



ARTÍCULO DE REVISIÓN

Técnicas de cultivo y métodos de extracción de ácidos grasos a base de microalgas en beneficio de la humanidad

Cultivation techniques and methods of extraction of fatty acids based on microalgae for the benefit of humanity

Jorge Sánchez ^{1,*} ; Jimmy Loaña ² ; Magariño Agualongo ³ ; Kevin Espinoza ⁴ 

Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agroindustrias, Laguacoto II, (Km. 1 ½ Vía – San Simón), Guaranda, Ecuador.

RESUMEN

Las técnicas de cultivo de microalgas en sistemas abiertos, no necesitan de grandes inversiones y mantenimiento, pero son más susceptibles a contaminaciones, además pueden crecer en condiciones que otros organismos les resulta difícil desarrollarse como pH, bajas temperaturas, requerimientos nutritivos. Por otra parte, en sistemas cerrados es posible producir una sola sepa de microalgas y aportar un ambiente controlado al cultivo, ya que estos sistemas se encuentran aislados del ambiente, lo que supone una reducción de contaminación, un mayor control de las condiciones de cultivo y generar una mayor rentabilidad, estos sistemas proporcionan una mayor productividad. Las especies de microalgas más cultivadas son *Spirulina*, *Dunaliella salina*, *Chlorella vulgaris*. Para la producción de Ácidos Grasos se requiere conocer diferentes Métodos de Extracción como: Extracción de Solventes Químicos, Extracción asistida por Microondas, Extracción mediante Ultrasonido, Extracción mediante Fluidos Supercríticos, Auto clavado, Shock Osmótico, Extracción Enzimática; mediante estos métodos podemos extraer Ácidos Grasos hasta un 98% mediante ciertas mezclas; los mismos que brindan beneficios a la humanidad como como ayuda a la agudeza visual, mejor habilidad cognitiva para agregar información, ayuda al sistema cardiovascular, inmunológico, sistema nervioso, durante la gestación; se comercializan ampliamente en supermercados y tiendas especializadas, y están ganando popularidad en todo el mundo porque son consideradas como uno de los súper alimentos más nutritivos conocidos por el hombre.

Palabras clave: microalgas; técnicas; extracción; ácidos grasos.

ABSTRACT

Microalgae cultivation techniques in open systems do not require large investments and maintenance, but they are more susceptible to contamination, they can also grow in conditions that other organisms find difficult to develop such as pH, low temperatures, nutritional requirements. On the other hand, in closed systems it is possible to produce a single microalgae separation and provide a controlled environment for the cultivation, since the systems are isolated from the environment, which means a reduction in contamination, greater control of the cultivation conditions, and generate greater profitability, these systems provide greater productivity. The most cultivated microalgae species are *Spirulina*, *Dunaliella salina*, *Chlorella vulgaris*. For the production of Fatty Acids it is required to know different Extraction Methods such as: Extraction of Chemical Solvents, Microwave-assisted Extraction, Extraction by Ultrasound, Extraction by Supercritical Fluids, Self-nailing, Osmotic Shock, Enzymatic Extraction; by means of these we can extract Fatty Acids up to 98% through mixing methods; the same ones that provide benefits to humanity such as help with visual acuity, better cognitive ability to add information, help the cardiovascular, immune, nervous system, during pregnancy; They are widely marketed in supermarkets and specialty stores, and are gaining popularity around the world because they are regarded as one of the most nutritious superfoods known to man.

Keywords: microalgae; techniques; extraction; fatty acids.

1. Introducción

Se espera que la población mundial aumente en más de un tercio en 2050, lo que requerirá un aumento estimado del 70% en la producción de alimentos (Mártinez y Ramírez, 2018). Las microalgas siempre han jugado un papel importante en el desarrollo del planeta de manera natural, cada día se vuelven más significativas para el desarrollo científico e implementación industrial (Camacho y Flores, 2019).

El crecimiento demográfico combinado con recursos cada vez más limitados de tierra cultivada y agua dulce ha dado lugar a la necesidad de fuentes lipídicas. Las macroalgas (algas marinas) y las microalgas son ejemplos de cultivo poco explotados. Las algas no compiten con los cultivos alimenticios tradicionales por espacio y recursos (Castro, 2002).

Las microalgas son de gran interés tanto a nivel industrial como a nivel biotecnológico. Entre los diversos usos que puedan tener las microalgas se ha evidenciado el potencial que poseen para obtención de Ácidos Grasos (Gómez, 2007). El carácter esencial de estos compuestos y su importancia fisiológica se traducen en una demanda creciente y la búsqueda de estrategias para incrementar su consumo. La importancia nutricional de los ácidos grasos está sólidamente fundamentada en la literatura científica. Las fuentes convencionales (agricultura, ganadería y pesca) no sean capaces de satisfacer la demanda proteica y lipídica para esta población emergente. Esta situación crea una demanda para la formulación de fuentes de alimentos innovadores y alternativos a partir de microalgas los cuales pueden ser utilizados en la dieta diaria mediante la sustitución de fuentes convencionales y costosas (Rendon et al., 2015). El término micro alga aparece posteriormente, muy ligado al desarrollo biotecnológico; éste se refiere a aquellos microorganismos que contiene clorofila a y otros pigmentos fotosintéticos, capaces de realizar fotosíntesis oxigénica.

Entre las microalgas se incluyen: cianobacterias, que tienen estructuras celulares procariota, y las restantes microalgas con estructura celular eucariota; sin embargo, el término no tiene valor taxonómico alguno (Gómez, 2007). Según Gonzales y Ruíz (2018), las microalgas tienen como ventaja que pueden crecer fotosintéticamente sin la necesidad de adicionar una fuente de carbono al medio para su crecimiento, las microalgas contienen lípidos y ácidos grasos, pero ello varía de las condiciones de cultivo de ellas, la obtención de ácidos grasos a partir del cultivo de microalgas tiene

como ventaja la gran productividad de ella por hectáreas.

Uno de los campos de interés de la biotecnología es la biotecnología algal que involucra el uso de macro o microalgas para la extracción o modificación de compuestos bioactivos u otros compuestos de interés (Avalos et al., 2020).

Adicionalmente, las microalgas son cultivadas en sistemas abiertos y cerrados, los cuales tiene diferentes formas de tratamiento para garantizar su rentabilidad de estos microorganismos (Gonzales, 2009). Las especies de microalgas más cultivadas a nivel industrial son *Spirulina*, *Chlorella*, *Dunaliella* y *Haematococcus*, las cuales pueden ser cultivadas en los sistemas antes mencionados bajo condiciones apropiadas como temperatura, PH (Mártinez y Ramírez, 2017).

Entre los métodos de extracción de Ácidos grasos a partir de microalgas tenemos los siguientes: Extracción de Solventes Químicos, Extracción asistida por Microondas, Extracción mediante Ultrasonido, Extracción mediante Fluidos Supercríticos, Auto clavado, Shock Osmótico, Extracción Enzimática; mediante estos métodos podemos extraer Ácidos Grasos hasta un 98% mediante ciertas mezclas (Salazar, 2012).

Los ácidos grasos son una fuente principal de alimentos para personas y animales, pero unas pocas Microalgas presentan potencial para la producción industrial, principalmente debido al tipo de cultivo, presentando un nivel bajo de crecimiento (Cardozo, 2007). Al extraer Ácidos Grasos de Microalgas se puede dar usos dentro de la salud de las personas como ayuda a la agudeza visual, mejor habilidad cognitiva para agregar información, ayuda al sistema cardiovascular, al sistema inmunológico como coadyuvantes en el tratamiento del SIDA, actúa sobre el sistema nervioso (Castro, 2002).

Según Valenzuela et al. (2015), se les considera nutrientes importantes en la protección de la salud cardiovascular y del sistema nervioso y visual, principalmente por sus funciones antiinflamatorias, antiarrítmicas, inmunoprotectoras, citoprotectoras, neuroprotectoras y antiapoptóticas, tanto en la salud humana como animal, además representan una fuente proteínica con posibles aplicaciones en la nutrición humana y como complemento de piensos animales, debido básicamente a sus elevados contenidos proteicos, lípidos, almidón, glicerol, pigmentos naturales o biopolímeros y bajos valores de ácidos nucleicos en comparación con otras fuentes de proteína unicelular.

Hoy en día, las microalgas *Chlorella* y *espirulina* se comercializan ampliamente en supermercados y tiendas especializadas, y están ganando popularidad en todo el mundo porque son consideradas como uno de los superalimentos más nutritivos conocidos por el hombre, estas microalgas también se usan para alimentar a muchos tipos de animales (gatos, perros, peces de acuario, aves ornamentales, caballos, aves de corral, vacas o toros reproductores). Además, otras microalgas como *Tetraselmis*, *Isochrysis*, *Pavlova*, *Phaeodactylum*, *Chaetoceros*, *Nannochloropsis*, *Skeletonema* y *Thalassiosira* también se utilizan como alimento de peces en acuicultura (García y Galán, 2018).

Algunas empresas que funcionan en Latinoamérica son Genix ubicada en Cuba, y se encarga de producir suplementos alimenticios y cosméticos basados en microalgas (Martínez y Ramírez, 2018).

En la actualidad debido a los beneficios que ofrecen las microalgas en su alto contenido ácidos grasos, se ha visto la necesidad de dar a conocer las mejores técnicas de cultivo y las maneras en que estas biomoléculas lipídicas pueden ser extraídos para su uso en la nutrición humana.

2. Microalgas

Las microalgas son un diverso grupo de microorganismos fotosintéticos capaces de captar la luz solar para sintetizar reservas de energía tales como carbohidratos, lípidos o proteínas. A diferencia de los cultivos vegetales tradicionales, aquellas pueden ser cultivadas en sistemas de cultivos abiertos, como balsas o lagos, o en sistemas de cultivo cerrados altamente controlados con los que se alcanzan mayores productividades y en condiciones climáticas y regiones donde otros cultivos no pueden llevarse a cabo (Céron, 2013). Las microalgas son un grupo altamente diversos de organismos unicelulares entre los que se encuentran protistas eucariotas y cianobacterias procariotas, que pueden crecer rápidamente debido a su estructura simple (Medina et al., 2017). Según Martínez (2017), las Microalgas mantienen la síntesis de lípidos, generalmente cuando se presenta deficiencia de nutrientes en el medio de cultivo o bajo condiciones de estrés ocasionadas por la reducción de otros constituyentes celulares (Hu et al., 2008). Las condiciones que influyen en la productividad de biomasa y lípidos son la temperatura (Sukenik et al., 2009), la salinidad (Pal et al., 2011; Su et al., 2011), la disponibilidad de nutrientes (Rezanka et al., 2011; Yeesang y

Cheirsilp, 2011; Yuan et al., 2011) y el color e intensidad de la luz (Simionato et al., 2011).

Especies de microalgas

Actualmente las especies más cultivadas de microalgas a nivel industrial son *Spirulina*, *Chlorella*, *Dunaliella* y *Haematococcus*. Estos organismos fotosintéticos pueden crecer tanto con luz solar como artificial y se pueden cultivar básicamente según 2 sistemas de cultivo: abierto y cerrado; el sistema abierto es el más usado a gran escala. A pesar de ello el cultivo de microalgas se ha visto limitado por el nivel de producción de biomasa y los costos asociados al cultivo (Martínez y Ramírez, 2018).

Sin embargo, la presencia de un elevado contenido de lípidos en la biomasa microalgal no siempre es garantía para el empleo de una especie como fuente de lípidos. Aquellas especies con mayor por ciento lipídico, a menudo son también de crecimiento lento. Tal es el caso de *Botryococcus braunii* que aunque es capaz de almacenar entre 50 y 75% de lípidos en base a su peso seco, su productividad es de tan solo $5 \text{ mgL}^{-1}\text{d}^{-1}$ (Gómez et al, 2012). En la Tabla 1 se presenta el contenido (%), productividad lipídica y de biomasa que ofrecen las especies de microalgas.

Spirulina

Según Vázquez y Jaramillo (2018), la *spirulina* se declaró como el mejor alimento para el futuro, en la Conferencia Mundial de la Alimentación de las Naciones Unidas de 1974 (UMMC, 2017). La *spirulina* es un tipo de micro alga, de color azul-verde con alto contenido en vitaminas, minerales, proteínas, carotenoides y antioxidantes que ayudan a proteger las células de daños. Estas mismas contienen nutrientes, que incluyen vitaminas con complejo B, E, beta caroteno, manganeso, zinc, cobre, hierro, selenio y ácido gamma linoleico. Actualmente, la *spirulina* es utilizada para combatir problemas alimenticios como reducir la desnutrición en el mundo y al mismo tiempo combatir la escasez de alimentos (IIUMS, 2013). Por su gran cantidad de nutrientes y aminoácidos esenciales es que se recomienda la *spirulina* contra la obesidad, diabetes, hipoglucemia, artritis, depresión, niveles bajos de energía, trastornos hepáticos, úlceras intestinales, hemorroides, asma, hipertensión, estreñimiento, sangrado de encías, infecciones, mal aliento, enfermedades degenerativas, deficiencias nutricionales, ayuda a la digestión, anemia, etc. (SuperAlimentos, 2013).

Tabla 1

Contenido de aceite y productividad de las microalgas (de Gómez et al., 2012)

Especie de microalgas	% de lípidos	Productividad de lípidos ($mgL^{-1}d^{-1}$)	Productividad de biomasa ($gL^{-1}d^{-1}$)
Scenedesmus acuminatu	15,3	2,4	0,02
Nannochloris sp	51	1,46	0,003
Dunaliella salina	29,2	5,42	0,02
Chlorella vulgaris	27,8	42,49	0,15
Haematococcus pluvialis	13,4	11,96	0,09

Chlorella vulgaris

Entre las microalgas de mayor importancia se encuentra *Chlorella* por su valor económico y nutricional, tanto a nivel animal como humano. Por ejemplo, *Chlorella vulgaris* ha sido utilizada por su calidad proteica e incluso presenta propiedades antitumorales. Actualmente, representa un sistema biológico ideal para diferentes líneas de investigación y además presenta una alta eficiencia por su fácil adaptación en condiciones de laboratorio (Moronta y Morales, 2006).

Dunaliella

En este sentido, el perfil lipídico de las microalgas se caracteriza por la presencia de cantidades apreciables de lípidos neutros, principalmente glicéridos, que representan una fuente potencial de glicerol, además de haberse informado la existencia de glicerol libre en las células de un número considerable de especies. La microalga marina *Dunaliella salina* (*Chloropyta*, *Chloropyceae*) contiene cantidades significativas de glicerol, que pueden incrementarse en respuesta a un aumento de la presión osmótica externa. Esta especie ha sido estudiada intensamente en las últimas décadas como fuente de carotenos y glicerol y es oportuno señalar que los cultivos empleados para la obtención de β -caroteno pueden a la vez, constituir una fuente de glicerol (Hernández et al., 2000).

Además las microalgas del género *Dunaliella* son cultivadas con la finalidad de obtener compuestos antioxidantes principalmente carotenoides en condiciones de estrés por nitrógeno y salinidad (García et al., 2020).

Haematococcus

Haematococcus pluvialis es una microalga verde de agua dulce y es una de las fuentes naturales con mayor producción de astaxantina ya que es capaz de acumular hasta un 3% de astaxantina en peso seco (Castillo et al., 2017). La microalga *Nannochloropsis oculata* es reconocida por su valor nutricional como una excelente fuente de pro-

teínas, carbohidratos, lípidos y vitaminas. Esta especie contiene cantidades elevadas de ácidos grasos poliinsaturados, especialmente ácido eicosapentaenoico (AEP), ácido araquidónico y ácido docosahexaenoico que son de gran relevancia en la nutrición de animales marinos, especialmente en el crecimiento y desarrollo de larvas de peces, moluscos y crustáceos (Sánchez et al., 2008). Adicionalmente, por su alto contenido de ácido palmítico y palmitoleico (Martínez, 2017).

Ácidos grasos a base de microalgas

Los ácidos grasos poliinsaturados son considerados ácidos grasos esenciales, puesto que se necesita para el desarrollo básico del cuerpo, pero nuestro organismo no cuenta con las enzimas necesarias para sintetizarlos, estos se encuentran principalmente en los alimentos de origen marino como algas, moluscos, crustáceos y peces grasos de aguas profundas (Araya et al., 2020); además Brennan y Owende (2010) afirman que en la actualidad, el pescado y el aceite de pescado son las principales fuentes de ácidos grasos poliinsaturados, la aplicación como aditivo alimentario es limitada debido a la posible acumulación de toxinas, olor a pescado, sabor desagradable y la presencia de ácidos grasos mezclados, no adecuados en las dietas vegetarianas. En la Tabla 2 se presenta los ácidos grasos de microalgas, como principal fuente de PUFAs (Rendón et al., 2015). Según Céron (2013), el éxito de un negocio de microalgas radica en elegir la correcta especie con relevantes propiedades que, en condiciones específicas de cultivo, produzca los compuestos de interés. El mercado de la biomasa de microalgas tiene un tamaño de aproximadamente 5.000 t/año de materia seca y genera un volumen de ventas de aprox. $1,25 \times 10^9$ dólares/año.

Alimentos Dietéticos

En los inicios de los años cincuenta los humanos comenzaron a usar microalgas en sus dietas, principalmente como suplementos dietéticos (proteicos y vitamínicos), en forma de polvo, capsulas, pastillas o tableta (Pulz y Gross 2004).

Tabla 2

Microalgas potenciales como fuente primaria de PUFAs (de Rendon et al., 2015)

AGPI	Aplicación potencial	Microorganismo productor
Ácido Docosahexaenoico (DHA)	Preparados infantiles para lactantes Suplementos nutricionales Acuicultura	Cryptocodinium, Schizochytrium
Ácido Eicosapentanoico (EPA)	Suplementos nutricionales Acuicultura	Nannochloropsis, Phaeodactylum, Nitzschia Pavlova
g-Ácido Linoleico	Suplementos nutricionales Acuicultura	Spirulina
Ácido Araquidónico (AA)	Preparados infantiles para lactantes Suplementos nutricionales	Porphyridium

Estas suelen ser incorporadas en alimentos tales como pasta, galletas, pan, caramelos, yogures o refrescos. A su vez, a día de hoy, se estima que aproximadamente el 30 % de las algas producidas en el mundo es usado en nutrición humana debido a su alto contenido en proteína (Céron, 2013). Está demostrado que tanto el contenido de lípidos como el perfil de ácidos grasos de las microalgas vari no solo entre especies sino también en función de las condiciones de cultivo (Arias et al, 2016).

El consumo de Ácidos grasos a partir de microalgas brinda muchos beneficios como ayuda a la agudeza visual, mejor habilidad cognitiva para agregar información, ayuda al sistema cardiovascular, al sistema inmunológico como coadyuvantes en el tratamiento del SIDA, sobre el sistema nervioso, durante la gestación (Castro, 2002).

3. Técnicas de cultivo de microalgas

El cultivo intensivo de microalgas ha sido posible en gran medida gracias al desarrollo de nuevos diseños de fotobiorreactores. Existen dos diseños básicos para la producción de microorganismos foto autotróficos (Grobbelaar, 2000), los sistemas abiertos en los que el cultivo está expuesto a la atmósfera y los sistemas cerrados, comúnmente denominados fotobiorreactores, en los que el cultivo tiene poco o ningún contacto con la atmósfera. En la última década los fotobiorreactores tubulares y de placas planas han recibido, entre otros, mucha atención, ya que permiten establecer cultivos de alta densidad celular, 3 o más veces en comparación con los sistemas convencionales (Contreras et al 2013). La elección del tipo de sistema de cultivo es compleja, siendo importante determinar el tipo y valor del producto final desarrollado a partir de la biomasa, además de la disponibilidad de recursos hídricos y/o suelo (Hernández y Labbé, 2014).

Según Moronta y Morales (2006), los cultivos masivos de microalgas se obtienen típicamente de manera foto autotrófica, bien sea por el uso de estanques abiertos y luz natural o por una variación

de sistemas más intensivos. Sin embargo, se presentan alternativas de producción de biomasa microalgal, tanto en condiciones mixotróficas como heterotróficas. Es decir, cuando son capaces de asimilar fuente de carbono orgánica exhibiendo un crecimiento organotrófico. García y Galán (2018) afirma que en algunos casos se aprovechan las aguas naturales (lagos, lagunas, estanques) o estanques artificiales, sin embargo, en la mayoría de los casos estos cultivos se realizan en los denominados fotobiorreactores (PBR, photo-bioreactors) que pueden ser sistemas abiertos (OPS, Open Pond System) o cerrados (CPBR, Closed Photobioreactors) Cada uno de ellos ofrece sus ventajas y sus inconvenientes. En la Tabla 3 se puede observar los productos funcionales con respecto a los sistemas de producción y las especies de microalgas.

Tabla 3

Productos funcionales según el sistema de cultivo y especies de microalgas (de García y Galán, 2018)

Sistemas de producción	Productos funcionales	Especies de microalgas
Estanques y raceways	Proteínas, carotenoides y PUFA	<i>Chlorella</i> sp., <i>Dunaliella</i> sp., <i>Nannochloropsis</i> sp., <i>Hematococcus pluvialis</i>
		<i>Hematococcus pluvialis</i>
Fotobiorreactores	Astaxantina, PUFA	<i>Hematococcus pluvialis</i>
Fermentadores	Lípidos y PUFA	<i>Schizochytrium</i> sp.

Contreras et al. (2013) afirma que existen dos diseños básicos para la producción de microorganismos foto autotróficos (Grobbelaar, 2000), los sistemas abiertos en los que el cultivo está expuesto a la atmósfera y los sistemas cerrados, comúnmente denominados fotobiorreactores, en los que el cultivo tiene poco o ningún contacto con la atmósfera.

Parámetros de sistemas de cultivo

Disponibilidad de la luz

Las microalgas se producen en fotobiorreactores, que no son más que biorreactores expuestos a la luz solar de forma que esta penetra en su interior y constituye la fuente de energía para la producción de biomasa o productos, el principal factor que determina la producción de microalgas es la luz. De todo el espectro solar, el aparato fotosintético utiliza exclusivamente la radiación en longitudes de onda de 400 a 700 nm (radiación fotosintéticamente activa) (Fernández *et al.*, 2018).

Requerimiento de nutrientes

La biomasa de microalgas se compone principalmente de carbono (45%), nitrógeno (7%) y fósforo (1%), además de oxígeno e hidrógeno que se obtienen directamente del agua. Tanto carbono, como nitrógeno y fósforo, deben ser aportados externamente, siendo la cantidad necesaria de estos nutrientes directamente proporcional a la capacidad de producción de biomasa necesaria (Fernández *et al.*, 2018).

Condiciones de cultivo

Fernández *et al.* (2018) afirma que como cualquier otro microorganismo las microalgas tienen unas condiciones óptimas de cultivo que deben conocerse para maximizar su rendimiento. Cada cepa posee unos valores óptimos de salinidad, temperatura o pH, y los sistemas de producción deben diseñarse/operarse para mantener estos valores óptimos. Se utilizan cepas de agua dulce, como *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Spirulina*.

La temperatura es un factor ambiental muy importante por su gran influencia en el desarrollo de las microalgas. La mayor parte de los organismos del fitoplancton tienen un rango de crecimiento óptimo de 18 a 25 °C, pero existen especies que crecen a temperaturas alejadas de este rango (Garcá *et al.*, 2016).

El pH es uno de los factores más importantes en el cultivo microalgal. Las membranas plasmáticas no son libremente permeables a los iones hidrógeno e hidroxilo, y por tanto las concentraciones de hidrogeniones intracelulares y extracelulares no están necesariamente equilibradas y existe un gradiente de concentración de hidrogeniones a través de la membrana. Las microalgas representan una clara dependencia respecto al pH del medio de cultivo y diferentes especies varían ampliamente en su respuesta a él (Garcá *et al.*, 2016).

Sistemas de cultivos abiertos

Los sistemas abiertos no necesitan grandes inversiones y mantenimiento y de fácil escalado, pero

su control es más complicado por lo que determina que estos sistemas tengan bajas productividades y eficiencias, además de ser más susceptibles a contaminaciones por otras algas o bacterias, aunque suponga un menor coste (Figura 1). En general para el cultivo en sistemas abiertos se buscan cepas de microalgas que puedan crecer bajo condiciones en las que otros organismos les resultaría difícil desarrollarse como pH o bajos, temperaturas específicas, requerimientos nutritivos específicos (González, 2017).



Figura 1. Cultivo de microalgas en sistemas abiertos. Balsas abiertas de cultivo de *Dunaliella salina* en Australia (Cognis Nutrition and Health), en piscinas artificiales de agua con profundidad limitada donde las microalgas crecen sin ningún elemento de mezclado; por tanto, no son considerados fotobiorreactores (adaptada de González, 2017).

Sistemas de cultivos cerrados

Posten (2009) afirma que las dificultades en los sistemas de cultivo abiertos han favorecido el desarrollo de los sistemas de cultivo cerrados. Éstos permiten un importante control de los parámetros, disminuyendo sustancialmente los problemas presentes en los sistemas abiertos, además, permiten realizar cultivos hiperconcentrados, ya sean mixtos o monoalgales. Pérez y Labbé (2014) afirma que en los sistemas cerrados es posible producir una sola sepa de microalgas y aportar un ambiente controlado al cultivo, ya que estos sistemas se encuentran aislados del ambiente exterior, lo que supone una reducción de contaminación, (Figura 2) un mayor control de las condiciones de cultivo y generar una mayor rentabilidad, estos sistemas proporcionan una mayor productividad frente a los sistemas abiertos (González, 2017).

En la última década los fotobiorreactores tubulares y de placas planas (Figura 3) han recibido, entre otros, mucha atención, ya que permiten establecer cultivos de alta densidad celular, 3 o más veces en comparación con los sistemas convencionales de carrusel. Esto tiene ventajas como: facilidad para cosechar la biomasa, mantenimiento del cultivo sin contaminación, mejor control de las condiciones de cultivo y menor inversión de capital en el fotobiorreactor. Este último factor es un elemento importante en el costo de producción de

productos derivados de microalgas (Contreras *et al.*, 2013).



Figura 2. Cultivo de microalgas en sistemas cerrados. Recipientes para producir microalgas en cámaras; cada tipo de cultivo se puede elegir diferente tipo de material y condiciones (adaptada de Gonzáles, 2017).

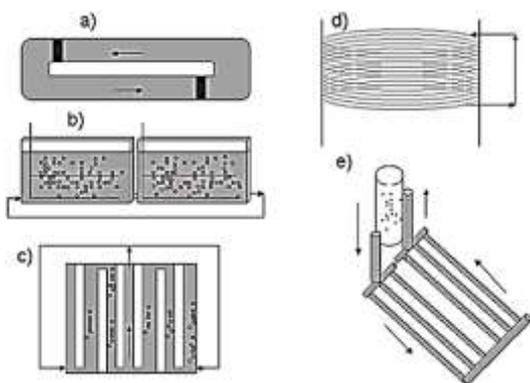


Figura 3. Tipos básicos de fotobiorreactores; a) Tipo carrusel, vista superior, los bloques negros indican propelas. b) Tipo plano, vista horizontal. c) Con iluminación interna, los bloques blancos indican espacios de iluminación. d) Tipo serpentin. e) Tipo tubular horizontal con sistema airlift (adaptada de Contreras *et al.* 2013).

4. Extracción de ácidos grasos de microalgas.

La extracción de Ácidos grasos se puede realizar por diferentes métodos como: Extracción con solvente químico, Extracción asistida por microondas, Extracción mediante ultrasonido, Extracción mediante fluidos supercríticos, Auto clavado, Shock Osmótico, Extracción Enzimática (Gonzáles *et al.*, 2009); (Salazar, 2012).

Extracción con solvente químico

Richmon (2004) afirma que mediante una mezcla hexano – etanol, es posible extraer más del 98% de ácidos grasos presentes en la biomasa, sin embargo, al ser el etanol un buen solvente de extracción, su selectividad hacia los lípidos es relativamente baja comparada con otros solventes, por lo que en extracciones con etanol pueden aparecer otros componentes de las microalgas como azúcares, pigmentos o aminoácidos (Gonzáles *et al.*, 2009; Salazar, 2012). Los lípidos se extraen de la matriz celular de la microalga tras una exposición de esta con un disolvente de extracción.

Los principios químicos por los que ocurre este hecho se basan en el concepto ‘like dissolves like’ (Halim *et al.*, 2012), expresión utilizada para explicar la relación entre disolvente, soluto y las polaridades de ambos: un disolvente polar no puede disolver un soluto no polar, y viceversa (Fernández, 2019).

Extracción asistida por microondas

Aprovecha la polaridad de las moléculas que componen la estructura de la microalga como los lípidos y las proteínas para crear fricción y por consiguiente calor, o cual hace que el agua contenida en la célula escape debilitando la pared celular. La extracción de lípidos asistida por microondas se caracteriza por ser una técnica que disminuye el tiempo y aumenta la eficiencia del proceso (Gonzáles *et al.*, 2009). Esta técnica es eficiente y disminuye el tiempo de análisis por muestra, se combina con un procedimiento de extracción con solventes. Esta metodología alcanza el doble de lípidos extraídos con respecto a los mismos solventes, pero sin método de ruptura (Rodríguez, 2017).

Extracción mediante ultrasonido

Consiste en la exposición de las microalgas a ondas acústicas, estas ondas son producidas por la transmisión de corriente eléctrica a un sistema mecánico. Estas ondas de ultrasonido, en medio líquido, generan millones de burbujas microscópicas las cuales se expanden y colapsan (cavitación) contra las células causando la ruptura de la pared celular (Gonzáles *et al.*, 2009). Ha sido demostrado experimentalmente que la aplicación de ultrasonido a baja frecuencia causa una alta destrucción celular algal, incluso mayor que aplicando ondas de alta frecuencia. Se aplican las ondas de ultrasonido de forma continua hasta por 15 minutos, esto permite rupturas de membranas y pared celular, el inconveniente es que produce una elevada generación de calor, además de generar radicales libres (Salazar, 2012).

Extracción mediante fluidos supercríticos

King (2000) argumenta que estos métodos surgieron como una alternativa al empleo tradicional de grandes cantidades de solventes tóxicos para realizar extracciones, de este tipo de procesos, los más prometedores son la extracción con fluidos supercríticos (SFE), y la extracción con agua subcrítica (SWE), otra característica que hace interesante la utilización de la extracción con fluidos supercríticos, es la posibilidad de acoplar el sistema de extracción, con sistemas de caracterización tales como cromatografía de gases, o cromatografía de fluidos supercrítico (Salazar, 2012; Rodríguez, 2017).

Tabla 4

Principales empresas productoras de suplementos alimenticios a base de microalgas (de Martínez y Ramírez, 2018)

Empresa	Productos	Ubicación	Microalgas cultivadas	Sistema de cultivo	Año de fundación
Genix	Suplementos Alimenticios	Cuba	<i>Spirulina</i> sp.	Abierto	1996
Solarium Biotechnology S.A.	Suplementos Alimenticios en cápsulas y polvo	Chile	<i>Spirulina maxima</i>	Abierto	1999
Algae Fuels S.A.	Harina Enriquecida	Chile	<i>Spirulina</i> sp.	Abierto	2010
BioLets S.A de CV	Suplementos alimenticios en cápsula y polvo	México	<i>Spirulina</i> sp.	Cerrado	2013
Biomex	Suplementos alimenticios en cápsula	México	<i>Spirulina</i> sp., <i>Chorella</i> sp.		2005
Acuisir	Suplementos alimenticios para humanos y acuicultura en polvo, cápsula y Suiginori	Perú	<i>Spirulina platensis</i> , <i>Chlorella vulgaris</i>	Abierto	2010
Andex Biotechnology SRL	Suplementos alimenticios en cápsula y polvo	Perú	<i>Spirulina platensis</i> , <i>Hematococcus pluvialis</i> , <i>Dulaniella salina</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> <i>Nostoc</i> sp.	Abierto	2007
Andes Spirulina C.A.	Suplementos alimenticios en cápsula, polvo, tableta y microcápsula	Ecuador	<i>Spirulina</i> sp.	Abiertos en invernadero	2005
Solazyme	Suplementos proteicos y aceites	Brasil	Especies autóctonas de Brasil	Cerrado	2003

Auto clavado

El principio de extracción mediante autoclavado es similar a la extracción mediante agua subcrítica, una ventaja de esta técnica para ser utilizada en la extracción de aceites de microalgas es que se puede trabajar con la biomasa húmeda, lo cual evade la etapa de secado de la biomasa, de microalgas, durante la cual se pueden degradar los lípidos presentes en las algas y aumenta los costos globales de proceso (González et al., 2009; Salazar, 2012). Sarmiento y Amaya (2010) afirman que esta técnica de pretratamiento usa condiciones de 300 °C y 100 MPa con tiempos de entre 5 y 6 minutos con biomasa húmeda, la técnica se puede comparar con la extracción con fluidos supercríticos (Rodríguez, 2017).

Shock osmótico

Las células están inicialmente equilibradas en un medio de alta presión osmótica, luego, este medio es diluido repentinamente, entonces, por osmosis, el agua ingresa repentinamente a la célula, incrementa la presión interna, y causa ruptura, es un método relativamente fácil de emplear (González et al., 2009).

Extracción enzimática

En la extracción enzimática se degrada la pared celular de las microalgas mediante el empleo de

enzimas, esto facilita la salida de los aceites presentes en la célula para su posterior transformación en biodiesel. Estas enzimas también pueden ser utilizadas para transformar los ácidos grasos presentes en las microalgas, en lípidos aptos para su posterior transesterificación (Ward y Singh, 2005) sin embargo, la actividad enzimática se ve afectada por muchas variables como: la naturaleza de la enzima, las concentraciones y las razones de los reactantes, la composición de los aceites o mezclas de ácidos grasos, la composición de la pared celular, el contenido inicial de agua, la temperatura, entre otros (Salazar, 2012).

El cosechado de las microalgas es el proceso conducente a la obtención de una pasta de microalgas como un contenido de agua reducido. el cosechado de microalgas no contienen dificultades a nivel técnico, constituyen un reto de ingeniería a la hora de elaborar productos derivados del mismo (López, 2019).

5. Productividad de las microalgas

Fernández et al. (2018) afirma que las microalgas se pueden utilizar en un amplio abanico de aplicaciones, aunque solo unas pocas están siendo realmente explotadas a nivel comercial actualmente, el resto siendo aún potencialidades por desarrollar para este tipo de microorganismos. Las

aplicaciones de las microalgas se pueden dividir en cuatro grupos principales en función de los requerimientos de seguridad de los diferentes mercados

Los mercados a considerar son los siguientes:

- Obtención de productos de consumo humano
- Alimentos y nutracéuticos

Martínez y Ramírez (2018) afirman que se ha evidenciado de manera sólida las propiedades nutritivas de las microalgas, desarrollándose diversos productos y suplementos alimenticios, incluso creándose empresas especializadas en el cultivo y extracción de biomasa de microalgas. La Unión Europea y algunos países de Asia lideran el mercado mundial de las microalgas, América Latina ha tenido un menor desarrollo de este campo, limitándose a algunos productos desarrollados por las pocas empresas privadas que existen en la región, así como propuestas realizadas por centros de investigación y universidades que han planteado productos potenciales para satisfacer la demanda alimenticia en América Latina.

Las aplicaciones de alto valor de las microalgas se relacionan principalmente con el consumo humano directo como alimentos, nutracéuticos, cosméticos o incluso productos farmacéuticos, la biomasa de microalgas contiene proteínas, lípidos y carbohidratos de alta calidad para el consumo humano. Además, la biomasa de microalgas contiene aminoácidos esenciales y ácidos grasos poliinsaturados (Fernández *et al.*, 2018).

Las microalgas *Chlorella* y *espirulina* se comercializan ampliamente en supermercados y tiendas especializadas, y están ganando popularidad en todo el mundo porque son consideradas como uno de los superalimentos más nutritivos conocidos por el hombre, estas microalgas también se usan para alimentar a muchos tipos de animales (gatos, perros, peces de acuario, aves ornamentales, caballos, aves de corral, vacas o toros reproductores). Además, otras microalgas como *Tetraselmis*, *Isochrysis*, *Pavlova*, *Phaeodactylum*, *Chaetoceros*, *Nannochloropsis*, *Skeletonema* y *Thalassiosira* también se utilizan como alimento de peces en acuicultura (García y Galán, 2018).

Algunas empresas que se encuentran funcionando en Latinoamérica (Tabla 4) son: Genix ubicada en Cuba y se encarga de producir suplementos alimenticios y cosméticos basados en microalgas (Martínez y Ramírez, 2018). En Chile se encuentra la empresa Solarium Biotechnology S.A. fundada desde 1999 enfocada en la nutrición humana a base de microalgas. Comercializa y exporta el producto "Spirulina Mater, elaborado a partir de la biomasa de *Spirulina máxima*. Entre

sus diferentes presentaciones destaca la venta de *S. máxima* en tabletas que se emplea como suplemento alimenticio; en polvo para complementar alimentos como bebidas de frutas, batidos, yogur u otros (Martínez y Ramírez, 2018). En México, la empresa BioLets S.A. de C.V., aunque su principal actividad se centra en el uso de algas como biocombustible, también ha dedicado esfuerzos en la elaboración de biomasa para el consumo humano ya sea en cápsula o en polvo como suplemento alimenticio (Martínez y Ramírez, 2018).

En Perú, la empresa Acuisur emplea diversas microalgas como *Spirulina platensis* o *Chlorella vulgaris*. Entre sus productos se encuentran microalgas en polvo para la alimentación de camarones y peces; y compuestos encapsulados a base de las microalgas *Spirulina*, *Chlorella* y macroalgas *Chondrus* y *Porphyra*. Comercializan Suiginori para el consumo directo en ensaladas. (Martínez y Ramírez, 2018).

En Ecuador, la empresa AndesSpirulina C.A. fundada en 2005, se encarga del cultivo y procesamiento de la microalga *Spirulina sp.* Emplean un sistema abierto basado en estanques dentro de invernaderos que protege el cultivo de contaminación externa y proporciona un mayor control sobre las condiciones climáticas dado que se encuentra en la región de la Cordillera Andina. Todos sus productos son a base de *Spirulina sp.* y lo comercializan bajo las formas de polvo, tableta, microcápsula y lámina para ser empleados como suplemento alimenticio. (Martínez y Ramírez, 2018).

6. Conclusiones

La investigación sobre Técnicas de cultivo de microalgas con capacidad de producir Ácidos Grasos son bastantes extensas y profundas, pero para esto se necesita enfocarse en sistema de producción de ciertas especies de microalgas las cuales nos dan mejor producción de Ácidos grasos. En la actualidad ya existe una producción mundial de este microorganismo la misma que ha demostrado ser eficiente en bajos costos en ciertos sistemas. Si tomamos en cuenta la geografía que presenta América Latina y los recursos naturales, algunos países pueden desarrollar varias toneladas de biomasa para la posterior producción de Ácidos Grasos os cuales pueden ser eyectados en otros alimentos para el consumo de las personas de esta manera se aprovechara este componente a base de microalgas. El sistema cerrado ha sido muy usado para la explotación de microalgas por personas interesadas con esta matriz productiva, debido a su facilidad para poder

controlar ciertos factores que son favorables en el desarrollo del microorganismo; por otra parte, en los sistemas abiertos son más propensos a contaminaciones ya que están en contacto con el medio que lo rodea por esta razón los resultados de Ácidos grasos son menos eficientes.

Es de suma importancia este producto que se obtiene de las microalgas ya que brindan muchos beneficios a las personas como ayuda a la agudeza visual, mejor habilidad cognitiva para agregar información, ayuda al sistema cardiovascular, al sistema inmunológico como coadyuvantes en el tratamiento del SIDA, sobre el sistema nervioso. Existe diferentes métodos de extraer Ácidos Grasos incluso algunas de estas metodologías pueden extraer más del 98% mediante una mezcla específica; los métodos más utilizados son: Extracción con solvente químico, Extracción asistida por microondas, Extracción mediante ultrasonido, Extracción mediante fluidos supercríticos, Auto clavado, Shock Osmótico, Extracción Enzimática; los ácidos grasos tienen una gran acogida por que mantienen una función importante como macro y micro nutrientes en la dieta humana; debido a la presencia de su alto contenido proteico y lipídico conformados por ácidos grasos esto hace atractivo a muchas áreas en especial a la industria a gran escala gracias a su facilidad y factibilidad que presentan estos microorganismos.

ORCID

J. Sánchez  <https://orcid.org/0000-0001-9951-6944>

J. Loaña  <https://orcid.org/0000-0002-8180-1007>

M. Agualongo  <https://orcid.org/0000-0002-2550-2301>

K. Espinoza  <https://orcid.org/0000-0002-7294-9608>

Referencias bibliográficas

- Arias, P.M.; Martínez R.A.; Cañizares, V.R. 2016. Producción de biodiesel a partir de microalgas: parámetros del cultivo que afecta la producción de lípidos. *Acta Biológica Colombiana* 18(1): 43-68.
- Castro, G.M. 2002. Ácidos grasos omega 3: beneficios y fuentes. *Interciencia* 27(3): 128-136.
- Céron, G.M. 2013. Producción de microalgas con aplicaciones nutricionales para humanos y animales. *Cuadernos de estudios agroalimentarios* 1(5): 83-101.
- Contreras, F.C.; Peña, C.J.; Flores, C.L.; Cañizares, V.R. 2013. Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas. *Interciencia* 28(8): 450-456.
- Fernández, F. 2019. Obtención de concentrado de lípidos polarenriquecidos en ácidos grasos poliinsaturados a partir de microalgas. Tesis de grado, Universidad de Almería. España.
- Fernández, F.; Sevilla, J.; Grima, E. 2018. Contribución de las microalgas al desarrollo de la bioeconomía. *Mediterraneo Económico* 31: 309-332.

- Garcá, R.J.; Pavía, G.M.; Garcá, S.T.; Chiribella, M.J.; Serrano, A.A. 2016. Principios de biotecnología y bioingeniería en el cultivo de microalgas: importancia, problemas tecnológicos, tipos y sistemas de cultivos, crecimiento, factores limitantes, selección, aislamiento, escalado y caracterización bioquímica. *Nereis. Revista Iberoamericana Interdisciplinaria de Métodos, Modelización y Simulación* 9(1): 115-129.
- García, J.L.; Galán, B. 2018. Presente y futuro del cultivo de las microalgas para su uso como superalimentos. *Revista Mediterráneo económico* 31: 333-350.
- García, M.J.; López, E.J.; Medina, F.D.; García, L.N.; Fimbres, O.D. 2020. Efecto de estrés por nitrógeno y salinidad en el contenido de B-caroteno de la microalga *Dunaliella tertiolecta*. *Biotecnica* 22(2): 1665-1456.
- Gómez, L.L. 2007. Microalgas: aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista cubana de Química* 19 (2): 3-20.
- Gómez, L.M.; Tambara, H.Y.; Alvarez, H.I. 2012. Productividad de lípidos y composición de ácidos grasos de cinco especies de microalgas. *Revista Investigación y Saberes* 1(2): 37-43.
- González, A.; Vatchesla, K.; Guzmán, A. 2009. Desarrollo de métodos de extracción de aceites en la cadena de producción de biodiesel a partir de microalgas. *Revista Prospectiva* 7(2): 53-60.
- González, C.A. 2017. Cultivos de microalgas a gran escala: sistemas de producción. *Revista ADN Agro* 18: 1-14.
- Hernández, N.L.; Quintana, C.M.; Morris, Q.H. 2000. Obtención de glicerol a partir de la microalga *Dunaliella Salina*. *Revista cubana de farmacia* 34(2): 134-137.
- Hernández, P.A.; Labbé, J. 2014. Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía. Chile* 49(2): 157-173.
- López, E.P. 2019. Aplicación de métodos computacionales a la monitorización y el cosechado de cultivos de microalgas. Editorial Departamento de ingeniería Química y de Materiales. España.
- Martínez, A.L.; Ramírez, M.L. 2018. Estado actual de las empresas productoras de microalgas destinadas a alimentos y suplementos alimenticios en América Latina. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 8(2): 130-147.
- Martínez, A.L.; Ramírez, M.L. 2017. Estado actual de las empresas productoras de microalgas destinadas a alimentos y suplementos alimenticios en América Latina. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 8(2): 130-147.
- Martínez, M. 2017. Síntesis de lípidos de la microalga *Nannochloropsis oculata* para su uso potencial en la producción de biodiesel. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33: 85-91.
- Moronta, R.; Morales, E. 2006. Respuesta de microalgas *Chlorella sorokiniana* al pH, salinidad y temperatura en condiciones axénicas y no axénicas. *Revista Fac. Agron* 23(1): 28-43.
- Rendon, C.L.; Ramírez, C.L.; Velez, S.Y. 2015. Microalgas para la industria alimenticia. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín. Colombia.
- Rodríguez, S.A. 2017. Evaluación de métodos de extracción de aceite de microalgas para la producción de biodiesel. Editorial Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca. Ecuador.
- Salazar, E. 2012. Evaluación de métodos de extracción de aceites de microalgas para producción de biodiesel. Editorial Universidad de Piura. Perú.
- Sánchez-Torres, H.; Juscamaita-Morales, J.; Vargas-Cárdenas, J.; Oliveros-Ramos, R. 2018. Producción de la microalga *Nannochloropsis oculata* (Droop) Hibberd en medios enriquecidos con ensilado biológico de pescado. *Ecol. apl.* 7(1-2): 149-158.
- Vázquez, N.; Jaramillo, M. 2018. Centro de producción de microalga spirulina en Hermosillo. Repositorio Institucional UNISON. Sonora. México.
- Valenzuela, A.; Sanhueza, J.; Venenzuela, R. 2015. Microalgae: A renewable source for obtaining omega-3 long-chain fatty acids for human and animal nutrition. *Revista chilena de nutrición* 42(3): 306-310.