



Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología  
BT4451 - Energía Renovable a partir de Biomasa

# *Disponibilidad de Biomasa*

## *En Chile:*

### *Macroalgas y Microalgas*

---

Integrantes: Gonzalo Briones  
Ricardo Rabie  
Eduardo Rossel  
Francisco Torres

Profesor Auxiliar:  
Felipe Díaz  
Sebastián Juri

Fecha de Entrega:  
01 de Septiembre 2010

## Descripción de macroalgas y microalgas como biomasa.

El presente informe busca describir tanto macroalgas como microalgas de manera de caracterizarlas, para finalmente realizar una estimación de su potencial como materia prima para los biocombustibles. Esto debido principalmente a que durante los últimos años se ha considerado a las algas como una importante alternativa a la hora de producir biocombustibles de segunda generación, principalmente por las ventajas que presentan por sobre otras materias primas de los biocombustibles, tales como:

- **Presentar un nivel de productividad mucho mayor al de otras materias primas**, dado que estimaciones plantean que la productividad de biocombustibles a partir de algas es de entre 20 y 80 veces superior que a los producidos a partir del maíz, la soja o la caña de azúcar.
- **Balance de CO<sub>2</sub> nulo**: Las algas al realizar el proceso de fotosíntesis fijan el dióxido de carbono de la atmósfera, el que luego es devuelto al momento de la combustión, dejando un balance final nulo.
- **No afectar en absoluto el mercado de alimentos**: Durante el último tiempo gran parte de los cereales está siendo destinado en la producción de bioetanol y biodiesel, por lo que se produce su escasez y la subida de su precio. Al utilizar las algas para este proceso, se disminuye la utilización de cereales.
- **Para el cultivo de microalgas no se destruyen bosques ni selvas**: Cuando se fabrican biocombustibles en gran masa a partir de cultivos tradicionales, se producen grandes destrucciones en selvas y bosques con el fin de aumentar la superficie cultivable, lo cual puede afectar negativamente al ecosistema. [1]

### Macroalgas.

Las macroalgas son grandes plantas fotosintéticas se encuentran principalmente en el mar, las cuales pueden clasificarse en rojas, verdes y pardas. Últimamente se han hecho estudios que revelan que son potenciales productores de biocombustibles, ya que fijan el CO<sub>2</sub> con mayor eficiencia que las plantas terrestres (6-8% versus 1.8-2.2%), y además no compiten con ellas por el terreno, lo que les da una ventaja comparativa [1].

De estos organismos se pueden tener productos energéticos, tales como metano, etanol biodiesel, y no energéticos como comida, fertilizante, cosméticos, etc.

Las macroalgas son especies de algas que contienen una alta cantidad de polisacáridos (aproximadamente 60% del peso), que son la plataforma para la producción de varios químicos vía fermentación. De esta forma, la producción de etanol es la técnica más efectiva para el aprovechamiento de la fracción de carbohidratos presentes en las algas [2]. Una característica muy importante de las macroalgas es que no liberan compuestos nitrogenados o sulfurados al ambiente, lo que le da otra ventaja con respecto a otras formas de producción de energía como si lo hace el petróleo y sus derivados.

Otra de las ventajas de trabajar con macroalgas en Chile es que este país cuenta con un vasto territorio costero para el cultivo de este tipo de algas, lo que ayuda de gran manera en el

avance de estudios relacionados con esto. Su fácil cultivación y cosecha genera bajos costos, que también son puntos importantes que pueden considerar. Por otro lado, no necesitan agua fresca para su crecimiento, que es un tema muy importante en estos tiempos en que el elemento vital comienza a escasear. Además, no posee el problema de la discusión de combustibles de primera o segunda generación, ya que no compite por comida o combustible, y el hecho de cultivar macroalgas, no aumenta el precio de los alimentos [3].

### Microalgas.

Las microalgas son microorganismos, que corresponden a los primeros que obtuvieron la capacidad de realizar fotosíntesis. Estos organismos son clave en el equilibrio planetario, ya que la dinámica del dióxido de carbono en la Tierra está, en gran medida, determinada por ellos. Básicamente este tipo de microorganismos se caracteriza por poder crecer en aguas con distintas salinidades, pueden soportar y utilizar luz bajo distintas intensidades, tienen amplio rango de pH y pueden resistir amplios rangos de temperatura. [4] La clasificación de estos microorganismos está dada por su color, pudiendo estos ser clasificados en: Cianofíceas (verde azuladas), Clorofíceas (verdes), Criptofíceas (generalmente marrón), Crisofíceas (dorado), Diatomeas (marrones o amarillos), Dinofíceas (pardo o amarillo), Euglenofíceas (generalmente verdosas) y Xantofíceas (verde amarillentas). [5]

Su rango de aplicación abarca desde la producción de biocombustibles a la producción de farmacéuticos, pasando por la biorremediación y la mitigación de CO<sub>2</sub>. Actualmente, se utiliza a las microalgas para la producción de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, no solo por su aplicación en la elaboración de fitodietas en la acuicultura, sino más bien, para su consumo directo en la nutrición humana. En el contexto de los biocombustibles, las microalgas han sido ampliamente utilizadas durante los últimos años debido a los altos niveles de aceites que producen, por lo que pueden ser empleadas para la producción de biodiesel mediante procesos de transesterificación. La siguiente tabla presenta los niveles de aceites y lípidos presentes en algunas especies de microalgas.

Tabla 1. Rendimiento de producción de lípidos según especie de microalgas.[6]

Especie	Tipo de Cultivo	Crecimiento celular [g peso seco/m <sup>2</sup> - día]	Rendimiento Lípidos (%)
<i>P. tricornutum</i>	Continuo	22	26,0
<i>D. primolecta</i>		12	32,1
<i>M. salina</i>		13,9	20,7
<i>T. suecica</i>	Batch	19,1	23,1
<i>Isochrysis sp.</i>	Batch	11,5	28,5

## Cuantificación de macroalgas y microalgas disponibles en Chile.

### Cuantificación de macroalgas como fuente energética.

En el presente tópico se buscará aproximar el contenido de azúcar que presentan las macroalgas, ya que esta es la base fundamental para la producción de energía. En este contexto, a continuación se muestra la siguiente tabla con la cantidad de materia prima (M) y producción (P) de macroalgas seca en toneladas por mes y especie.

Tabla 2. Materia prima y producción año 2008 por especie y mes de alga seca. [7]

ESPECIE		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
CHASCA	M	48	59	14	26	21	-	4	4	7	5	61	43	292
CHASCA	P	14	18	4	8	6	-	1	1	2	1	18	12	85
CHASCON O HUIRO NEGRO	M	16 274	13 910	16 897	17 397	13 729	14 472	13 750	14 195	17 724	17 825	18 184	25 929	200 286
CHASCON O HUIRO NEGRO	P	3 176	2 749	3 413	3 453	2 668	2 862	2 804	2 891	3 626	3 535	3 770	5 238	40 185
CHICOREA DE MAR	M	156	68	70	12	5	4	6	3	38	138	242	289	1 031
CHICOREA DE MAR	P	17	13	9	3	1	1	1	-	4	19	35	54	157
COCHAYUYO	M	656	791	599	537	425	99	-	115	158	294	535	637	4 846
COCHAYUYO	P	179	206	164	139	120	29	-	35	48	85	142	161	1 308
HAEMATOCOCCUS	M	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
HAEMATOCOCCUS	P	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
HUIRO	M	2 311	2 332	1 971	2 431	2 028	555	834	684	1 147	752	932	978	16 955
HUIRO	P	438	451	388	442	354	106	152	149	240	157	189	222	3 288
HUIRO PALO	M	2 342	2 247	2 966	3 816	2 021	2 124	2 684	2 019	3 443	2 458	3 816	3 813	33 749
HUIRO PALO	P	460	452	596	679	374	426	499	409	685	483	726	716	6 505
LECHUGUILLA	M	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
LECHUGUILLA	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
LUGA CUCHARA O CORTA	M	695	696	439	369	171	9	2	-	14	125	333	968	3 821
LUGA CUCHARA O CORTA	P	122	121	77	65	36	1	-	-	3	22	52	171	670
LUGA NEGRA O CRESPA	M	639	496	407	806	155	64	-	-	-	13	281	1 373	4 234
LUGA NEGRA O CRESPA	P	119	94	75	139	29	11	-	-	-	2	54	261	784
LUGA-ROJA	M	7 801	8 181	7 640	3 951	1 567	506	220	-	697	2 032	1 463	4 493	38 541
LUGA-ROJA	P	1 266	1 308	1 220	591	247	75	36	-	131	360	258	720	6 212
PELILLO	M	892	848	1 005	1 239	532	265	44	24	2	130	218	292	5 491
PELILLO	P	135	105	159	175	69	43	5	3	-	17	28	38	777
SPIRULINA	M	1 000	1 250	700	650	600	500	400	200	200	200	200	100	6 000
SPIRULINA	P	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	6
TOTAL ALGAS	M	32 815	30 878	32 708	31 234	21 254	18 598	17 948	17 244	23 430	23 972	26 265	38 905	315 251
TOTAL ALGAS	P	5 927	5 518	6 106	5 695	3 905	3 555	3 499	3 488	4 739	4 681	5 272	7 593	59 978
TOTAL PECES	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL PECES	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL MOLUSCOS	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL MOLUSCOS	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL CRUSTACEOS	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL CRUSTACEOS	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL OTRAS ESPECIES	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL OTRAS ESPECIES	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL GENERAL	M	32 815	30 878	32 708	31 234	21 254	18 598	17 948	17 244	23 430	23 972	26 265	38 905	315 251
TOTAL GENERAL	P	5 927	5 518	6 106	5 695	3 905	3 555	3 499	3 488	4 739	4 681	5 272	7 593	59 978

Como se puede apreciar, la cantidad de macroalgas asciende aproximadamente a 375.000 toneladas anuales. Considerando que en promedio las macroalgas contienen elevados niveles de azúcar (cerca del 50% del total), podrían obtenerse teóricamente alrededor de 187.500 toneladas de azúcar anuales. La producción es muy elevada debido al gran crecimiento que tienen (1200-1500 g/m<sup>2</sup>/año), lo que junto con su fácil cultivación y cosecha genera bajos costos que podrían ascender aproximadamente a 0,085 US\$ el kilogramo de azúcar. [8]

### Cuantificación de microalgas como fuente energética.

En base a como fueron descritas las microalgas es que se puede determinar el potencial energético que estas poseen. La principal característica de las microalgas, que es posible explotar como fuente energética, es su alto contenido lipídico. El gran porcentaje de aceites que producen puede ser utilizado mediante el proceso de transesterificación para generar biodiesel, el cual puede ser directamente utilizado en los motores de los automóviles, presentando la ventaja adicional de que no necesitan un suelo fértil para crecer como en el caso de vegetales. Otras posibilidades para el uso de las microalgas como fuente energética, incluyen su uso para la producción de jet fuel y la producción de biometano, aunque estas opciones no serán revisadas en este informe.

En particular, mediante el proceso de transesterificación, los ácidos grasos presentes en los aceites de las algas (u otra matriz) son transformados en éster metílicos o diesel, a través de un proceso continuo de 3 etapas. En general este tipo de procesos tiene un rendimiento industrial de alrededor de 85 - 95 % [Ton Lípidos/Ton Aceite]. [9]

Dado el tamaño que poseen las microalgas, la única manera de obtener rendimientos aceptables industrialmente es mediante su cultivo en lagunas y en fotobiorreactores. De esta manera es posible cultivarlas y obtener rendimientos como los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Producción mensual de Biodiesel a partir de microalgas de diferentes especies en base a rendimientos teóricos (100%) y reales (85%). [9]

Especie	Biomasa [ton]*	Lípidos en Biomasa [ton]	Cap. Prod. Biodiesel [ton] (Ideal)	Cap. Prod. Biodiesel [ton] (Real)
<i>P. tricornutum</i>	198	51,5	51,5	43,8
<i>D. primolecta</i>	108	34,7	34,7	29,5
<i>M. salina</i>	125,1	25,9	25,9	22,0
<i>T. suecica</i>	171,9	39,7	39,7	33,8
<i>Isochrysis sp.</i>	103,5	29,5	29,5	25,1

\*Biomasa producida según rendimientos teóricos para una producción mensual en un área de 300 m<sup>2</sup>

La tabla N °3 muestra la producción de biodiesel para un área de 300 m<sup>2</sup>. Los valores para la producción mensual de biomasa y lípidos según especie de microalga fueron calculados según los rendimientos teóricos encontrados que muestran la tabla 1. (Osorio, 2009). Los montos para la producción de biodiesel de la planta fueron calculados considerando un rendimiento del 100% [ton Biodiesel/ton Lípidos] y un 85% [ton Biodiesel/ton Lípidos] para los casos ideal y real respectivamente.

## Conclusión.

En base al trabajo desarrollado es posible concluir que tanto las macroalgas como las microalgas presentan un gran potencial en Chile a la hora de ser consideradas como una fuente primaria para los biocombustibles de segunda generación. Las razones de esto están principalmente relacionadas al hecho de que las algas presentan rendimientos mayores a los de la biomasa tradicional, lo que se suma al hecho de que no compiten con fuentes alimenticias de consumo humano y que también su producción se ve favorecida en Chile dada su particular geografía y climas.

Según lo establecido a lo largo de este informe Chile posee el potencial para capturar alrededor de 375.000 toneladas anuales de macroalgas, lo que se traduce en una obtención teórica de 187.500 toneladas de azúcares que pueden llegar a fermentarse para producir bioetanol.

Por otro lado, dados los altos niveles de radiación solar que presentan el norte de Chile, las regiones del norte de nuestro país tienen un gran potencial para ser utilizadas como lugares para la construcción de lagunas y biofotorreactores. En particular en este informe se planteó la consideración de un área de 300 m<sup>2</sup> que tendría la capacidad de producir, en el mejor de los casos, una biomasa total de 198 toneladas de *P. tricornutum*, que podría eventualmente generar un total de 43.8 toneladas de biodiesel obtenido mediante la trans-esterificación de los aceites presentes en las microalgas.

## Bibliografía.

[1] Michele Aresta, Angela Dibenedetto, Grazia Barberio. Utilization of macro-algae for enhanced CO<sub>2</sub> fixation and biofuels production: Development of computing software for an LCA study. [En línea] <<http://moritz.botany.ut.ee/~olli/b/Aresta05.pdf>> [Consulta: 29 agosto 2010].

[2] Oceanógrafos Sin Fronteras. Combustible algas, El Uso de las algas para la producción de biocombustibles. [En línea]  
<[http://www.oceanografossinfronteras.org/index.php?option=com\\_content&task=category&sectionid=96&id=261&Itemid=467](http://www.oceanografossinfronteras.org/index.php?option=com_content&task=category&sectionid=96&id=261&Itemid=467)> [Consulta: 29 agosto 2010].

[3] OILGAE. Reporte de OILGAE, Fuels from Macroalgae. [En línea]  
<<http://www.scribd.com/doc/30333304/Oilgae-Guide-to-Fuels-From-Macro-Algae#page24>>  
[Consulta: 29 agosto 2010].

[4] Aplicaciones de las microalgas. [En línea]. <<http://mgar.net/mar/algas2.htm>> [Consulta: 29 agosto 2010]

[5] Los biocombustibles a partir de microalgas.  
[En línea] <<http://www.sitiosolar.com/biocombustibles%20de%20microalgas.htm#>>  
[Consulta: 29 agosto 2010]

[6] Osorio, P. “Estudio técnico económico para la producción de biodiesel a partir de algas”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil en Biotecnología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 2009.

[7] Tabla 134. Chile alga seca por especie y región 2008. [En línea].  
<[http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com\\_remository&Itemid=54&func=select&id=384&orderby=2&page=4](http://www.sernapesca.cl/index.php?option=com_remository&Itemid=54&func=select&id=384&orderby=2&page=4)> [Consulta: 29 Agosto 2010]

[8] Alejandro García. “Disponibilidad de biomasa forestal y agrícola en Chile”. Presentación en curso Energías Renovables a partir de Biomasa, Universidad de Chile.

[9] [Pedrero, I. “Viabilidad técnica y económica de la implementación de una planta de producción de biodiesel”. Memoria para optar al título profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago. 2008.