

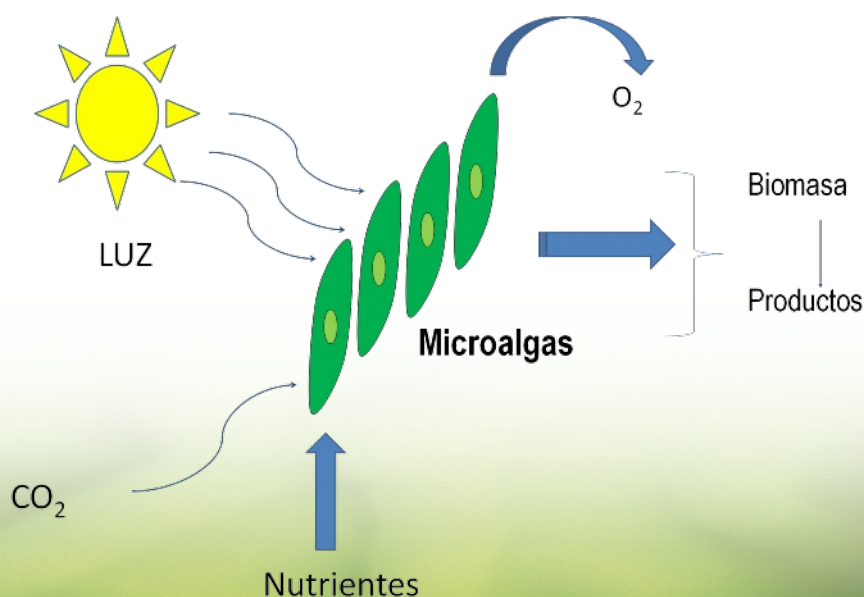
¿QUÉ SON LAS MICROALGAS? INTERÉS Y USO

1. INTRODUCCIÓN

Hace más de 10 años que la Estación Experimental Cajamar Las Palmerillas empezó afrontar el reto en la investigación y producción de microalgas junto al departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Almería, debido fundamentalmente al interés que despertaba el uso de las microalgas en aplicaciones de alto valor (nutracéutica, alimentación animal y humana, etc.) y respondiendo al interés mostrado por diversas compañías de gran importancia en el ámbito nacional. Desde entonces el trabajo se ha venido centrando en el desarrollo de sistemas de producción tanto para productos de alto valor añadido como para producciones de bajo coste, que nos permitan incrementar las productividades actuales, y en la resolución de los problemas derivados del uso de subproductos tales como los gases de combustión industriales y las aguas residuales, los cuales constituyen una fuente barata de CO_2 y nutrientes respectivamente.

Las microalgas son organismos unicelulares eucariotas fotosintéticos (2-200 μm), que pueden crecer de modo autotrófico o heterotrófico. En general son altamente eficientes en la fijación del CO_2 y utilización de la energía solar para producir biomasa, con una eficiencia hasta cuatro veces superior a la de las

Esquema 1: Mecanismo de producción de microalgas



Fichas de Transferencia

plantas. La importancia de las microalgas radica en su papel como productoras primarias de la cadena trófica, que las convierte en las primeras productoras de materia orgánica.

Son la base de las redes tróficas y su gran número de especies y su versatilidad permiten utilizarlas en diferentes campos industriales con grandes posibilidades de éxito. Están presentes en todos los ambientes con agua, como lagos, mares y ríos, aunque también las podemos encontrar en el suelo y en la mayoría de los ambientes terrestres, incluso los más extremos, lo cual permite hallarlas ampliamente distribuidas en la biósfera adaptadas a una gran cantidad de condiciones.

El cultivo de macro y microalgas lleva funcionando más de 70 años. Desde entonces existe una incipiente industria basada en la biotecnología de algas, la cual produce 20.000 t año⁻¹, que se ha ido desarrollando gracias a las industrias alimentaria, acuícola, farmacológica, cosmética y, últimamente, energética.

Existen más de 30.000 especies de microalgas, de las cuales unas 100 han sido estudiadas y solo unas 10 se explotan comercialmente.

Las microalgas son, en general, organismos fotoautótrofos, es decir, obtienen la energía de la luz proveniente del sol y se desarrollan a partir de materia inorgánica. Sin embargo, algunas especies son capaces de crecer empleando materia orgánica como fuente de energía o de carbono. Según esto, la producción de microalgas se divide en:

- **Fotoautótrofa:** las algas obtienen la energía del sol y el carbono de compuestos inorgánicos.
- **Fotoheterótrofa:** obtienen la energía del sol y emplean compuestos orgánicos como fuente de carbono.
- **Mixotrófica:** muchas algas son capaces de crecer bajo procesos tanto autótrofos como heterótrofos, de manera que la fuente de energía es tanto la luz como la materia orgánica. El carbono lo obtienen de compuestos orgánicos y del CO₂. Algunas de estas algas son *Spirulina platensis* o *Chlamydomonas reinhardtii*.
- **Heterótrofa:** los compuestos orgánicos proporcionan tanto la energía como la fuente de carbono. Es decir, existen en efecto algas que pueden desarrollarse bajo ausencia de luz, como por ejemplo *Chlorella protothecoides*.

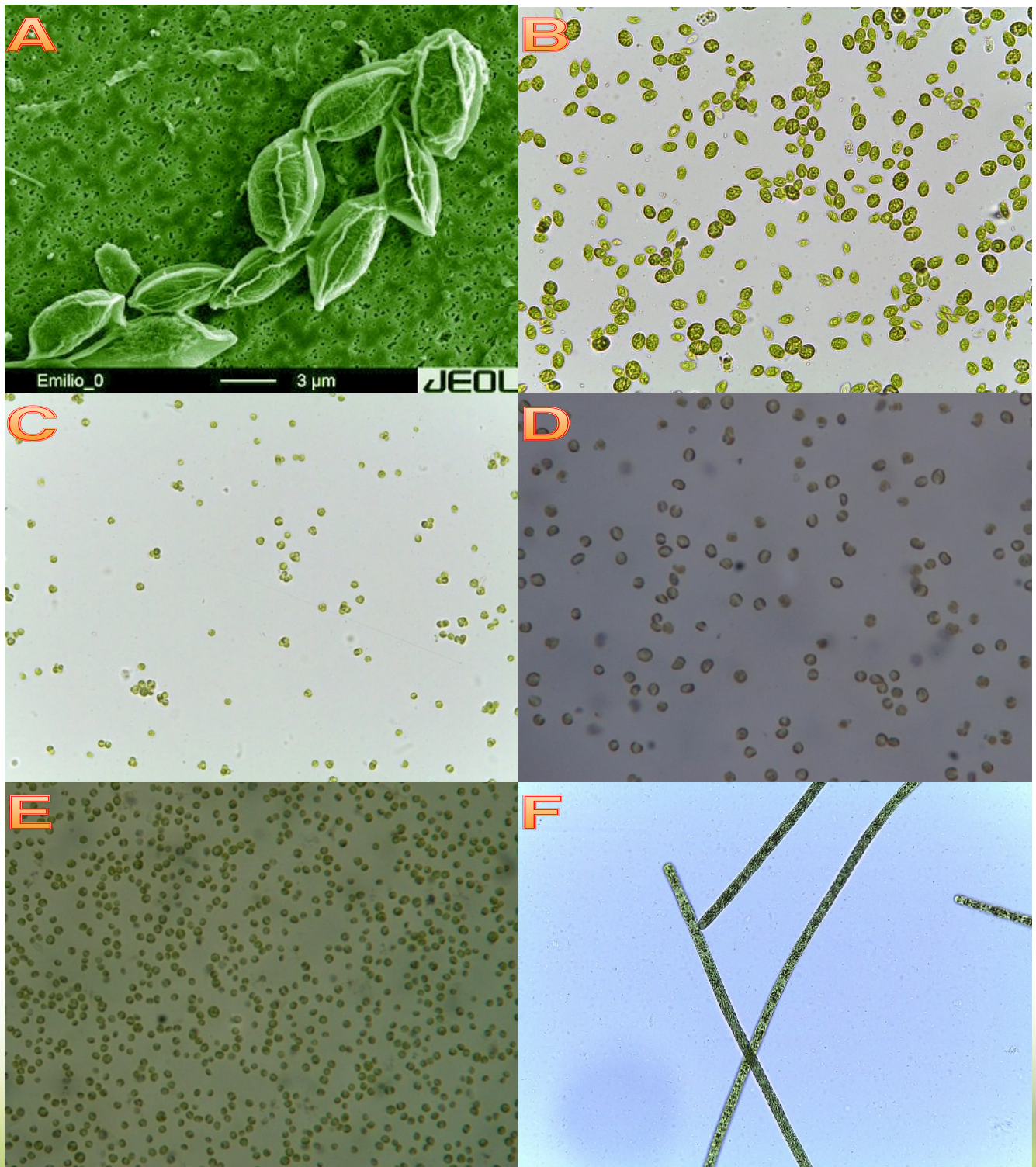
Las microalgas se clasifican según Graham y Wilcox (2000), en procariotas y eucariotas: Dentro de las procariotas tenemos Cianofíceas y Proclorófitas. En el grupo de las eucariotas nos encontramos: Clorofíceas, Crisofíceas, Haptofíceas, Bacilarofíceas, Pirofíceas, Criptofíceas y Euglenofíceas.

La composición de las microalgas (contenido en lípidos, carbohidratos y proteínas) es variable según la especie considerada y, dentro de una misma especie, según el sistema y condiciones de cultivo. En general, las cianobacterias tienen un contenido en lípidos de hasta 20 %, mientras que las algas Proclorófitas oscila entre un 20 y 50 % en peso seco.

En la Imagen 1 se muestran diferentes imágenes de microalgas al microscopio, con distinto tipo de color, forma, etc.

Fichas de Transferencia

Imagen 1: Vistas al microscopio de distintas microalgas producidas en la Estación Experimental Cajamar Las Palmerillas: A y B. *Scenedesmus almeriensis* (medio dulce); C, *Chlorella vulgaris* (medio dulce); D, *Isochrysis galbana* (medio salino); E, *Nannochloropsis gaditana* (medio salino); F, *Spirulina* (medio dulce)



Fichas de Transferencia

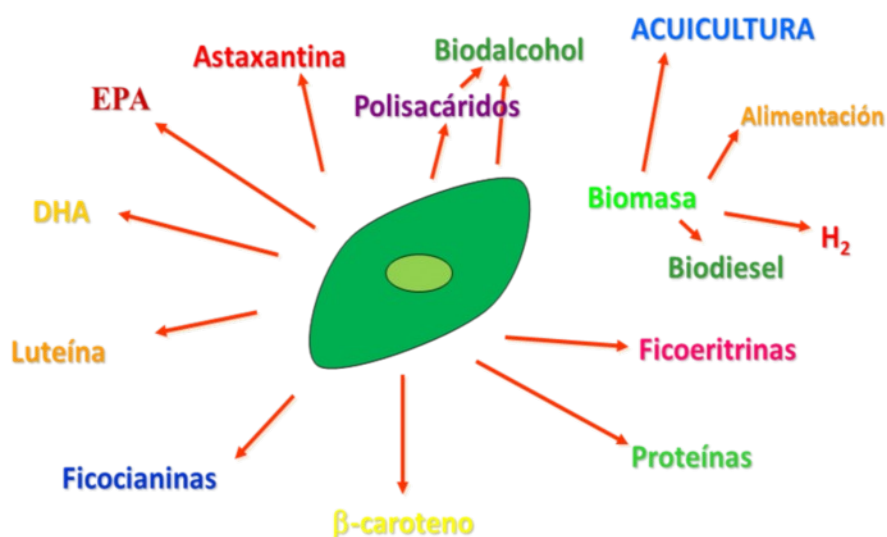
2. EL PORQUÉ DEL INTERÉS DE LAS MICROALGAS

En los últimos años se han logrado avances importantes en la utilización de las microalgas para diversos fines como la salud humana, cosmética, purificación de aguas residuales, prevención de la contaminación acuática, industria farmacéutica, acuicultura, producción de pigmentos y antibióticos, entre otros. Hay constancia de aproximadamente 493 especies que podrían ser utilizadas como alternativas de alimentación para el hombre y otros animales.

El uso de microalgas está proporcionando a los científicos numerosas líneas de investigación y a los empresarios posibilidades de negocio, debido a la cantidad de aplicaciones que tienen, como por ejemplo, la producción de energía, ya sea en forma de hidrógeno o biocombustibles; o para limpiar el medio ambiente absorbiendo dióxido de carbono y purificando aguas residuales; para alimentación y producción de sustancias como vitaminas, ácidos grasos, o pigmentos; para la industria agraria con la producción de fertilizantes; para acuicultura; para biomedicina e incluso para la industria cosmética.

Las microalgas son la base de la alimentación de la mayoría de especies que se crían en acuicultura, tanto peces (primeros estadios larvarios); crustáceos (estadios larvarios de algunas especies) y especialmente en bivalvos (todos los estadios de crecimiento).

Esquema 2: Diferentes elementos o sustancias que se pueden obtener de las microalgas y utilización de la biomasa



En relación al medio ambiente las microalgas pueden utilizarse en biorremediación ambiental, como es el caso del tratamiento de las aguas residuales urbanas. Además, estos organismos contribuyen a fijar el CO₂ por lo que podrían reducir las emisiones de dicho gas, gran responsable del efecto invernadero.

Cultivadas bajo condiciones adecuadas de iluminación, temperatura, salinidad y concentración de nutrientes, las microalgas representan una excelente fuente de pigmentos carotenoides. En el Esquema 2 se pueden ver las diferentes sustancias que se pueden obtener de las microalgas.

Fichas de Transferencia

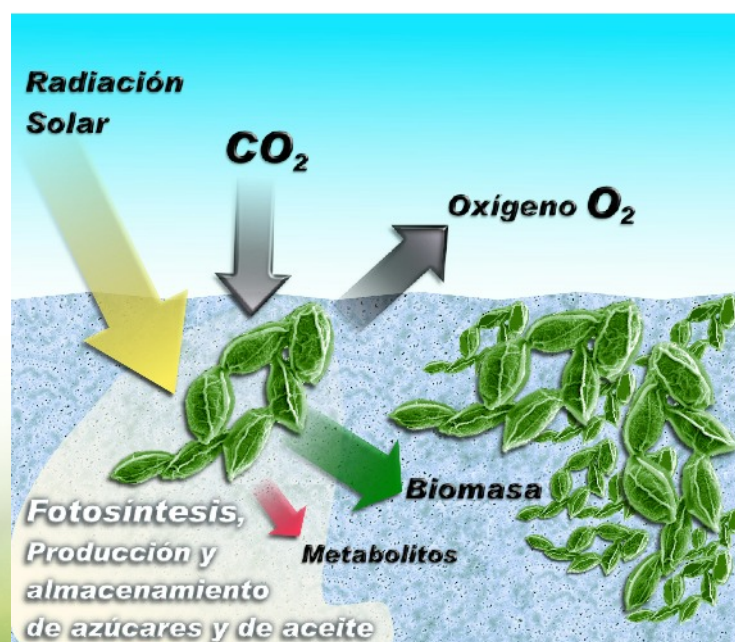
El consumo de microalgas en alimentación está restringido a unas pocas especies debido a la estricta regulación en materia de alimentos. El mercado está dominado por *Chlorella*, *Dunaliella* y *Spirulina* en forma de comprimidos o en polvo. Las microalgas son una fuente importante de ácidos grasos poliinsaturados, esenciales para el ser humano, entre otras cosas, reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares. Estos ácidos grasos suelen obtenerse a partir de aceites del pescado. Actualmente el único disponible comercialmente a partir de microalgas es el ácido docosahexaenoico (DHA) ya que la obtención de otros (eicosapentaenoico EPA, gamma linoleico GLA y araquidónico AA) no es competitiva frente a la producción a partir de otras fuentes. En países como Alemania, Perú, India, Japón y México, han registrado que algunas especies de microalgas son un excelente complemento alimenticio para el hombre. Por ejemplo, las harinas de *Spirulina* y *Scenedesmus* se caracterizan por su alto valor proteico, careciendo de efectos tóxicos.

3. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE MICROALGAS

3.1 FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis es un proceso metabólico que llevan a cabo algunas células de organismos autótrofos para sintetizar sustancias orgánicas a partir de otras inorgánicas. De esta forma se convierte la energía luminosa en energía química estable. El adenosín trifosfato (ATP) es la primera molécula en la cual dicha energía química queda almacenada, dichas moléculas de ATP se utilizan para sintetizar otras moléculas orgánicas más estables. La fotosíntesis es imprescindible para la vida de nuestro planeta ya que, a partir de luz y materia inorgánica, se sintetiza materia orgánica, permitiendo fijar dióxido de carbono (CO_2) y liberar oxígeno (O_2) (Esquema 3). Los factores externos que afectan a la fotosíntesis son la temperatura, la intensidad luminosa, el tiempo de iluminación y la concentración de CO_2 y O_2 del aire.

Esquema 3: Proceso de fotosíntesis realizado por las microalgas



3.2 CULTIVO DE MICROALGAS

Es importante conocer las condiciones óptimas y los límites de tolerancia de una microalga para todos o el mayor número de parámetros, tanto individualmente como para el conjunto de todos ellos. En el cultivo masivo de microalgas el rendimiento alcanzado depende tanto de la concentración de células en el cultivo como del grado en que las células pueden desarrollar su potencial de crecimiento. Por tanto, para conseguir un cultivo de microalgas en crecimiento activo es necesario un inóculo viable, un suministro mínimo de nutrientes y microelementos y adecuadas condiciones químicas y físicas: luz, aireación, temperatura, salinidad y energía (Cañizares *et al.*, 1994).

Son varios los factores que afectan a la producción de microalgas. Para su desarrollo requieren de CO₂, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y otros nutrientes menores como metales, los cuales son esenciales porque actúan como cofactor de enzimas esenciales del metabolismo de las microalgas. Otros factores importantes para la producción son la temperatura, intensidad luminosa, salinidad, nutrientes y pH óptimos, que varían ampliamente de una especie a otra.

Estos parámetros fisicoquímicos se deben determinar previamente en condiciones de laboratorio, para que nos ayuden a comprender las condiciones óptimas para el desarrollo de las diferentes especies en cultivo.

3.2.1 Parámetros fisicoquímicos

- La iluminación se divide en dos componentes: la irradiancia, la cual se refiere al flujo de luz por unidad de área a la cual están expuestas las microalgas, y el fotoperiodo, el cual es el número de horas durante el día en las que las microalgas son sometidas a dicha irradiación. Las microalgas utilizan sólo la luz en el intervalo comprendido entre 300 a 700 nm, región del espectro conocida como la radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés).
- En cuanto a la temperatura, la mayoría de las especies crecen entre 10 a 35 °C, con una temperatura óptima de 16-24 °C. En el cultivo de microalgas, y en general en el de cualquier microorganismo, hay tres temperaturas a considerar: una temperatura mínima, por debajo de la cual no es posible el crecimiento (aunque depende de cada especie y condiciones de cultivo, aproximadamente 16 °C), una temperatura óptima, entre 16 y 27 °C dependiendo de la microalga, a la que se produce el crecimiento más rápido, y una temperatura máxima, alrededor de 35 °C, por encima de la cual no es posible el crecimiento. Los cultivos de microalgas que crecen por debajo de la temperatura óptima generalmente son más sensibles a la fotoinhibición que aquellos que se mantienen en el valor ideal. La temperatura de crecimiento también afecta a la composición bioquímica de las células.
- La aireación es un factor importante para la homogeneización de los nutrientes y evitar la sedimentación de las microalgas. Un adecuado mezclado favorece una distribución homogénea de las células, de los metabolitos, el calor y la transferencia de gases a través de la interfase gas-líquido. Sin embargo, una agitación excesiva puede causar un estrés hidrodinámico llevando a una disminución en la tasa de crecimiento.
- La tolerancia a la salinidad depende de la especie considerada (de agua dulce o salada).

Fichas de Transferencia

Dentro de los requerimientos químicos necesarios para un buen crecimiento de las microalgas en cultivo se encuentran, entre otras cosas, el balance entre los macronutrientes específicos y los micronutrientes. Los nutrientes fundamentales son el carbono, los nitratos y los fosfatos. La disminución de la fuente de nutrientes es un factor limitante en el cultivo, por lo que resulta necesario el control de la calidad nutricional en los cultivos masivos.

Hay algunas microalgas que, además de macro y micronutrientes, requieren otras sustancias para su desarrollo, como las vitaminas, ya que no son capaces de sintetizar todas las que necesitan y las tienen que asimilar a través del medio. Además requieren otros elementos en pequeñas cantidades que son esenciales para su crecimiento: manganeso, zinc, cobalto, cadmio, cobre, molibdeno y níquel, los cuales forman parte de enzimas necesarias para el transporte de electrones, la fijación y transporte del CO_2 , la transcripción del ADN, la fijación y transporte del nitrógeno, entre otras.

La tasa de O_2 y CO_2 suministrado al cultivo puede convertirse en un factor limitante. Mejorando la circulación o mediante la adición adecuada de CO_2 o bicarbonato de sodio puede provocarse la prolongación del crecimiento exponencial de las microalgas. El CO_2 y el bicarbonato de sodio afectan al pH del cultivo, el cual debe ser controlado y mantenido en condiciones óptimas. Cada microorganismo crece en un intervalo de pH particular y normalmente existe un pH óptimo bien definido; en el caso de las microalgas el pH óptimo se encuentra apenas por encima de la neutralidad, por lo que son clasificados como microorganismos neutrófilos.

Además de los factores fisicoquímicos mencionados anteriormente, otro aspecto a considerar es la relación entre las microalgas con determinadas bacterias. Es difícil producir un cultivo de microalgas libre de bacterias y parece ser que muchas especies de microalgas crecen mejor en asociación con bacterias, siendo este concepto muy importante para utilizar las microalgas como depuradores de determinadas aguas, como aguas residuales, de minería, etc.

Todos estos factores son los que dirigen el comportamiento de las microalgas tanto en el medio natural como en los sistemas de cultivo.

3.2.2 Producción de microalgas en laboratorio

Las algas pueden ser cultivadas de diferentes maneras. El cultivo en interior permite el control de variables como la iluminación, la temperatura, los niveles de nutrientes, la contaminación, mientras que en el exterior se hace muy difícil el crecimiento de microalgas durante amplios periodos.

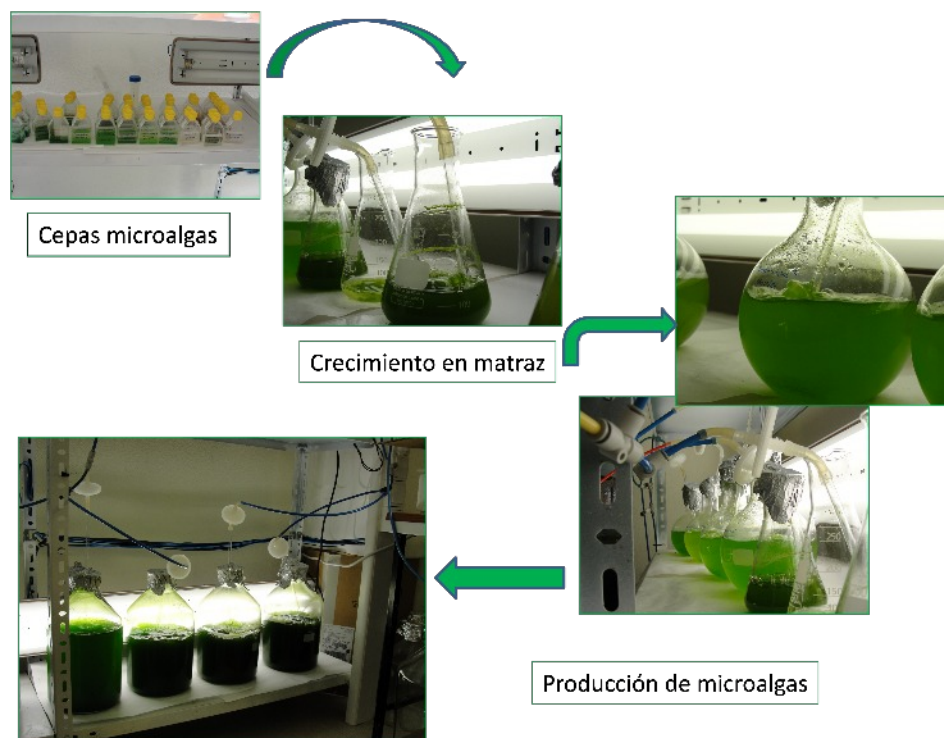
A la hora de producir una determinada microalga es fundamental partir de un inóculo en perfectas condiciones, con células activas y libre de contaminaciones. Además del control de los parámetros antes mencionados, es necesario considerar que, para el establecimiento de un sistema de producción de microalgas, es importante el dominio de las técnicas de aislamiento, purificación y mantenimiento de cepas, así como el conocimiento de la fisiología, ciclo de vida, bioquímica, etc. de las especies, ya que todo ello va a determinar su factibilidad de cultivo y, sobre todo, su contenido nutricional para posibles usos.

Son muchos los métodos que se han desarrollado para obtener cultivos de una sola especie y libre de contaminantes. Partiendo de un monocultivo sin contaminación se diluye en un mayor volumen en condiciones óptimas de crecimiento hasta conseguir la cantidad y calidad suficiente como para poder

Fichas de Transferencia

iniciar cultivo masivo en interior o exterior. De esta forma se va aumentando la producción utilizando diferentes tamaños de matraces, como se puede observar en la Esquema 4, hasta obtener un volumen de cultivo suficiente.

Esquema 4: Producción de microalgas a escala de laboratorio llevada a cabo en la Estación Experimental Cajamar Las Palmerillas



3.2.3 Producción de microalgas a gran escala

Según Brennan (2010) hoy en día la producción de microalgas fotoautótrofas es la única que se puede realizar a gran escala, de forma que pueda resultar económicamente rentable y viable técnicamente.

Las microalgas han sido cultivadas de forma diversa, ya sea en lagunas artificiales, monocultivos en estanques de cemento, bolsas plásticas o en complejos sistemas cerrados, automatizados y controlados, como los fotobiorreactores.

Respecto a los sistemas de cultivo, éstos se suelen clasificar, según su configuración y tipo de funcionamiento, en cultivos abiertos y cerrados. Los cultivos abiertos son una tecnología relativamente simple y barata, pero en la que sin embargo resulta difícil mantener una sola especie de microalga, debido a la facilidad de contaminación biológica, que puede incluso suponer la infección de dicho cultivo por bacterias u otros microorganismos (Imagen 2 A, B y C).

Los sistemas cerrados de cultivo de microalgas son fotobiorreactores transparentes, de plástico o vidrio, con geometrías de diverso tipo: tubulares (Imagen 3 B, C, D y E), cilíndricas (Imagen 3 H) o planas (Imagen 3 F y G). Una de las principales ventajas por las cuales se desarrolla este tipo de cultivo es la mayor facilidad de mantener un monocultivo, sin contaminación por otras especies, que proporcione

Fichas de Transferencia

Imagen 2: Diferentes sistemas abiertos de producción de microalgas que es posible encontrar en las instalaciones de la Estación Experimental Cajamar Las Palmerillas. Sistemas raceway (A, B y C)

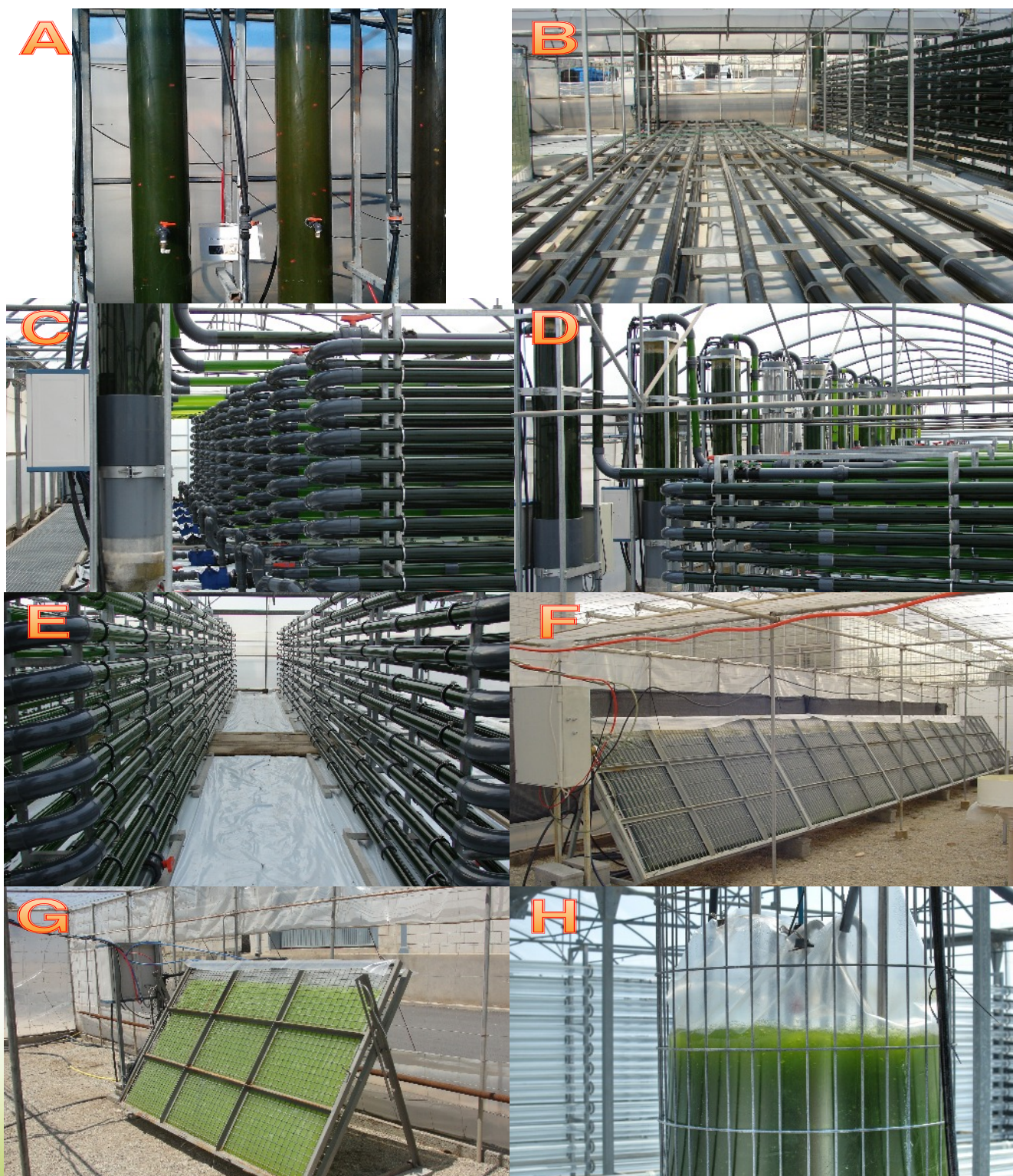


un producto de pureza apta para su procesamiento en la industria farmacéutica o alimentaria. Es también más fácil mantener el cultivo libre de contaminaciones.

Actualmente a nivel comercial, los cultivos masivos de microalgas en el exterior en estanques abiertos tienen sentido para obtener compuestos no muy exigentes en cuanto a la contaminación, como, biocombustibles, biofertilizantes, tratamiento de aguas residuales, etc., mientras que el uso de fotobiorreactores cerrados cobra mayor importancia para la producción de compuestos químicos de alta pureza, como carotenoides, ácidos grasos, compuestos terapéuticos, alimento de consumo humano y animal, etc.

Fichas de Transferencia

Imagen 3: Imágenes de diferentes sistemas de producción de microalgas para diversos usos que es posible encontrar en las instalaciones de la Estación Experimental Cajamar Las Palmerillas. Columnas de burbujas (A), fotobiorreactores tubulares cerrados (B, C, D y E) y reactores planos semicerrados (F, G y H)



4. BIBLIOGRAFIA

Brenan, M., Owende, P. (2010) Biofuels from microalgae – A review of technologies for production, processing, and extraction of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 557-577.

Cañizares, R.O., Rivas, L., Montes, C., Domínguez, A.R., Travieso, L., Benítez, F. 1994. Aerted swine wasterwater treatment with k-carrageenan immobilized *Spirulina maxima*. *Bioresource Technol* 47:89–91.

Fogg G. E., Thake B. 1987. *Algae Cultures and Phytoplankton Ecology*. 3rd edn. London: The University of Wisconsin Press, p. 269.

Graham, L.E., Wilcox, L.W. 2000. *Introduction to the Algae*. Algae. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, pp. 1-20.

Alicia González Céspedes

aliciagonzalez@fundacioncajamar.com

FUNDACION CAJAMAR – GRUPO COOPERATIVO CAJAMAR