

**Título:** PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE MICROALGAS RICA EN CARBOHIDRATOS ACOPLADA A LA ELIMINACIÓN FOTOSINTÉTICA DE CO<sub>2</sub>.

**Nombre:** GARCÍA CUBERO, RAFAEL

**Universidad:** Universidad de Sevilla

**Departamento:** Bioquímica vegetal y biología molecular

**Fecha de lectura:** 04/04/2014

**Programa de doctorado:** Biología Molecular y Biomedicina

**Dirección:**

> **Director:** MERCEDES GARCÍA GONZÁLEZ

**Tribunal:**

> **presidente:** FRANCISCO JAVIER FLORENCIO BELLIDO

> **secretario:** FRANCISCO GABRIEL ACIÉN FERNÁNDEZ

> **vocal:** AGUSTÍN GONZÁLEZ FONTES DE ALBORNOZ

> **vocal:** M<sup>a</sup> ESPERANZA DEL RIO SANCHEZ

> **vocal:** Ildfonso Bonilla Mangas

**Descriptores:**

> BIOLOGIA MOLECULAR

**El fichero de tesis** ya ha sido incorporado al sistema

**Localización:** SERVICIO DE DOCTORADO, UNIVERSIDAD DE SEVILLA

**Resumen:** La reducción de los niveles atmosféricos de dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, es un objetivo prioritario de alcance global. El nivel de atmosférico de CO<sub>2</sub> ha estado históricamente comprendido entre 180 y 260 ppm. Sin embargo, a lo largo de los cien últimos años su concentración ha aumentado hasta alcanzar las actuales 380-400 ppm, subida en la que parece existir un fuerte componente antropogénico. Las principales fuentes antropogénicas de emisión de CO<sub>2</sub> son las centrales termo-eléctricas y el transporte. El actual ritmo de emisiones de CO<sub>2</sub> junto a otros gases de efecto invernadero (GEI) como CH<sub>4</sub>, CFCs, SF<sub>6</sub> puede afectar gravemente a los ciclos biogeoquímicos del planeta, causando estragos en la biosfera y el ser humano. Algunos autores denominan a esta nueva época geológica altamente influenciada por la actividad humana como el antropoceno. El panel intergubernamental para el cambio climático (IPCC) pronostica escenarios diversos en los que las actividades humanas se verán muy afectadas debido a los cambios producidos en los ecosistemas y el clima. Para poder alcanzar una sostenibilidad económica y medioambiental es necesario tanto aumentar el uso de energías renovables como desarrollar eficaces tecnologías para el secuestro de CO<sub>2</sub>. A tal fin se hace necesario desarrollar procesos que permitan eliminar el CO<sub>2</sub> de los gases generados industrialmente. Aunque se han propuesto y ensayado algunas opciones, como el uso de tecnologías que minimizan las emisiones de dióxido de carbono o el secuestro abiótico del mismo, ninguna puede considerarse como definitiva. Una aproximación científico-técnica a este problema consiste en la utilización de microorganismos fotosintéticos

(cianobacterias y microalgas) para retirar CO<sub>2</sub>. Estos microorganismos se caracterizan por ser los más eficientes fijadores de CO<sub>2</sub> del planeta, poseer mayor tasa de crecimiento que el resto de vegetales, soportar mejor las condiciones climáticas adversas y ser metabólicamente muy flexibles. Gracias a esta última cualidad, las microalgas y cianobacterias pueden ser fuente de compuestos de interés comercial, como ácidos grasos y aminoácidos esenciales, pigmentos, vitaminas, polisacáridos, moléculas bioactivas, hidrógeno e hidrocarburos. Así mismo, diversos estudios indican su capacidad para crecer a altas concentraciones de CO<sub>2</sub> y de tolerar SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y COV (compuestos orgánicos volátiles) presentes en los gases de combustión. Además, el cultivo de microalgas presenta otras ventajas ya que no compite con la agricultura por terreno, agua y otros recursos. Sin embargo, la puesta en marcha de estas tecnologías requiere una completa caracterización de los procesos y sistemas para la biomitigación de CO<sub>2</sub> mediante cultivos de microalgas.

La finalidad de este estudio fue evaluar la viabilidad de sistemas de cianobacterias y/o microalgas para la producción de materia orgánica rica en carbohidratos, acoplada a la eliminación del CO<sub>2</sub> presente en mezclas gaseosas procedentes de emisiones industriales. Para ello, se seleccionó las cianobacterias y/o microalgas más idóneas, así como se profundizó en el manejo de su cultivo y en el conocimiento de factores determinantes que maximizaron la producción de biomasa y compuestos orgánicos de interés energético.

La primera aproximación fue una preselección de especies de microalgas y cianobacterias con una elevada tasa de crecimiento y fijación de dióxido de carbono, basándose en una extensa revisión bibliográfica.

Concretamente se preseleccionaron once especies, seis cianobacterias (pertenecientes a los géneros *Nostoc*, *Anabaena*, *Spirulina*) y cinco microalgas (*Gn. Chlorella*, *Scenedesmus*, *Porphyridium*). Seleccionados estos microorganismos, se llevaron a cabo estudios para evaluar su comportamiento en régimen estanco y continuo. De las estirpes ensayadas, se seleccionaron dos estirpes, las más prometedoras para abarcar el objetivo propuesto, concretamente dos microalgas, *Scenedesmus vacuolatus* y *Chlorella vulgaris* cuyas características las hacían más adecuadas para destinarlas a la generación de biomasa rica en carbohidratos con CO<sub>2</sub> como fuente de carbono. Debido a la capacidad de *S.vacuolatus* para flocular y sedimentar de manera natural, se centró inicialmente el estudio en ella.

El régimen de operación en continuo es el más idóneo para conseguir la mayor eficiencia en los cultivos de microalgas. De manera secuencial, se evaluó el efecto que tienen las diferentes variables de cultivo sobre las microalgas seleccionadas. Se estudió el efecto de pH, temperatura, velocidad de dilución, irradiancia media incidente, y posteriormente, en el caso de *C.vulgaris*, la disponibilidad de nitrato medida como SEN.

Para *Scenedesmus vacuolatus*, en condiciones óptimas, esto es, 0,6d<sup>-1</sup>, 20mM NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 3000 μE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 30°C, pH 7,5, se alcanzaron valores de 0,6 g l<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> para la productividad de biomasa y de 1,2 g l<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> para la tasa de fijación de CO<sub>2</sub>. A pesar que fue factible el cultivo en régimen continuo de *S.vacuolatus* usando como fuente de carbono el CO<sub>2</sub> contenido en mezclas de gases de emisiones de origen industrial, fue conveniente diluir esta mezcla gaseosa para garantizar la viabilidad de los cultivos. A pesar de las excelentes bondades que mostró *S.vacuolatus* en cultivos al interior, los cultivos al exterior fueron sensibles a contaminación por diversos microorganismos, lo que puede comprometer la utilización de esta microalga en procesos que requieran que se cultive en sistemas abiertos.

Se pasó a caracterizar la otra microalga que presentaba un gran potencial. El principal factor condicionante para el crecimiento de *Chlorella vulgaris*, como la fijación de CO<sub>2</sub> por sus cultivos fue la irradiancia promedio, seguido en importancia por temperatura, disponibilidad de nitrógeno y pH. Operando en las condiciones fijadas como óptimas, (0,5d<sup>-1</sup>, 20mM NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 3000 μE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, 20°C, pH 7,5) la productividad resultante fue de 0,7 g biomasa l<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, siendo la tasa de fijación de CO<sub>2</sub> de 1,3 g l<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Al igual que en el caso de *S.vacuolatus*, los cultivos de *Chlorella vulgaris* fueron viables usando como fuente de carbono el CO<sub>2</sub> contenido en emisiones

industriales siempre que éstas fueran diluidas en la inyección en el cultivo. Para ambas estirpes se desarrollaron de modelos matemáticos de comportamiento respecto a distintas variables permitiendo así, predecir la productividad de biomasa y tasa de fijación de CO<sub>2</sub> de los cultivos en función de dichas variables. El modelo propuesto, tanto para *Scenedesmus vacuolatus* como para *Chlorella vulgaris*, asignó los mayores valores de productividad para el valor más elevado de irradiancia incidente máxima (3000  $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y para una velocidad de dilución de 0,5 d<sup>-1</sup>. Los valores predichos fueron análogos a los registrados experimentalmente.

En el caso de *Chlorella vulgaris*, se estudiaron las variables que condicionan la acumulación de almidón en sus cultivos continuos: velocidad de dilución y suministro específico de nitrato (SEN). Se desarrolló así mismo, un modelo matemático que permitió predecir las condiciones óptimas para la acumulación de este valioso producto del metabolismo fotosintético.

En los cultivos al exterior y bajo las condiciones climáticas predominantes en Sevilla, *Chlorella vulgaris* se pudo cultivar a lo largo de todo el año, tanto en estanques abiertos sin control de temperatura como en reactores planos verticales atemperados, sin problemas de contaminación. Es en este último tipo de reactor donde *C.vulgaris* ofreció mayor rendimiento. Se estimó que la tasa promedio anual de fijación de carbono puede llegar a ser de 8 g de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> en estanque abierto, siendo 2,5 veces mayor en el reactor plano vertical, por lo que este último sistema es idóneo para su empleo en procesos de captación del CO<sub>2</sub> presente en emisiones industriales. De esta manera, se estima que los cultivos de *Chlorella vulgaris* en reactor plano vertical podrían asimilar hasta 3,3kg de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>.

De este estudio, se puede concluir que *Scenedesmus vacuolatus* y *Chlorella vulgaris* pueden ser excelentes sistemas para la generación de biomasa acoplada a la eliminación fotosintética de dióxido de carbono. Si bien, el desarrollo de una tecnología basada en la primera especie implicaría la utilización de reactores cerrados que previniesen la aparición de contaminantes que pusieran en riesgo la viabilidad de los sistemas. En cambio, *Chlorella vulgaris* presenta unas características que la hacen especialmente atractiva debido a su flexibilidad en las condiciones de cultivo, su

robustez en cultivos a la intemperie y la posibilidad de producir compuestos de interés industrial como puede ser el almidón, valorizando así el CO<sub>2</sub> en un producto de alto valor.