tiene una fluctuación porcentual ligera en el contenido de las cenizas. En general ocurre en todas las muestras reportadas, aun cuando el contenido de cenizas puede ser variable en dependencia de la procedencia de las muestras incluso en una misma región.

### 3.7. Fórmula química aproximada de la *Ulva lactuca*

Una vez realizado el procedimiento de sumatoria de cada uno de los elementos que aporta cada componente de la *Ulva lactuca*, se propone la fórmula química tipo  $C_{\Theta} H_{\alpha} O_{\beta} N_{\delta} P_{\epsilon}$ , la cual queda expresada como  $C_{182} H_{363} O_{169} N P$ , que referida a la masa de carbono toma la forma  $C H_{1.995} O_{0.9298} N_{0.000436} P_{0.0000132}$ . La masa molecular aproximada es de 5261,39 g/gmol.

De la composición química elemental de la macroalga *Ulva lactuca* hallada en el epígrafe anterior, se deriva la fracción peso del Carbono en la biomasa =  $2\ 200,49 / 5261,39 = 0,4182$ . Como un mol de  $CO_2$  tiene una masa de 44 g y 12 de ellos son de carbono, la macroalga *Ulva lactuca* puede fijar entonces 1,533 g  $CO_2$ /g macroalga.

Este índice se asemeja apreciablemente al reportado por (Nikolaisen y col., 2011), lo que corrobora positivamente el procedimiento seguido y los resultados alcanzados. El efecto de biorremediación atmosférica que se alcanza por la generación de la biomasa de *Ulva lactuca*, es superior en un 2,2% al reportado por (Nikolaisen y col., 2011), según se desprende de la valoración aproximada que refiere.

La fórmula química determinada para la macroalga *Ulva lactuca* es adecuada y aplicable como un criterio aproximado de la misma. La información procesada ha tenido en cuenta un valor aproximado promedio de la composición reportada para la *Ulva lactuca* en diferentes condiciones del ambiente marino costero de América (Cuba, México, Chile, Venezuela, Brasil), tanto en costas del Pacífico, Atlántico o del Caribe y en condiciones tropicales y subtropicales. Además se incluyen estudios reportados en mares costeros del continente europeo (Dinamarca), y asiático (Japón y China) y del mar Mediterráneo (Túnez). Las composiciones utilizadas corresponden a valores promedios de los diferentes componentes químicos reportados, que se referencian en cada caso. La fórmula química aproximada, expresada en los resultados alcanzados por (García y col., 2020) utilizando casi exclusivamente la información reportada por (Pádua y col., 2004) y (Tsubaki y col., 2014), difiere de los obtenidos apreciablemente, pero con un índice de captación de 1,54 g de  $CO_2$ /g de biomasa similar, a pesar de los escenarios más limitados, del que se derivan las muestras. Sin dudas, para evaluar con certeza la capacidad de biorremediación atmosférica de cada especie, debe encontrarse individualmente su fórmula química siguiendo este procedimiento general aplicado, donde el componente carbohidrato juega un papel primordial en la mayoría de las especies y géneros de algas y que dependerá del escenario ambiental en que se genere la biomasa algal específica. Sin embargo la fórmula propuesta y su índice de captación de  $CO_2$  correspondiente pueden aplicarse como una primera aproximación, como por ejemplo, en los cálculos requeridos de la ingeniería de procesos para el cultivo intensivo de macroalgas.

#### 4. CONCLUSIONES

1. La fórmula química aproximada de la macroalga *Ulva lactuca* puede ser expresada como  $C_{182} H_{363} O_{169} N P$ , la cual referida a la masa de carbono se representa por  $CH_{1.995}O_{0.9298}N_{0.000436}P_{0.0000132}$ . En la literatura no ha sido reportada hasta el momento ninguna versión de fórmula química de esta macroalga.
2. La fórmula determinada constituye además, una opción adecuada para utilizar en los cálculos requeridos en el diseño y selección de equipamiento y las condiciones de operación para una instalación de cultivo intensivo de esta macroalga, así como, la evaluación técnica, económica y ambiental de este proceso.

#### REFERENCIAS

- Barsanti, I. & Gualtieri, P., *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology.*, London, CRC Press, Taylor & Francis Group., alk. Paper, Library of Congress Card Number 2005014492, 2006. [https://is.muni.cz/el/1431/jaro2013/Bi9535/um/ALGAE\\_ANATOMY\\_BIOCHEMISTRY\\_BIOTECHNOLOGY.pdf](https://is.muni.cz/el/1431/jaro2013/Bi9535/um/ALGAE_ANATOMY_BIOCHEMISTRY_BIOTECHNOLOGY.pdf)
- 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, 2012, pp. 26-33. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852012000100004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852012000100004)
- Chisti, Y., Biodiesel from microalgae., *Biotechnology Advances*, Vol. 25, No. 3, 2007, pp. 294 -30. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>
- Chandra, R., Kalita, N., & Chandra, M., A study on growth and carbon dioxide mitigation by microalgae *Selenastrum sp.*: its growth behavior under different nutrient environments and lipid production., *Annals of Biological Research*, Vol. 3 No. 1, 2012, pp. 499-510. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=424556>
- Castro, M., Pérez-Gil, F., Pérez, E.S., & Carrillo, DS., Chemical composition of the green alga, *Ulva lactuca.*, *Ciencias Marinas*, Vol. 22, No. 2, 1996, pp. 205-213. <https://doi.org/10.7773/cm.v22i2.853>
- Carrillo, S., Casas, M., Ramos, F., Pérez-Gil, F., Sánchez, I., *Algas marinas de Baja California Sur, México: Valor nutricional.*, *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, Vol. 52, No. 4, 2002, pp. 400-406. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222002000400012](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222002000400012)
- Cuenca, M., Duque M., Solano, Y., Análisis químico de la concentración de lípidos en *Ulva lactuca.*, *Espirales*, Vol. 1, No. 8, Septiembre, 2017, pp. 101-106. <https://www.revistaespirales.com/index.php/es/article/view/334>
- Díaz, P.M., Obtención de gas combustible mediante la bioconversión del alga marina *Ulva lactuca.*, *Serie Oceanológica*, No. 7, 2010, pp. 52-60. <https://aquadocs.org/handle/1834/3665>
- Frikha, F., Kammoun, M., Hammami, N., Mchirgui, RA., Belbahri, L., Gargouri, Y., Miled, N., & Ben-Reba, F., Composición química y algunas actividades biológicas de algas marinas recolectadas en Túnez., *Ciencias Marinas*, Vol. 37, No. 2, 2011,

- pp. 113-124. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-38802011000200001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802011000200001)
- Gómez, E., Jiménez, A., & Rupérez, P., Dietary fibre and physicochemical properties of several edible seaweeds from the northwestern Spanish coast., *Food Research International*, Vol. 43, No. 9, 2010, pp. 2289-2294. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.08.005>
- Grobbelaar, J.U., *Algal nutrition.*, *Handbook of Microalgae Culture: Biotechnology and Applied Phycology*, Wiley Blackwell, 2004. <https://asu.pure.elsevier.com/en/publications/handbook-of-microalgal-culture-applied-phycology-and-biotechnolog>
- García, A., Carbonell, L., Roche, L., y O'Farrill, M.E., Determinación de la fórmula química aproximada de la macroalga *Ulva lactuca*. Aplicaciones., *Memorias 23 Conferencia de Química virtual*, 16-20 noviembre, Santiago de Cuba, Cuba, 2020. <http://www.uo-cienciascuba.com>
- Holdts, S., & Kraan, S., Bioactive compounds in seaweed; functional food applications and legislation., *Journal of Applied Phycology*, Vol. 23, No. 3, 2011, pp. 543-597. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>
- Gao, K., & McKinley, K.R., Use of macroalgae for marine biomass production and CO<sub>2</sub> remediation: a review. *Journal of Applied Phycology*, Vol. 6, No. 1, 1994, pp. 45-60. <https://doi.org/10.1007/BF02185904>
- 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, 2011. [https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/12709185/Ulva\\_lactuca.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/12709185/Ulva_lactuca.pdf)
- Ortiz, J., *Composición nutricional y funcional de las algas clorofíceas chilenas: Codium fragile y Ulva lactuca.*, Monografía, Laboratorio de Química y Análisis de Alimentos, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. Facultad de Ciencias Química y Farmacéuticas, Universidad de Chile, 2012. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/121457/Monografia%20I%20-%20Algas%20Verdes.pdf;sequence=1>
- Pádua, M.D., Fontoura, P.S.G., & Mathias, A.L., Chemical composition of *Ulvaria oxysperma* (Kützinger) bliding, *Ulva lactuca* (Linnaeus) and *Ulva fasciata* (Delile)., *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Vol. 47, No. 1, 2004, pp. 49-55. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132004000100007>
- Tsubaki, S., Oono, K., Hiraoka, M., Ueda, T., Onda, A., Yanagisawa, K., & Azuma, J-I., Hydrolysis of green-tide forming *Ulva spp.* by microwave irradiation with polyoxometalate clusters., *Green Chemistry*, Vol. 16, No. 4, 2014, pp. 2227-2233. <https://doi.org/10.1039/c3gc42027b>
- Wong, K.H., & Cheung, P.C.K., Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds: Part I - proximate composition, amino acid profiles and some physico-chemical properties., *Food Chemistry*, Vol. 71, No. 4, 2000, pp. 475-482. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00175-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00175-8)

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

## **CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES**

- Dr.C. Agustín Andrés García Rodríguez. Realizó el estudio bibliográfico, selección y procesamientos de los datos y escritura del artículo.
- Ing. Lilyana Carbonell Sorí. Contribuyó en el estudio bibliográfico, la selección y el procesamiento de los datos y con la escritura del artículo.
- M.Sc. Liset Roche Delgado. Contribuyó en el estudio bibliográfico y colaboró con el análisis de los resultados.
- Dra.C. María Eugenia O’Farril Pie. Contribuyó en el estudio bibliográfico y colaboró con el análisis de los resultados.