



Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 8 (2): 130-147. Julio-Diciembre, 2017  
<https://sites.google.com/site/1rvcta>

ISSN: 2218-4384 (versión en línea)



Asociación RVCTA, 2017. RIF: J-29910863-4. Depósito Legal: ppi201002CA3536.

Revisión

## **Estado actual de las empresas productoras de microalgas destinadas a alimentos y suplementos alimenticios en América Latina**

Current status of microalgae producers companies for food and food supplements in  
Latin America

Luis Daniel **Martínez Angulo**, Luis Guillermo **Ramírez Mérida**\*

Centro de Biotecnología Aplicada (CBA), Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología (FACYT), Universidad de Carabobo (UC) Campus Bárbula. Municipio Naguanagua, Estado Carabobo, Venezuela.

\*Autor para correspondencia: [luisguillermolgrm@gmail.com](mailto:luisguillermolgrm@gmail.com)

Aceptado 07-Enero-2018

### **Resumen**

Las microalgas resultan de interés en la producción de alimentos y suplementos debido a su riqueza de nutrientes. Esta revisión tiene como objetivo recopilar información actual sobre el estado de empresas de mediana y gran escala, productoras de biomasa y bioproductos microalgales comercializados como alimento y suplemento alimenticio en América Latina, con el fin de conocer el nivel de desarrollo en la región. El país con mayor cantidad de empresas productoras de alimentos a base de microalgas es Brasil (6), seguido de México, Perú, Chile (2), Ecuador y Cuba (1). El sistema de cultivo más común empleado por empresas latinoamericanas en el comercio de microalgas es el abierto. El organismo más utilizado en productos alimenticios a base de microalgas en Latinoamérica corresponde al género *Spirulina*. Se ha investigado sobre la composición bioquímica de más de 10 especies de microalgas, a escala de laboratorio. Las microalgas son fuente importante de proteínas y de ácidos grasos del tipo omega-3, así como de vitaminas y minerales. Se evidencia el potencial que tiene Latinoamérica para el desarrollo de nuevas tecnologías de sistemas de cultivo y productos alimenticios a base de microalgas, como alimento para la población como para la exportación. Sin embargo, se requiere de un gran esfuerzo tanto del sector privado como del público para alcanzar los fines.

**Palabras claves:** *Chlorella*, empresa productora, Latinoamérica, productos a base de microalgas, *Spirulina*, suplemento alimenticio.

### Abstract

Microalgae are of interest in the food and supplements production due to their richness of nutrients. This review aims to collect current information on the status of medium and large scale companies, producers of biomass and microalgal bioproducts marketed as food and food supplement in Latin America, in order to know the level of development in the region. The country with the largest number of food-producing companies based on microalgae is Brazil (6), followed by Mexico, Peru, Chile (2), Ecuador and Cuba (1). The most common cropping system used by Latin American companies in the microalgae trade is open system. The organism most used in food products based on microalgae in Latin America corresponds to the genus *Spirulina*. The biochemical composition of more than 10 species of microalgae has been investigated on a laboratory scale. Microalgae are an important source of proteins and omega-3 fatty acids, as well as vitamins and minerals. The potential of Latin America for the development of new technologies for cropping systems and food products based on microalgae is evident, as a food for the population as well as for export. However, it requires a great effort from both the private sector and the public to achieve the ends.

**Key words:** *Chlorella*, food supplement, Latin America, microalgae-based products, producer company, *Spirulina*.

### 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. El crecimiento demográfico combinado con recursos cada vez más limitados de tierra cultivable y agua dulce ha dado lugar a la necesidad de fuentes alternativas de proteínas. Las macroalgas (algas marinas) y las microalgas son ejemplos de “cultivos” poco explotados. Las algas no compiten con los cultivos alimentarios tradicionales por espacio y recursos (Bleakley y Hayes, 2017).

Las microalgas son un grupo de organismos microscópicos que poseen clorofila y otros pigmentos fotosintéticos que le permiten realizar fotosíntesis oxigénica. Este término abarca tanto organismo procarióticos, como es el caso de las cianobacterias, y de organismos eucarióticos pertenecientes principalmente a la división Chlorophyta, Glaucocystophyta, Euglenophyta, Chlorarachniophyta, Bacillariophyta, Haptophyta, Cryptophyta,

entre otras. Es importante destacar que el término microalga carece de valor taxonómico alguno. Las microalgas pueden desarrollarse en una amplia variedad de entornos, abarcando tanto el agua dulce de ríos, lagos, arroyos y agua salada. Su presencia no está limitada solo al agua puesto que también pueden encontrarse en ambientes terrestres (Ramírez-Moreno y Olvera-Ramírez, 2006; Brasil *et al.*, 2017).

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 la fabricación de biocombustibles, debido a su capacidad para almacenar energía química en forma de lípidos, los cuales pueden ser usados en la producción de biodiesel (Hernández *et al.*, 2014). De igual forma, son fuente de sustancias antimicrobianas inclusive con acción contra organismos resistentes y poseen gran potencial para ser integradas en nanofibras y nanotubos ayudando a obtener moléculas antimicrobianas capaces de resolver problemas de contaminación e infección no resueltos por antibióticos comunes (Ramírez-Merida *et al.*, 2015a).

Las microalgas se han convertido en una alternativa para satisfacer y complementar la alimentación humana la cual se encuentra en constante expansión. Se ha considerado a las microalgas como una alternativa alimenticia pues destacan por su alto poder nutritivo y bajo nivel de calorías y grasas; posee ácido linoleico,  $\alpha$ -linoleico, carbohidratos y son una fuente de proteínas ricas en aminoácidos esenciales. Se destacan por ser depurativas, puesto que poseen ácido algénico, que ayuda en la eliminación de sustancias tóxicas del cuerpo, tales como arsénico, plomo, mercurio y otras toxinas depositadas en la sangre (Valdés y Blanco-Soto, 2008). Las microalgas presentan concentraciones elevadas de proteínas, lo que evidencia un gran potencial para su uso en la elaboración de alimentos y suplementos nutricionales. Son comercializadas en forma de tabletas, cápsulas y polvo para la alimentación humana como alimento natural o suplemento alimenticio (Priyadarshani y Rath 2012; Hernández-Pérez y Labbé, 2014). Han sido incorporadas en pastas, bocadillos, dulces en barra y en bebidas, para fortificación de alimentos o como fuente de colorante natural (Spolaore *et al.*, 2006).

Su uso en la dieta del hombre se remonta a hace varios siglos, no solo Asia o África, también en América por parte de algunas tribus indígenas especialmente los aztecas, estos cultivaban cianobacterias (*Spirulina platensis*, *Spirulina maxima*) en el lago Texcoco, el cual rodeaba a su capital Tenochtitlan. La microalga se extraía del lago, se prensaba mediante telas para expulsar el agua, luego era colocada sobre la arena para que se secase al sol. Con esta masa se realizaban pequeños pasteles que eran vendidos en el mercado de la ciudad. Este alimento era conocido como 'tecuilatli' (Habid *et al.*, 2008; García *et al.*, 2017).

Entre las ventajas del cultivo de microalgas destaca la alta tasa de replicación, lo que permite obtener mayores rendimientos anuales de biomasa. Así como la utilización de

la energía solar para producir materia orgánica. Del mismo modo se puede modificar la producción de determinadas sustancias bioquímicas por parte de las microalgas a través de la modificación de la composición del medio de cultivo o de las condiciones ambientales. Además, las microalgas bajo ciertas condiciones fisicoquímicas, tienen la capacidad de acumular elevadas concentraciones del compuesto de interés biotecnológico, tal como proteínas, lípidos, almidón, glicerol, pigmentos o biopolímeros. Del mismo modo su cultivo es sencillo, requiriendo de pocos cuidados e incluso se puede emplear el agua que no es apta para el consumo humano (Gómez-Luna, 2007; Medina-Jasso *et al.*, 2012).

La riqueza de los nutrientes presentes en las microalgas, así como su alta tasa de crecimiento que permite obtener grandes cantidades de biomasa en poco tiempo, ha provocado creciente interés por parte del sector privado, convirtiendo a las algas en una alternativa para satisfacer la demanda de alimento a nivel mundial. El cultivo basado en algas constituye el tercero más grande en acuicultura, produciendo 19000 toneladas de biomasa seca con un valor anual de US\$ 5700 millones (Langholtz *et al.*, 2016). Aunque las exportaciones de productos a bases de microalgas se encuentran lideradas por empresas asiáticas, en América Latina existen empresas que comercializan la biomasa y bioproductos de microalgas de diversas especies en varias presentaciones, polvo, cápsulas y comprimidos para ser utilizados como alimentos y suplementos alimenticios. Algunas de estas empresas se ubican en México, Brasil, Cuba y Chile, sus productos son desarrollados tanto para el consumo interno de la población como para la exportación (Ramírez-Moreno y Olvera-Ramírez, 2006; Viganí *et al.*, 2015).

Esta revisión tuvo como objetivo recopilar información actual sobre el estado de empresas de mediana y gran escala, productoras de biomasa y bioproductos microalgales

destinados al consumo alimenticio en la región de América Latina, con el fin de conocer el nivel de desarrollo de esta forma de alimentación en la región.

## CONTENIDO

- 1.- Sistemas de cultivo
- 2.- Compuestos bioactivos y acción nutracéutica
- 3.- Productos alimenticios y empresas

## REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 1.- Sistemas de cultivo

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. De manera que la meta de las nuevas tecnologías debe enfocarse en aumentar la producción de biomasa mediante el diseño de nuevas configuraciones de fotobiorreactores y empleo de sustratos económicos, aunque en la actualidad no hay consenso sobre los criterios para el desarrollo a gran escala de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas (Jacob-Lopes *et al.*, 2015; Ramírez-Mérida *et al.*, 2015b).

En el sistema de cultivo abierto, el mayormente utilizado es el estanque ‘raceway’. Estos estanques suelen tener una profundidad promedio de 30 cm. La mezcla de los nutrientes se realiza mediante el uso de brazos mecánicos o ruedas de paletas que permiten la difusión del CO<sub>2</sub> a lo largo del estanque. La gran ventaja de este sistema son los bajos costos de mantenimiento y operatividad de la planta de cultivo, es por ello que este sistema se usa principalmente en la obtención de biomasa seca de microalgas. Mientras que la principal

desventaja es que se encuentra a cielo descubierto, lo que dificulta el control de la temperatura, provocando que esta dependa de las condiciones climáticas de la zona (Ramírez-Mérida *et al.*, 2013; Enzing *et al.*, 2014). Asimismo, hace al sistema susceptible a la invasión de organismos parásitos o depredadores de las microalgas, incluso pueden ser invadidos por otras especies de algas que compiten y pueden desplazar a las microalgas de interés industrial ocasionando graves pérdidas monetarias. La concentración de biomasa y por ende la productividad volumétrica es inferior a consecuencia que la luz incide en menor medida sobre el fondo del estanque y el sistema de circulación a veces no es suficiente para distribuir los nutrientes. Todo esto trae como consecuencia que al momento de desarrollar sistemas de cultivo abierto se elijan zonas de temperaturas cálidas y elevada intensidad de luz solar (Contreras-Flores *et al.*, 2003; Ramírez-Mérida *et al.*, 2013; Enzing *et al.*, 2014). Lo que hace a los países tropicales, y por tanto de gran parte de América Latina, zonas ideales para el desarrollo de estos sistemas.

En el otro extremo se encuentran los sistemas de cultivos cerrados, en el que se evita el contacto entre las microalgas y el medio externo. Entre los principales modelos se encuentran los fotobiorreactores tubular horizontal o vertical, elaborados de poliacrilamida, policloruro de vinilo o vidrio que permiten la entrada de luz y evitan la entrada de agentes externos. También se han empleado bolsas de polietileno y paneles planos como sistemas de cultivo. Sin embargo, los recientes diseños se basan en bio-domos que protegen el estanque donde se encuentran las microalgas incluso se ha experimentado con el uso de bolsas flotantes colocadas en el océano (Enzing *et al.*, 2014; Pires *et al.*, 2017). Los sistemas cerrados también se conocen como fotobiorreactores, y tienen múltiples ventajas sobre los sistemas abiertos. Entre las ventajas destacan la reducción o completa eliminación

de la contaminación por agente externos, lo que permite el cultivo de especies de microalgas que de emplearse sistemas abiertos serían fácilmente depredadas, asimismo estos sistemas permiten un mayor control sobre las condiciones de cultivo, tales como pH, concentración de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, temperatura, nutrientes, entre otras. También se reduce el nivel de evaporación y por tanto de la cantidad de agua empleada. Todas estas ventajas permiten obtener una mayor concentración de células y en consecuencia mayor productividad de biomasa en comparación a los sistemas abiertos. El mayor control sobre medio cultivo permite estimular la producción de compuestos específicos, favoreciendo su acumulación trayendo como consecuencia un aumento del rendimiento de la producción de la sustancia de interés. Esto hace a los fotobiorreactores un sistema de cultivo ideal para obtener bioproductos de alto valor agregado consecuencia del mayor control que ofrece al sistema de cultivo; sin embargo, los fotobiorreactores tienen la desventaja de tener costos elevados tanto para el mantenimiento como el diseño y construcción (Ramírez-Mérida *et al.*, 2013; Enzing *et al.*, 2014). Esto resulta un obstáculo para empresas o centros de investigación con escasos recursos, por lo que su uso se encuentra poco extendido. Se usa principalmente en regiones cuyas condiciones ambientales como temperatura, fotoperiodo e intensidad de luz no son las óptimas para el cultivo de algas en sistemas abiertos.

Al momento de diseñar un sistema de cultivo de microalgas independientemente sea tipo cerrado o abierto, se deben tomar en cuenta algunos factores claves para optimizar la producción de biomasa. Se debe velar por una correcta circulación de los nutrientes en el sistema de cultivo. Asimismo, se debe evaluar la relación superficie volumen, una mayor relación superficie/volumen permite el aumento de la concentración celular. De esta manera, al momento de diseñar sistemas de cultivo se prefiere reducir el diámetro de los fotobiorreactores

tubulares y el grosor de los paneles planos. Además, se debe evitar gradientes de pH y temperatura en el reactor, diseñar fotobiorreactores con configuraciones adecuadas para que a escala industrial puedan asegurar un adecuado suministro de CO<sub>2</sub>, y eliminar el oxígeno generado por la fotosíntesis debido a su carácter tóxico para el cultivo (Ramírez-Mérida *et al.*, 2013; Ramírez-Mérida *et al.*, 2015c; Pires *et al.*, 2017).

En el caso de la luz, esta toma un papel determinante consecuencia de que las microalgas son organismos fotosintéticos, ya sea la luz solar o una fuente artificial, se debe cuidar que la luz irradie todo el sistema, pues en caso de haber sombras, las microalgas no se pueden desarrollar disminuyendo la biomasa producida. Por otro lado, si las lámparas se encuentran muy cerca del cultivo generan exceso de calor que afecta la producción de microalgas, por lo que actualmente se emplean sistemas de luz LED; a pesar de ello, estas tecnologías son costosas por lo que no siempre se pueden aplicar. Este factor es determinante pues si la radiación lumínica es insuficiente disminuye la tasa de crecimiento del cultivo, mientras que si la luz se excede genera fotoinhibición, provocando daño e inactivación de los fotosistemas microalgales (Ramírez-Mérida *et al.*, 2013; Pires *et al.*, 2017).

La gran mayoría de los países latinoamericanos tienen la ventaja de ubicarse entre los trópicos, esto proporciona como ventaja fotoperiodos medios de 12 h de luz y 12 h de oscuridad. Asimismo, la intensidad e inclinación de la luz solar es mayor que en las regiones ubicadas fuera del trópico. Otra ventaja es que la temperatura media anual se ubica entre 15 y 30 °C de acuerdo a la zona (lo que proporciona temperaturas óptimas para el cultivo de cepas mesófilas, usadas principalmente en procesos industriales). La amplia superficie marítima de la región provoca que las precipitaciones tengan carácter periódico y abundante (Magrin, 2015). De igual modo, una mayor superficie marítima puede ser

aprovechada a través del bombeo de agua desde el mar hasta los sistemas de cultivo, con un previo acondicionamiento o corrección de sales. Son estas características, las que hacen de Latinoamérica una región ideal para el cultivo de microalgas puesto que ayudan a disminuir los costos de los sistemas de cultivo relacionados con el uso de fuente de luz artificial o tecnologías para el control de la temperatura; además de contar con un suministro de agua elevado.

## **2.- Compuestos bioactivos y acción nutracéutica**

El uso de microalgas en la alimentación está ampliamente extendido en los países asiáticos, pues en su tradición las algas han formado parte de su gastronomía. Países como China, Indonesia y Corea del Sur se ubican en los primeros 3 lugares como países exportadores de productos a base de alga a nivel mundial. Desde hace más de 50 años investigaciones realizadas en Europa y Estados Unidos evidenciaron el valor nutricional de las microalgas promoviendo su uso como fuente de alimentos. La Unión Europea adoptó una estrategia que lleva por título: “Innovación para un crecimiento sustentable: Bioeconomía para Europa”. Esta estrategia propone un enfoque integral para aumentar las producciones sostenibles y limitar los impactos negativos en el medio ambiente. Mientras que Estados Unidos lidera el mercado mundial, en cuanto al número de empresas relacionadas en la producción de microalgas y purificación de sustancias de interés industrial y biotecnológico (Vigani *et al.*, 2015). En el caso de América Latina la industria de alimentos basados en microalgas ha tenido un menor desarrollo, de manera que las investigaciones relacionadas con el valor nutricional de las algas han sido lideradas principalmente por instituciones universitarias y algunas empresas. Sin embargo, en Brasil ha sido regularizado y aprobado por parte de los órganos competentes del estado

brasileño la comercialización y consumo de *Spirulina*, siempre que el producto final al que se haya añadido sea debidamente registrado (ANVISA, 2017).

Estudios recientes sugieren el uso de microalgas como fuente renovable de ácidos grasos de cadena larga omega-3 para la alimentación humana. Esta sustancia es un nutriente importante por sus funciones antiinflamatorias, neuroprotectoras, antiapoptóticas e inmunoprotectoras. Entre los ácidos grasos omega-3 destaca el ácido docosahexaenoico (DHA). Este ácido no puede ser sintetizado por el cuerpo humano, por tanto debe consumirse ya preformado en la dieta. El DHA se obtiene solo de macroalgas, microalgas y animales de origen marino (Valenzuela y Sanhueza-C., 2009; Valenzuela-B. *et al.*, 2015).

El DHA se obtiene principalmente de la pesca, sin embargo, como consecuencia de la alta demanda ha disminuido la disponibilidad de este rublo en algunos países de América Latina, trayendo consigo el aumento de su costo de venta al público, y por tanto que una menor cantidad de personas puedan acceder a este nutriente importante. Actualmente se ha hecho posible el cultivo a gran escala de microalgas en fotobiorreactores, gracias a su alta tasa reproductiva y la aplicación de nuevas tecnologías en sistemas de cultivo. Por tal motivo, las microalgas son una fuente factible para satisfacer la demanda nutricional de DHA para la población que no pueda acceder a recursos más costosos como el pescado. Microalgas como *Schizochytrium* sp., *Phaeodactylum tricornutum* o *Isochrysis galbana*, acumulan ácido eicosapentanoico (EPA) y DHA en forma de triglicéridos en el citoplasma, mientras que en los retículos y en la membrana citoplasmática lo almacenan en forma de fosfolípidos. Esta característica resulta interesante desde el punto de vista nutricional, puesto que cuando los ácidos grasos son aportados en forma de fosfolípidos, su biodisponibilidad en el sistema digestivo es mayor. Por otro lado, los fosfolípidos además

de suministrar ácidos grasos omega-3, también aportan colina, inositol, serina, así como otros nutrientes (Valenzuela y Sanhueza-C., 2009; Valenzuela-B. *et al.*, 2015).

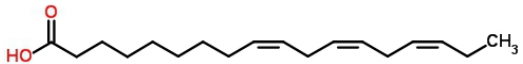
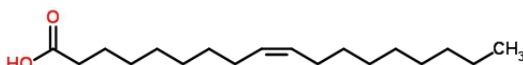
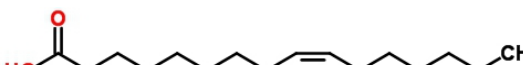
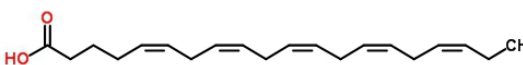

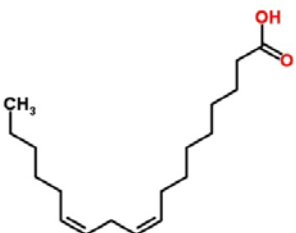
Aparte del DHA, un estudio realizado en Venezuela ha determinado la presencia de ácido palmítico, esteárico, oleico, linoleico y linolénico en microalgas del género *Dunaliella*, estimándose que la cantidad de lípidos osciló entre 7,24 % (*D. viridis* Araya) y 10,75 % (*D. salina* Coche) (Vásquez-Suárez *et al.*, 2007). Tejeda *et al.* (2015) determinaron el perfil de ácidos grasos presentes en *D. salina* y *Chlorella* sp., diagnosticando que el ácido más abundante fue el ácido linolénico seguido por los ácidos oleico y linoleico. Tanto el ácido linoleico como el linolénico son esenciales para la dieta del ser humano, puesto que el organismo no es capaz de sintetizarlos. En el caso del ácido oleico puede ser sintetizado, a partir de precursores dietéticos, por el organismo (Coronado-Herrera *et al.*, 2006); sin embargo es importante suministrarlo como complemento pues es un importante precursor de otros ácidos grasos de importancia nutricional. En el Cuadro 1, se pueden observar el porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs, 'Polyunsaturated Fatty Acids') y ácidos grasos monoinsaturados (MUFAs, 'Monounsaturated Fatty Acids'), así como el principal compuesto lipídico encontrado en diversos géneros de microalgas de interés alimentario.

Las microalgas no son solo ricas en ácidos grasos, sino también de una amplia variedad de vitaminas. En Cuba se han realizado estudios con la especie *Chlorella* sp., donde se ha determinado que la biomasa de esta microalga posee vitamina A, C, B1, B2, B3 y biotina. Además, se ha evidenciado que la concentración de vitaminas es mayor en los cultivos autotróficos que en los mixotróficos, con excepción de las vitaminas B2, B3 y biotina cuyas concentraciones fueron más altas en cultivos mixotróficos. El contenido vitamínico en esta especie puede verse afectado: por el genotipo, el estadio del ciclo de

crecimiento, estado nutricional, intensidad de la luz, entre otros (Quintana-Cabrales *et al.*, 1999; Valenzuela-B. *et al.*, 2015). Asimismo, se ha logrado identificar en otras microalgas la presencia de vitaminas B1, B2, B3, B5, B6, B9, B12, biotina e inositol. A parte de las vitaminas, los polisacáridos encontrados en la pared celular de algunas microalgas poseen ésteres de sulfato que presentan propiedades antivirales y antioxidantes (Vaz *et al.*, 2016). Se ha determinado que variando los nutrientes del medio se puede aumentar o disminuir la concentración de carbohidratos en la biomasa, logrando concentraciones de hasta un 73 % (Ardila-Álvarez *et al.*, 2017). En condiciones de cultivo estándar se ha obtenido que la especie con mayor cantidad de carbohidratos es *Isochrysis galbana* (18,6 µg/mL). De igual modo se ha cuantificado la cantidad de proteínas en especies de microalgas de los géneros *Chlorella*, *Dunaliella*, *Isochrysis*, *Prorocentrum*, *Tetraselmis*, entre otros, y se obtuvo que la especie que posee la mayor concentración de proteínas fue *Tetraselmis gracilis* (33,6 µg/mL de cultivo). Además se evidenció que el patrón de aminoácidos fue semejante entre las especies de los distintos géneros; los mayores valores se encontraron para los ácidos glutámico y aspártico, y los menores para histidina y metionina. En el caso de la concentración de lípidos, las especies de diferentes géneros, no superaron el valor de 4,5 µg/mL determinado en *Isochrysis galbana* (Borges-Campos *et al.*, 2010).

Se ha investigado la calidad nutritiva de la microalga *Spirulina* determinándose que la microalga posee un 65 % de proteína, esta concentración de proteína es mayor que la encontrada en carne de res, pollo y pescado. También posee provitamina A (β-caroteno), tiamina, riboflavina, niacina, vitaminas B6, B12, B9, E, K, biotina, y ácidos fólico y pantoténico. El porcentaje de lípidos es de entre 4 y 7 %, e incluye ácidos grasos esenciales como el linoleico y γ-linolenico, así como ácidos grasos no esenciales (ácido palmítico,

**Cuadro 1.-** Principal compuesto lipídico encontrado en diversos géneros de microalgas de interés alimentario junto con el porcentaje de PUFA y MUFA.

Microalga	Principal compuesto lipídico	Estructura química	Porcentaje total de PUFA	Porcentaje total de MUFA	Ref.
<i>Chorella minutissima</i>	Ácido linolénico		33,6	26,3	1
<i>Dunaliella tertiolecta</i>			32,9	22,0	1
<i>Isochrysis galbana</i>	Ácido oleico		27,6	29,4	1
<i>Nannochloropsis oculata</i>	Ácido palmitoleico		26,8	35,3	1
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	EPA		41,9	19,8	1
<i>Skeletonema costatum</i>	Ácido miristoleico		18,7	43,8	1
<i>Spirulina</i> sp.	Ácido linoleico		38,24	11,46	2

PUFA: Ácido graso poliinsaturado. MUFA: Ácido graso monoinsaturado. EPA: Ácido eicosapentaenoico. Ref.: Referencias. 1: Borges-Campos *et al.* (2010). 2: Romero-Maza *et al.* (2011).



ácido palmitoleico). Su contenido en hierro es 60 % mejor absorbido que el sulfato ferroso y otros complementos, lo que la hace una fuente adecuada para las personas que sufren de anemia. Asimismo, posee calcio, cromo, cobre, magnesio, manganeso, fósforo, potasio, sodio y zinc (Sánchez *et al.*, 2003). Esto convierte a *Spirulina* en una de las principales algas utilizadas como materia prima para la preparación de alimentos.

Compuestos fenólicos en las microalgas de las especies *Chaetoceros muelleri*, *Thalassiosira weissflogii*, *Dunaliella tertiolecta* y *Tetraselmis chuii* se han determinado con éxito. Los compuestos fenólicos están relacionados con el efecto de la iluminación, puesto que han sido desarrollados como defensa antioxidante por parte de las microalgas hacia la radiación UV (Gómez *et al.*, 2016). Dichos compuestos fenólicos han sido investigados debido de su amplio beneficio para la salud humana como antioxidantes y en la prevención de la inflamación crónica, enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes (Acosta-Estrada *et al.*, 2014). Dado que los compuestos fenólicos forman parte de los mecanismos de defensa de las microalgas contra la radiación, estos son acumulados en respuesta al estrés por luz. Para las especies arriba citadas se determinó la cantidad de fenoles totales, el mayor contenido fue para *D. tertiolecta* (1,54 mg equivalentes de ácido gálico/g peso seco) y el menor correspondió a *C. muelleri* (0,32 mg equivalentes de ácido gálico/g peso seco). Estadísticamente, hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las especies de microalgas; y al contrastar las condiciones de iluminación, aunque se apreció una tendencia a ser ligeramente más alto en condiciones de mayor iluminación, no hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en cuanto al contenido de fenoles totales. Entre los compuestos fenólicos sintetizados por las microalgas se encuentran los del tipo flavonoides, ácidos benzóico y cinámico, y compuestos antioxidantes como carotenos (Gómez *et al.*, 2016).

Estudios desarrollados en Venezuela, han evaluado la composición bioquímica de la microalga *Skeletonema costatum* en función de 2 medios de cultivo. Este microorganismo fue aislado de la costa nororiental de ese país con el fin de usar algas autóctonas para el desarrollo de compuestos nutricionales. Se obtuvo que esta microalga, en valores máximos, posee 45,2 % de proteína, así como 14,39 % y 18,34 % de lípidos y carbohidratos, respectivamente en términos de biomasa seca. Del mismo modo se evaluó la concentración de ácidos grasos evidenciándose la presencia de ácido palmítico, mirístico, palmitoleico y EPA (Vásquez-Suárez *et al.*, 2010). De igual modo, investigadores venezolanos y brasileños han recopilado información referente a varios compuestos bioactivos extraídos de diferentes microalgas. Mostrando que las especies *Phaeodactylum tricornutum*, *Porphyridium cruentum*, *Cryptocodinium*, *Pavlova lutheri* y *Chlorella* sp. poseen ácidos grasos poliinsaturados, con función nutracéutica, antimicrobiana, antiinflamatoria, antiagregante, vasoconstrictor plaquetario y de retraso del envejecimiento. Mientras que para otras especies se evidenció la presencia de luteína, ácido okadaico, violaxantina, ficocianina los cuales poseen, respectivamente, actividad como antioxidante, antifúngico, anticancerígeno y antiinflamatorio. Por otro lado, en términos generales, el contenido de proteínas en microalgas es elevado, la mayoría de las especies presentan cantidades por encima del 50 % de proteína en peso seco y poseen secuencias de aminoácidos que forman péptidos bioactivos con gran potencial terapéutico en la salud humana, pues ayudan a proteger al organismo del deterioro por radicales libres y especies reactivas de oxígeno. Con relación a la presencia de esteroides, los cuales son compuestos lipídicos bioactivos, su importancia radica en el hecho de ser precursores de otras moléculas bioactivas como las vitaminas; además, han demostrado que reducen el colesterol LDL ('low-density lipoprotein'). Poseen polisacáridos, que pueden ser considerados como fibras dietéticas, con

diferentes efectos fisiológicos, como mejorar el crecimiento de la microbiota intestinal, promover el movimiento de sustancias a través del sistema digestivo y aumentar la sensación de saciedad (Ramírez-Mérida *et al.*, 2015d).

### 3.- Productos alimenticios y empresas

Tras los últimos 50 años 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. Sin embargo, mientras Estados Unidos, 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 (Ramírez-Moreno y Olvera-Ramírez, 2006; Vigani *et al.*, 2015). En el Cuadro 2, se presenta una lista de empresas activas que desarrollan productos alimenticios a base de microalgas con actividad en América Latina.

Algunas de las empresas que se encuentran funcionando en Latinoamérica son: Genix ubicada en Cuba, y se encarga de producir suplementos alimenticios y cosméticos basados en microalgas (Ramírez-Moreno y Olvera-Ramírez, 2006).

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 maxima*. Entre sus diferentes presentaciones destaca la venta de *S. maxima* en tabletas que se emplea como suplemento alimenticio; en polvo para complementar alimentos como bebidas de

frutas, batidos, yogur u otros; en tabletas enriquecida con lecitina de soya u omega-3. Es importante destacar que esta empresa ha hecho de dominio público el sistema de cultivo empleado en la producción de *S. maxima*; el cual es un sistema de cultivo abierto y se ubica en el desierto de Atacama donde se garantiza un suministro constante de luz. El pH utilizado es básico, se ubica en un intervalo de 9 a 10 y se empleada agua potable manteniendo la biomasa en constante agitación. La empresa Algae Fuels S.A. ubicada en Santiago, aunque se dedica principalmente al desarrollo de biocombustibles a base de microalgas, ha incluido entre sus proyectos el desarrollo de una harina de alto valor agregado a base de *Spirulina* sp. para el consumo humano. Sin embargo, este proyecto se encuentra aún en desarrollo y no se ha comercializado. Poseen 2 plantas de procesamiento, una ubicada en la Tirana con extensión de 0,5 ha que se encarga del cultivo de microalgas en agua dulce para la producción de productos nutraceuticos y proteínas para la alimentación animal y acuícola; y la otra ubicada en mejillones con extensión de 0,75 ha donde cultivan microalgas utilizando agua de mar y dióxido de carbono proveniente de fuentes fijas para la producción de biocombustible de segunda generación.

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. Emplean sistemas de cultivo cerrados tipo fotobiorreactores tubulares diseñados en forma vertical y con sistemas automatizados para controlar las condiciones del cultivo. Entre los productos de la empresa Biomex encargada de producir suplementos alimenticios basados en las microalgas *Spirulina* sp. y *Chlorella* sp. destacan la *Spirulina* sp. en cápsula, mezclas encapsuladas de *Chlorella* sp. y *Spirulina* sp.; además, compuestos encapsulados como lecitina de

**Cuadro 2.-** Algunas de las principales empresas productoras de suplementos alimenticios para humanos a base de microalgas en Latinoamérica.

Empresa	Productos	Ubicación	Microalgas cultivadas	Sistema de cultivo	Año de fundada
Genix	Suplementos alimenticios	Cuba	<i>Spirulina</i> sp.	Abierto	1996
Solarium Biotechnology S.A.	Suplementos alimenticios en cápsula 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>Chlorella</i> sp.	-	2005
Acuisur	Suplementos alimenticios para humanos y acuicultura en polvo, cápsula y Suginori	Perú	<i>Spirulina platensis</i> <i>Chlorella vulgaris</i>	Abierto	2010
Andexs Biotechnology SRL	Suplementos alimenticios en cápsula y polvo	Perú	<i>Spirulina platensis</i> <i>Haematococcus pluvialis</i> <i>Dunaliella salina</i> <i>Chlorella vulgaris</i> <i>Nostoc</i> sp.	Abierto	2007
AndesSpirulina C.A.	Suplementos alimenticios en capsula, 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
Ocean Drop LTDA ME*	Suplemento alimenticio en cápsulas	Brasil	<i>Spirulina</i> sp. <i>Chlorella</i> sp.	-	2016

\* No es una empresa productora de biomasa. Adquieren y procesan para comercialización.

soya, té verde, coenzima Q10 o shitake mezclados con biomasa de *Spirulina* sp. para ser empleado como suplemento alimenticio.

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 suginori para el consumo directo en ensaladas y se exporta principalmente a Europa y países asiáticos como China, Corea, Japón y Taiwán; en su elaboración se emplean soluciones alcalinas y orgánicas que dotan al alimento de diferentes colores. Andexs Biotechnology SRL se enfoca en el cultivo y producción de las microalgas *Spirulina platensis*, *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella salina*, *Chlorella vulgaris* y *Nostoc* sp. Produce polvo de *S. platensis* destinado al consumo humano como suplemento nutricional. *H. pluvialis* para obtener astaxantina comercializado en polvo y cápsulas para la industria alimentaria; actualmente presentan problemas para cultivar esta especie debido a que las condiciones climáticas se han vuelto desfavorables. Comercializan compuestos encapsulados a base de la microalga *Chlorella vulgaris* tanto para la industria alimentaria como acuícola. El sistema de cultivo empleado es del tipo 'raceway'.

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. El cultivo está sometido a aproximadamente 12 horas de luz, y se ubica a 2800 msnm. La planta cuenta con una extensión de 17000 m<sup>2</sup> con capacidad de producción de 3 toneladas anuales. 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.

En el caso de Brasil, la producción comercial está enfocada principalmente en la producción de biomasa para la alimentación de camarones y moluscos marinos. Dichas empresas están ubicadas en la zona del litoral de Santa Catarina y en los estados de la región noreste (Derner *et al.*, 2006). En su trabajo, de Alencar *et al.* (2011) hacen mención que emplean suplementos alimenticios a base de *Spirulina* de 6 marcas comerciales brasileñas para su investigación; lo que indica la existencia como mínimo de 6 empresas relacionadas en la producción de microalgas en ese país; sin embargo, aunque no mencionan el nombre de las empresas, este dato sirve como indicativo de que la producción de suplementos alimenticios basados en microalgas en Brasil se encuentra ampliamente extendida con un número de empresas mayor al registrado por Vignani *et al.* (2015) para países líderes en el mercado de las microalgas como China y Taiwán.

Entre las empresas productoras de microalgas en Brasil se encuentra la empresa Solazyme, filial de la empresa estadounidense TerraVia, parte de Corbion Biotech, Inc. La empresa Solazyme se ubica en São Paulo y fue fundada en 2003. Sus productos son fabricados a partir de microalgas autóctonas de la región de Brasil y son cultivadas en sistemas cerrados de tipo tanque de fermentación oscuro, mediante cultivos heterotróficos. Entre los bioproductos desarrollados por esta empresa se encuentran oleoquímicos, combustibles de tipo biodiesel, ingredientes alimentarios (suplementos proteicos y aceites), alimentos para la acuicultura y cosméticos. La producción se estima en 120 toneladas de biomasa al año. Entre otras empresas se encuentra Algae Biotecnologia, ubicada en Piracicaba en el Estado de São Paulo, comercializa pastas de harina y microalgas como aditivos o en sustitución de fuentes de proteínas y ácidos

grasos en las dietas de animales. Esta empresa anunció, próximamente la publicación de su línea de productos en salud y alimentación humana a base de microalgas. Otra empresa, Ocean Drop LTDA ME, ubicada en el estado de Santa Catarina y fundada en 2016, aunque no cultiva microalgas, adquiere y procesa la biomasa para comercializar suplementos alimenticios en forma de cápsula. Las especies empleadas para el desarrollo de sus productos son *Spirulina* sp. y *Chlorella* sp.

Aparte de los países anteriormente mencionados, no se logró determinar la presencia de empresas procesadoras de alimentos a base de microalgas en otros países de Latinoamérica; aunque, existen otras destinadas a la producción de energía y derivados. A pesar de ello, a nivel de universidades y centros de investigación, existe una mayor actividad relacionada con la propuesta de productos y suplementos alimenticios a base de microalgas. Se ha sugerido el consumo de aceites que tienen como origen a las microalgas mediante la encapsulación o microencapsulación de los ácidos grasos esenciales, pudiéndose consumir directo o suplementar otros alimentos como leche, cereales, productos de panificación, entre otros (Valenzuela y Sanhueza-C., 2009).

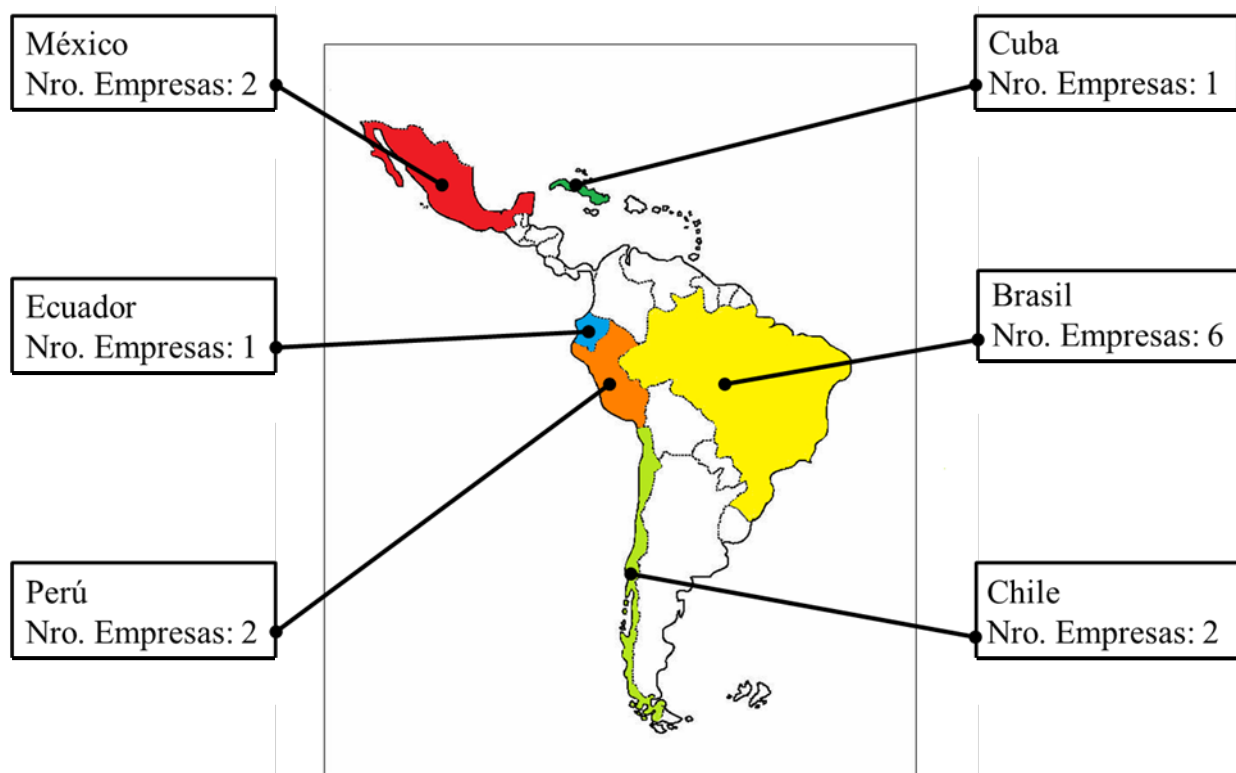
Investigadores de diversas universidades de Brasil han propuesto la producción de carotenoides a partir de microalgas de la especie *Phormidium autumnale* cultivadas con agua residual de la industria cárnica. Para esta especie y bajo esas condiciones de cultivo, se han separado de la biomasa 20 carotenoides, entre ellos,  $\beta$ -caroteno, zeaxantina, luteína y echinenona. Se ha estimado la posibilidad de producir 107902,5 kg de carotenoides por año a nivel industrial (Rodrigues *et al.*, 2014). Este proceso permite una reducción de costos de cultivo comparado con otros sistemas, lo que ayudaría a extender la comercialización de microalgas cuando el dinero es una limitación, así como el aprovechamiento de las aguas residuales.

Investigadores chilenos han desarrollado compuestos encapsulados a base de la microalga *H. pluvialis*, con el fin de suministrar un suplemento alimenticio rico en ácidos grasos y astaxantina; este compuesto es un carotenoide (xantófila) que posee propiedades antioxidantes, facilitando la eliminación de radicales libres. Sin embargo, durante el proceso de extracción de la astaxantina con solventes orgánicos, estos hacen susceptible la molécula a la degradación durante su procesamiento y almacenamiento físico. Mediante el uso de la encapsulación y usando métodos de instauración con oleorresinas, se logró un aumento significativo de la estabilidad de la astaxantina. La incorporación de aceite de girasol y aceite de girasol rico en ácido oleico, sirvieron de coadyuvante para aumentar el nivel de estabilidad de la astaxantina, demostrando la importancia de una correcta selección de las sustancias estabilizantes para mantener las propiedades nutricionales de los alimentos a base de microalgas durante el almacenamiento (Bustamante *et al.*, 2016).

Investigaciones enfocadas al cultivo de microalgas con fines de alimentación en la acuicultura, han sido desarrolladas con éxito entre investigadores cubanos y mexicanos sugiriendo el uso de harina de *S. platensis* como atrayente para alimentar al camarón *Litopenaeus schmitti*. La utilización de la harina de microalga se empleó debido a que existen alimentos balanceados que mejoran la producción de camarón pero que no resultan atractivos a la especie, por tanto, se pierde el alimento y disminuye la producción. Cuando se agregó la harina de microalgas, el 68 % de los camarones prefirió el alimento con microalgas. Esto representa una ventaja, pues los camarones al detectar más rápidamente el alimento, pueden consumir mayor cantidad antes que este sufra pérdidas, y de sus nutrientes consecuencia de la lixiviación; además, disminuye la contaminación del agua por acumulación de materia orgánica (Jaime-Ceballos *et al.*, 2007).

La Fig. 1 presenta la cantidad de empresas por país en América Latina, se puede observar que el país con mayor cantidad de empresas productoras de alimentos a base de microalgas es Brasil, esto se debe a que Brasil es una potencia económica en la región latinoamericana, con alto PIB y exportaciones, además de inversiones extranjeras en la región, lo que favorece el desarrollo de empresas que desarrollan productos novedosos traídos de los demás continentes, como es el caso de las microalgas. Este hecho se pone en evidencia al observar que Brasil posee empresas productoras de microalgas filiales de empresas de otros países como Estados Unidos. Por otro lado, se observa que México, Perú y Chile son los países que siguen a Brasil en mayor número de

empresas. Esto es consecuencia de que sus economías se ubican entre las mayores de la región latinoamericana, lo que permite que tengan el capital para invertir en nuevas tecnologías y alternativas alimentarias para satisfacer la demanda de la población consecuencia del menor acceso a fuentes de ácidos grasos como el pescado resultado de la sobreexplotación de pescado como es el caso de Perú y Chile. Mientras que la presencia de empresas productoras de microalgas en Cuba y Ecuador, podría ser consecuencia de una situación similar a la de Perú y Chile, pues ante la disminución de la cantidad de pescado y por tanto de una fuente de ácidos grasos, se favoreció el desarrollo de las microalgas como alternativa en la alimentación (Palazuelos-Manso, 2000; Valenzuela-B. *et al.*, 2015).



**Figura 1.-** Distribución de empresas de producción de alimentos a base de microalgas en América Latina.

## CONCLUSIONES

La industria de las microalgas en América Latina está menos desarrollada en comparación a Europa y Asia; cuenta con diversos factores que favorecen el uso de la misma para el desarrollo de la industria de alimentos, entre ellos destaca que la mayoría de los países latinoamericanos se encuentra en la zona tropical, lo que implica que sobre esta región incide una mayor cantidad de luz solar, con periodos de luz-oscuridad relativamente constantes a diferencia de países fuera del trópico. Este factor podría reducir la necesidad de emplear fuentes de luz artificial disminuyendo costos asociados al diseño de los sistemas de cultivo. Por otro lado, el pescado es la principal fuente de ácidos grasos en la región y cada año resulta más difícil acceder al recurso por la sobreexplotación de este alimento, de manera que las microalgas podrían ser la fuente alternativa de ácidos grasos en América Latina.

Las microalgas son una fuente importante de macro y micro nutrientes para la dieta del ser humano. Su elevada concentración de proteínas, así como la presencia de todos los aminoácidos esenciales, le convierten en fuente de alta calidad proteica. Poseen bajo nivel de lípidos, y los lípidos presentes están conformados principalmente por ácidos grasos omega-3. Son fuente rica de vitaminas A, C, E, K, B1, B2, B3, B5, B6, B9, B12, inositol, biotina y compuestos fenólicos. Poseen hierro, calcio, cobre, cromo, magnesio, manganeso, fósforo, potasio, sodio y zinc.

La mayoría de las empresas se ubica en la región sur de América Latina y Brasil es el país que lidera en cuanto al número de mercados. El sistema de cultivo predominante es el cultivo abierto, el cual podría estar relacionado con las condiciones climatológicas favorables de la región para el cultivo de estos organismos, así como el menor costo de procesos que este conduce. La microalga más común en los productos comerciales de las diversas empresas corresponde al género

*Spirulina*, consecuencia de su elevado porcentaje de proteínas, bajos niveles en lípidos y su riqueza en vitaminas y minerales, además de su relativamente fácil forma de cultivo que evita contaminación por ser una especie adaptada a pH básicos.

Resalta el potencial que tiene Latinoamérica para jugar un papel determinante en el mercado a base de microalgas. Sin embargo, se requiere de un mayor esfuerzo por parte del sector público y privado para el desarrollo de nuevas tecnologías de sistemas de cultivo y productos alimenticios que puedan competir con los del mercado asiático y europeo, de manera que la región se convierta en referencia a nivel mundial del uso de microalgas como alimentos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Estrada, Beatriz A.; Gutiérrez-Uribe, Janet A. and Serna-Saldívar, Sergio O. 2014. Bound phenolic in food, a review. *Food Chemistry*. 152:46-55.
- ANVISA. 2017. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Novos ingredientes aprovados. Brasil: Comissões Tecnocientíficas de Assessoramento em Alimentos Funcionais e Novos Alimentos. <http://portal.anvisa.gov.br/novos-ingredientes-aprovados>
- Ardila-Álvarez, Ana M.; López-Matos, Yaritza; Vásquez-Cáceres, Marlys E.; González-Delgado, Ángel D. y Barajas-Solano, Andrés F. 2017. Obtención de lípidos y carbohidratos a partir de microalgas mediante el diseño de medios de cultivo selectivos. *Tecno Lógicas*. 20(38):83-96.
- Bleakley, Stephen and Hayes, Maria. 2017. Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. *Foods*. 6(5):33. 34 p.
- Borges-Campos, Viviane; Barbarino, Elisabete e Lourenço, Sergio de Oliveira. 2010. Crescimento e composição química de dez espécies de microalgas marinhas em

- cultivos estanques. *Ciência Rural*. 40(2):309-317.
- Brasil, Bruno dos Santos Alves Figueiredo; de Siqueira, Félix Gonçalves; Salum, Thaís Fabiana Chan; Zanette, Cristina Maria and Spier, Michele Rigon. 2017. Microalgae and cyanobacteria as enzyme biofactories. *Algal Research*. 25:76-89.
- Bustamante, Andrés; Masson, Lilia; Velasco, Joaquín; del Valle, José Manuel and Robert, Paz. 2016. Microencapsulation of *H. pluvialis* oleoresins with different fatty acid composition: kinetic stability of astaxanthin and alpha-tocopherol. *Food Chemistry*. 190:1013-1021.
- Contreras-Flores, Coral; Peña-Castro, Julián Mario; Flores-Cotera, Luis Bernardo y Cañizares-Villanueva, Rosa Olivia. 2003. Avances en el diseño conceptual de fotobiorreactores para el cultivo de microalgas. *Interciencia*. 28(8):450-456.
- Coronado-Herrera, Martha; Vega y León, Salvador; Gutiérrez-Tolentino, Rey; García-Fernández, Beatriz y Díaz-González, Gilberto. 2006. Los ácidos grasos omega-3 y omega-6: nutrición, bioquímica y salud. *REB (Revista de Educación Bioquímica)*. 25(3):72-79.
- de Alencar, Daniel Barroso; Pires-Cavalcante, Kelma Maria dos Santos; Saboya, Jefferson Pablo de Souza; de Sousa, Márcia Barbosa; Farias, Wladimir Ronald Lobo e Saker-Sampaio, Silvana. 2011. Teores de  $\beta$ - caroteno em suplementos e biomasa de *Spirulina*. *Ciência e Agrotecnologia*. 35(2):386-391.
- Derner, Roberto Biachini; Ohse, Silvana; Villela, Maurício; de Carvalho, Sabrina Matos e Fett Roseane. 2006. Microalgas, produtos e aplicações. *Ciência Rural*. 36(6):1959-1967.
- Enzing, Christein; Ploeg, Matthias; Barbosa, Maria and Sijtsma, Lolke. 2014. Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe. JRC Scientific and Policy Reports. Luxembourg, EU: Publications Office of the European Union.
- García, José L.; de Vicente, Marta and Galán, Beatriz. 2017. Microalgae, old sustainable food and fashion nutraceuticals. *Microbial Biotechnology*. 10(5):1017-1024.
- Gómez, Ana L.; J. López, José A.; Rodríguez, Armida; Fortiz, Judith; Martínez, Luis R.; Apolinar, Alejandro y Enríquez, Luis F. 2016. Producción de compuestos fenólicos por cuatro especies de microalgas marinas sometidas a diferentes condiciones de iluminación. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 44(1):137-143.
- Gómez-Luna, Liliana M. 2007. Microalgas: aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química*. XIX(2):3-20.
- Habid, M. Ahsan B.; Parvin, Mashuda; Huntington, Tim C. and Hasan, Mohammad R. 2008. A review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animals and fish. *FAO Fisheries and Aquaculture, Circular N° 1034*. Rome.
- Hernández, D.; Solana, M.; Riaño, B.; García-González, M.C. and Bertucco, A. 2014. Biofuels from microalgae: lipid extraction and methane production from the residual biomass in a biorefinery approach. *Bioresource Technology*. 170:370-378.
- Hernández-Pérez, Alexis y Labbé, José I. 2014. Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 49(2):157-173.
- Jacob-Lopes, Eduardo; Ramírez-Mérida, Luis Guillermo; Queiroz, Maria Isabel and Zepka, Leila Q. 2015. Microalgal biorefineries. (pp. 81-106). In *Biomass Production and Uses*. Rijeka, Croatia: InTech.
- Jaime-Ceballos, Barbarito; Civera-Cerecedo, Roberto; Villarreal, Humberto; Galindo-López, José y Pérez-Jar, Lourdes. 2007. Uso de la harina de *Spirulina platensis* como atrayente en el alimento para el camarón *Litopenaeus schmitti*. *Hidrobiológica*. 17(2):113-117.



- Langholtz, Matthew H.; Coleman, Andre M.; Eaton, Laurence M.; Wigmosta, Mark S.; Hellwinckel, Chad M. and Brandt, Craig C. 2016. Potential land competition between open-pond microalgae production and terrestrial dedicated feedstock supply systems in the U.S. *Renewable Energy*. 93:201-214.
- Magrin, Graciela O. 2015. Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Medina-Jasso, Alejandra; Piña-Valdez, Pablo; Nieves-Soto, Mario; Arzola-González, Juan Francisco y Guerrero-Ibarra, Marín. 2012. La importancia de las microalgas. *Biodiversitas*. 103:2-5.
- Palazuelos-Manso, Antonio. 2000. Introducción a la realidad económica latinoamericana. En América Latina: desarrollo, democracia y globalización. (pp. 25-54). España: Trama - Centro de Estudios y Cooperación para América Latina (CECAL).
- Pires, José C.M.; Alvim-Ferraz, Maria C.M. and Martins, Fernando G. 2017. Photobioreactor design for microalgae production through computational fluid dynamics: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 79:248-254.
- Priyadarshani, Indira and Rath, Biswajit. 2012. Commercial and industrial applications of micro algae - a review. *Journal of Algal Biomass Utilization*. 3(4):89-100.
- Quintana-Cabrales, María Magdalena; Hernández-Nazario, Lissethy; Morris-Quevedo, Humberto y Fernández-González, Manuel. 1999. Contenido de algunas vitaminas en cultivos de microalga *Chorella* sp. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*. 13(1):9-13.
- Ramirez-Merida, Luis G.; Zepka, Leila Queiroz; de Menezes, Cristiano Ragagnin and Jacob-Lopes, Eduardo. 2015a. Microalgae as nanofactory for production of antimicrobial molecules. *Journal of Nanomedicine & Nanotechnology*. 6(S6):004. 3 p.
- Ramírez-Mérida, Luis G.; Zepka, Leila Q. and Jacob-Lopes, Eduardo. 2015b. Current status, future developments and recent patents on photobioreactor technology. *Recent Patents on Engineering*. 9(2):80-90.
- Ramírez-Mérida, Luis G.; Zepka, Leila Queiroz and Jacob-Lopes, Eduardo. 2015c. Why does the photobioreactors fail?. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques* 5(7):239. 1 p.
- Ramírez-Mérida, Luis Guillermo; de Menezes, Cristiano Ragagnin; Zepka, Leila Queiroz y Jacob-Lopes, Eduardo. 2015d. Microalgas: potencial para la producción de compuestos bioactivos nanoencapsulados. *Ciência e Natura*. 37:07-17.
- Ramírez-Mérida, Luis Guillermo; Zepka, Leila Queiroz y Jacob-Lopes, Eduardo. 2013. Fotobiorreactor: herramienta para cultivo de cianobacterias. *Ciencia y Tecnología*. 6(2):9-19.
- Ramírez-Moreno, Liliana y Olvera-Ramírez, Roxana. 2006. Uso tradicional y actual de *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.). *Interciencia*. 31(9):657-663.
- Rodrigues, Daniele B.; Flores, Érico M.M.; Barin, Juliano S.; Mercadante, Adriana Z. Jacob-Lopes, Eduardo and Zepka, Leila Q. 2014. Production of carotenoids from microalgae cultivated using agroindustrial wastes. *Food Research International*. 65(Part B):144-148.
- Romero-Maza, Lolymar; Guevara, Miguel; Arredondo-Vega, Bertha; Gómez, Bladimir; Licett, Berenice y Freitas, Luis. 2011. Contenido de lípidos, ácidos grasos, exopolisacáridos y minerales de *Arthrospira maxima* cultivada en fotobiorreactores. *Agronomía Tropical*. 61(3-4):231-240.

- Sánchez, Martha; J. Bernal-Castillo, Jaime; Rozo, Camilo y Rodríguez, Ignacio. 2003. *Spirulina (Arthrospira): an edible microorganism: a review*. Universitas Scientiarum. 8(1):7-24.
- Spolaore, Pauline; Joannis-Cassan, Claire; Duran, Elie and Isambert, Arsène. 2006. Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 101(2):87-96.
- Tejeda-Benítez, Lesly; Henao-Argumedo, Daniela; Alvear-Alayón, Mario y Castillo-Saldarriaga, Carlos Rafael. 2015. Caracterización y perfil lipídico de aceites de microalgas. *Revista Facultad de Ingeniería (UPTC)*. 24(39):43-54.
- Valdés, Yalile Alfonso y Blanco-Soto, Mayla F. 2008. Algas, aliadas en el pasado y sustento para el futuro. *Tecnología Química*. XXVIII(3):46-50.
- Valenzuela, Alfonso y Sanhueza-C, Julio. 2009. Aceites de origen marino; su importancia en la nutrición y en la ciencia de alimentos. *Revista Chilena de Nutrición*. 36(3):246-257.
- Valenzuela-B., Alfonso; Sanhueza-C., Julio y Valenzuela-B., Rodrigo. 2015. Las microalgas: una fuente renovable para la obtención de ácidos grasos omega-3 de cadena larga para la nutrición humana y animal. *Revista Chilena de Nutrición*. 42(3):306-310.
- Vásquez-Suárez, Aleikar; Guevara, Miguel; González, Mayelys; Lemus, Nathalie y Arredondo-Vega, Bertha. 2010. Crecimiento y composición bioquímica de *Skeletonema costatum* (Greville, 1866) Cleve, 1878 (Heterokontophyta: Bacillariophyceae) en función de la irradiancia y del medio de cultivo. *Saber*. 22(2):149-159.
- Vásquez-Suárez, Aleikar; Guevara, Miguel; Salazar, Gabriel; Arredondo-Vega, Bertha; Cipriani, Roberto; Lemus, Nathalie y Lodeiros, César. 2007. Crecimiento y composición bioquímica de cuatro cepas de *Dunaliella* para ser utilizadas en acuicultura. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 41(2):181-194.
- Vaz, Bruna da Silva; Moreira, Juliana Botelho; de Morais, Michele Greque and Costa, Jorge Alberto Vieira. 2016. Microalgae as a new source of bioactive compounds in food supplements. *Current Opinion in Food Science*. 7:73-77.
- Vigani, Mauro; Parisi, Claudia; Rodríguez-Cerezo, Emilio; Barbosa, Maria J.; Sijtsma, Lolke; Ploeg, Matthias and Enzing, Cristien. 2015. Food and feed products from microalgae: market opportunities and challenges for the EU. *Trends in Food Science & Technology*. 42(1):81-92.