

# DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE MICROALGAS

## DETERMINATION OF THE ANTIOXIDANT CAPACITY OF MICROALGAE

Diego Alejandro Acosta Pareja<sup>1</sup>, Daniel Leandro Otálvaro Marín<sup>2</sup>, Vivian Yulieth Yurgaky Blandón<sup>3</sup>

### RESUMEN

Las microalgas son organismos fotoautótrofos cuya composición química es altamente rica en componentes de alto interés en la industria alimenticia, farmacéutica y el sector cosmético. En este trabajo se investigó la actividad antioxidante de las microalgas *Arthrospira platensis* y *Arthrospira maxima*. En la actualidad se evidencia una necesidad de diversificar las fuentes de materias primas, buscando un menor impacto negativo en el medio ambiente y que ofrezcan propiedades benéficas para los seres humanos. Además de su variada composición química, la biomasa de estas microalgas es de fácil cultivo a estanque abierto y por medio de éste se pretendió obtener dicha biomasa. Se realizó dicho cultivo biotecnológico, se obtuvo la biomasa y posteriormente por medio de sonicación se obtuvo el extracto acuoso de las muestras. Se realizaron diluciones 1:10, 1:50 y 1:100 las cuales fueron sometidas a una evaluación de la actividad antioxidante a través del método fluorimétrico de ORAC. El extracto acuoso de *A. maxima* presentó mayor capacidad antioxidante evaluada en  $\mu\text{mol eq Trolox/g}$  muestra húmeda que *A. platensis*; en las diluciones 1:100 de las 2 muestras no se detectó actividad antioxidante. Las diluciones realizadas de las muestras no contienen una actividad antioxidante similar, siendo relevante la concentración final de las muestras a evaluar. Estas dos especies se convierten en alternativas importantes para la industria cosmética, los resultados de la capacidad antioxidante hacen que el enfoque de este estudio sea el punto de partida para una posterior pre-formulación de una matriz cosmética que integre los extractos de las microalgas evaluadas.

### PALABRAS CLAVE:

Cianobacterias, metabolitos, Biotecnología, ORAC, Biorreactor.

---

<sup>1</sup> Universidad CES; [acosta.diego@uces.edu.co](mailto:acosta.diego@uces.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad CES; [otalvaro.daniel@uces.edu.co](mailto:otalvaro.daniel@uces.edu.co)

<sup>3</sup> Universidad CES; [yurgaky.vivian@uces.edu.co](mailto:yurgaky.vivian@uces.edu.co)

## ABSTRACT:

Microalgae are photoautotrophic organisms whose chemical composition is highly rich in diverse components that have a high interest in both pharmaceutical and food industries, and even more so, in the cosmetics sector. In the present work, the antioxidant activity of microalgae corresponding to the species *Arthrospira platensis* and *Arthrospira maxima* was investigated. Currently it is observed that there is a necessity to diversify the sources of raw materials, seeking to have a less negative impact on the environment and to offer beneficial properties for human beings. In addition to its varied chemical composition, the biomass of these microalgae is easy to cultivate in an open crop and through this it was intended to obtain said biomass. This biotechnological crop was carried out, the biomass was obtained and later by means of sonication the aqueous extract of the samples was obtained. Dilutions of 1:10, 1:50 and 1:100 were made and subjected to an evaluation of the antioxidant activity through the fluorometric method ORAC. The aqueous extract of *A. maxima* presented a higher antioxidant capacity evaluated in  $\mu\text{mol eq Trolox/g wet weight}$  than *A. platensis*; no antioxidant activity was detected in the 1:100 dilutions of the 2 samples. The 3 dilutions of the samples did not contain similar antioxidant activity, the final concentration of the samples to be evaluated being relevant. These two species become one of the most important alternatives for the cosmetic industry, the results of the antioxidant capacity make the focus of this study the starting point for a subsequent pre-formulation of a cosmetic matrix that integrates the extracts of the microalgae evaluated.

## KEY WORDS:

Cyanobacteria, metabolites, Biotechnology, ORAC, Bioreactor.

## INTRODUCCIÓN

Las microalgas son un grupo diverso y grande de organismos fotosintéticos que van desde las cianobacterias procariotas hasta las algas eucariotas (Gangl et al. 2015), son algas microscópicas que suelen encontrarse en sistemas de agua dulce y marinos. (Suganya et al. 2016). Hay cepas de *Arthrospira* que han sido certificadas como “reconocidas generalmente como seguras” (GRAS) por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) ya que los metabolitos que produce no son dañinos para el ser humano (Costa et al., 2019). En las últimas décadas, los investigadores han dirigido su interés hacia el desarrollo de procesos

productivos de microalgas para la elaboración de productos naturales con propiedades saludables que adicionalmente representan un impacto positivo en el medio ambiente (Hamed 2016). Los ingredientes bioactivos que se pueden extraer de las microalgas se pueden considerar como sustitutos de materias primas en la industria farmacéutica entre ellos están los carotenoides, los polisacáridos, los ácidos grasos poliinsaturados, las vitaminas, los esteroides, las proteínas y las enzimas (Zhuang et al, 2022). Comercialmente, se suele hablar de la *Spirulina* como suplemento dietario a base de la biomasa de las microalgas *Arthrospira maxima* y *Arthrospira*

*platensis*, que anteriormente se conocían como *Spirulina maxima* y *Spirulina platensis* respectivamente, pero en 1989 se reconoció oficialmente la separación del género *Spirulina* y *Arthrospira* por diferencias en el tipo de hélice que presentan los tricomas, la ausencia de septos celulares visibles al microscopio óptico y el patrón que presentan los poros de la pared celular, pero aun así mucha gente sustituye *Arthrospira* por *Spirulina*.

Las microalgas tienen un crecimiento acelerado a bajo costo; En términos de biomasa estas microalgas ofrecen muchas ventajas, especialmente en la parte de cultivo en términos de nutrición, como de espacio. Las cianobacterias requieren nutrientes básicos y disminuyen el impacto ambiental debido a que no dependen de una tierra cultivable (Morone et al. 2019); además del espacio una de las grandes diferencias en el cultivo de microalgas comparándolo con otra fuente natural es que las microalgas se utilizan en su totalidad, a diferencia de otros tipos de cultivos donde lo que son la raíz, el tallo y las hojas son subproductos, lo que ayuda a ahorrar energía, a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el impacto medioambiental general (Tefera 2016).

La industria cosmética requiere materias primas naturales más seguras y sostenibles, las cianobacterias son fuentes potencialmente útiles de compuestos naturales bioactivos, se conoce que los metabolitos, los pigmentos y las proteínas pueden mejorar la salud de la piel al actuar como agentes antioxidantes. La industria cosmética podrá tomar ventaja de esto e incorporar a una matriz cosmética ingredientes que tengan actividad antioxidante que provengan de las

microalgas. (Ragusa et al. 2021). Actualmente los consumidores vigilan cada vez más el origen y función de los ingredientes en los productos que consumen y/o utilizan, dándonos una gran oportunidad de evaluar o examinar materias primas naturales que cumplan con las demandas y/o necesidades de los consumidores, ya sea porque son sostenibles o ambientalmente amigables siendo al mismo tiempo efectivas. (Wang 2015). Las características mencionadas anteriormente hacen de las microalgas un nuevo y atractivo ingrediente, especialmente para la formulación de cosméticos ecológicos hechos a base de productos naturales con efectos beneficiosos para la salud de la piel siendo también una de las más ecológicas (Mourelle et al. 2017).

El estudio más reciente sobre el mercado mundial de la belleza, realizado por Eurostaf, indica que la industria cosmética está en un gran aumento, siendo un factor importante el desarrollo de las clases medias en muchos países emergentes (Arora et al. 2012). El hecho de que actualmente haya extractos de *Arthrospira* como materia prima para cosméticos en el mercado demuestra que el interés del sector por esta alga va en aumento. Algunos ejemplos comerciales relevantes de productos cosméticos a base de *Spirulina* son aquellos que pertenecen a la línea: “*Spirulina Santé Methode face line*” se utiliza como un suero antienvjecimiento y tónico restaurador, tiene como base extracto de *A. maxima*. “*powercell skinmunity emulsion*” estimula la revitalización, alisa las arrugas, hidrata intensamente la piel, ingrediente cosmético extracto de *A. platensis* y *A. Máxima* (Ragusa et al. 2021). Debido a estas razones, en este presente trabajo de investigación se evaluó la actividad antioxidante de las

microalgas *Arthrospira platensis* y *Arthrospira maxima* para su posible uso en la industria, principalmente la industria cosmética.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ● Medio de cultivo biotecnológico

Se empleo la microalga *Spirulina platensis* proveniente del UTEX LB 2340 <https://utex.org/products/utex-lb-2340?variant=30992067067994>; y *Spirulina maxima* proveniente de Ebank bajo un cultivo biotecnológico. La biomasa de las microalgas fue obtenida de un sistema abierto conteniendo 70 litros del medio. Este medio fue preparado en un tanque de 50 litros el cual estaba compuesto por 6g (gramos) de bicarbonato, 62.5g de nitratos (potasio y sodio), 35g de sulfato de magnesio, 25g de cloruro de sodio, 13g de potasio fosfato dinámico y 1g de cloruro de calcio; estos 50 litros mencionados anteriormente eran inoculados con un pre-inóculo de 20L y 8 días de antigüedad.

### Extracción

Pasado los 61 días de cultivo el volumen total fue colectado usando centrifuga piloto configurada a 18000 rpm y 4°C. Se recolectó la biomasa precipitada y se preservaron en bolsas ziploc a -80 °C hasta su extracción; Los rendimientos para ambas especies fueron 405.8g 363.5g para *A. platensis* y *A. maxima* respectivamente.

Para la extracción de los metabolitos de *Arthrospira*, se pesaron 1.48 y 1.02 g *A. platensis* y *A. maxima* respectivamente y fueron suspendidas en 15 y 10.8 ml de buffer Citrato respectivamente. La ruptura celular fue llevada a cabo con ayuda de un sonicador, configurado a

40% de frecuencia, se realizaron 5 ciclos de sonicacion de 2 minutos cada ciclo, con baño frio entre cada ciclo, los extractos acuosos fueron recolectados por, centrifugación de la muestra a 5000 rpm. Al finalizar este proceso las muestras se almacenaron a -70°C para su evaluación por medio del método ORAC.

### Evaluación de la actividad antioxidante

Para evaluar la capacidad antioxidante de las muestras se eligió el método de “la capacidad de absorción de radicales de oxígeno” (ORAC) que es muy utilizada en investigación y se ha aplicado tanto a estudios clínicos como alimentarios; este método es uno de los más utilizado para el análisis de antioxidantes (Kumar et al. 2018). Se realizo una curva de calibración del reactivo trolox a concentraciones definidas de 100µM, 50µM, 25µM, 12.5µM y 6.25µM para poder indicar la capacidad antioxidante de las muestras.

### Reactivos y materiales

Fluoresceína (FL) 3',6'-dihidroxi-2,7-bis(2-benzofuran-3,9'-xanten)-1-ona como compuesto fluorescente a una concentración final de 40nM. El AAPH (2,2'-azobis-(2-amidinopropano hidroclicida)) como agente oxidante en este caso se pesó 406.785 mg del compuesto el cual se disolvió en 7.5 ml de la solución buffer. El Trolox® (Ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) se usó como el estándar antioxidante en diferentes concentraciones mencionadas anteriormente para realizar la curva de calibración. Una solución buffer o amortiguadora compuesta por una mezcla de Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (fosfato disódico) y NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (fosfato sódico) con un pH de alrededor 7.50 que se usó para realizar las diferentes diluciones de los

compuestos anteriormente mencionados y 3 diluciones (1:10, 1:50 y 1:100) de las muestras a evaluar.

Con las diluciones finales preparadas se procede a adicionar 25  $\mu$ L de la solución de buffer fosfato, 150  $\mu$ L de FL 40nM, se adiciona 25 $\mu$ L de la solución antioxidante (Trolox o muestra) a cada micropozo; se preincubó durante 10 min a 37 °C. Finalizada la incubación se agregó 25  $\mu$ L de la solución de AAPH, la placa se colocó inmediatamente en el lector y se procedió a realizar la lectura de la fluorescencia en cada uno de los micropozos correspondientes mediante espectrofotometría de fluorescencia cada 2 minutos a una longitud de onda de excitación de 485 nm y emisión de 520 nm, por un periodo de tiempo de 34 minutos.

### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados del procedimiento se usó RStudio y para la construcción de la curva de calibración y el cálculo de la actividad ORAC de los extractos se usó el software Excel.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

En cuanto a los cultivos en estanque abierto de las 2 microalgas se obtuvo el valor promedio de las mediciones realizadas, con un pH y temperatura dentro de las especificaciones consultadas bibliográficamente (Park et al. 2010, Hernández et al. 2014).



**Figura I:** Conductividad del cultivo de *A. maxima*

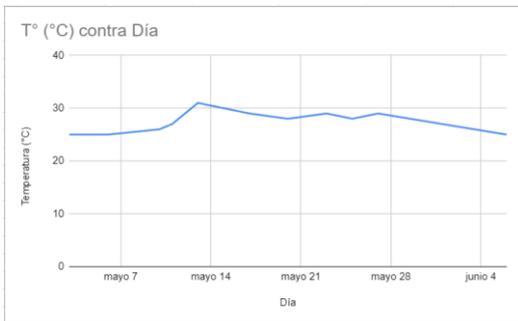
Los factores de cultivo más decisivos que determinan el crecimiento de las algas y las tasas de formación de productos son la calidad y la cantidad de nutrientes, el suministro de luz y la intensidad de la luz. Además, la salinidad (fuerza y composición iónicas del medio de cultivo), el valor del pH, la turbulencia y la temperatura son decisivos para el crecimiento celular y la formación de productos de interés (sierra et al. 2008).



**Figura II:** pH del cultivo de *A. maxima*

Cada especie de microalga necesita un cierto rango de pH al cual su crecimiento es óptimo, en el caso de la *Arthrospira platensis* y *Arthrospira maxima* el pH óptimo para la generación de grandes cantidades de biomasa está dentro del rango aproximadamente entre 8.50 y 10.50 (Park et al. 2010, Martínez 2008, Olivera et al. 2015). La temperatura óptima medida varía entre las especies

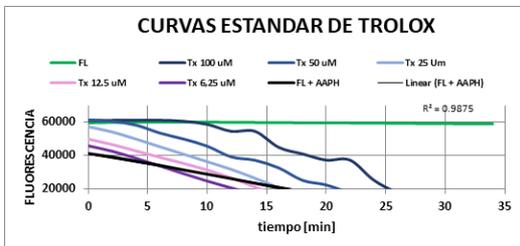
de algas, pero a menudo está entre 28 y 35 °C para muchas algas (Park et al. 2010, Hernández et al. 2014).



**Figura III:** Temperatura (°C) del cultivo de *A. maxima*

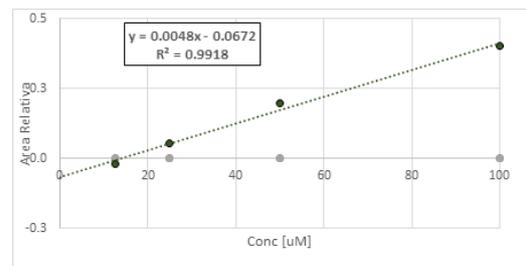
Los datos del cultivo de *A. platensis* no se pudieron registrar debido a que al iniciar esta investigación el cultivo ya estaba en proceso, siendo realizado por investigadores ajenos a esta investigación, en donde no se mantuvo una correcta documentación de las especificaciones de crecimiento.

En la figura IV se ve la representación gráfica que nos demuestra el comportamiento de la fluorescencia en el tiempo y como el TROLOX actúa como antioxidante logrando disminuir la oxidación producida por el AAPH en la fluoresceína; a mayor concentración de trolox mayor es el tiempo en el que se mantiene la fluorescencia en el tiempo.



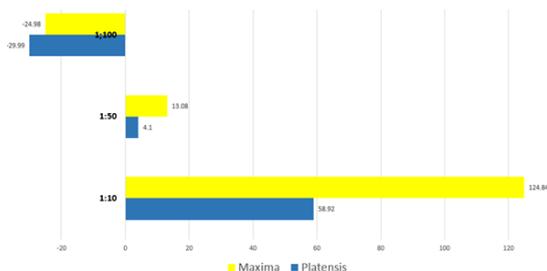
**Figura IV:** Acción del Trolox a sus diferentes concentraciones y la oxidación de la FL

Se Procedió a elaborar la curva de calibración (figura V) para definir una linealidad que concierne a la concentración (uM) vs área bajo la curva de cada concentración de trolox utilizada, se definió el  $R^2 = 0,9918$  mediante una regresión lineal; teniendo como fundamento el coeficiente de correlación podemos asegurar que el modelo estadístico utilizado nos demostró un resultado confiable. Se procedió a realizar los diferentes cálculos para efectuar la interpolación por medio de la curva de estándar (Tx) y así definir los resultados para las muestras evaluadas.



**Figura V:** Área bajo la curva de cada concentración utilizada de TROLOX

En la figura VI se pueden observar los diferentes datos estadísticos arrojados por el software Excel en  $\mu\text{mol Eq trolox}$  de *Arthrospira platensis* y *Arthrospira maxima* en sus diferentes diluciones evaluadas; en cuanto a estos datos se puede analizar que son datos proporcionales entre sí; en las diluciones de 1:10 se pudo ver una concentración mayor equivalente de trolox que en 1:50. En el caso de 1:100 con valores negativos, nos da un indicio que a esa dilución las muestras no poseen actividad antioxidante.



**Figura VI:** µmol Eq trolox de *Arthrospira platensis* y *Arthrospira maxima* en sus respectivas diluciones

En el análisis de varianza realizado (tabla I) nos da los valores p obtenidos para los factores evaluados, en este caso las diluciones. Al observar la columna de probabilidad, se concluye que las diferencias entre los resultados promedio de los métodos utilizados son estadísticamente significativos, puesto que los valores p del método y del factor de dilución dieron un resultado menor a 0.05. Según esto, las 3 diluciones realizadas no contienen una actividad antioxidante similar, siendo relevante la concentración final de las muestras a evaluar. Tomar en cuenta que es probable que la alta variación entre las muestras haya afectado los resultados obtenidos en el análisis de varianzas.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor alfa
Método	171.5745375	1	171.5745375	4.649857702	0.044830241	0.05
Factor de dilución	6813.155808	2	3406.577904	92.32198866	3.4423E-10	
Interacción	11.631025	2	5.8155125	0.157606752	0.855351605	
Dentro del grupo	664.179825	12	36.89887917			

**Tabla I.** Resultados de análisis de varianzas

En la Tabla II se presentan la actividad de antioxidantes de los distintos extractos acuosos de las microalgas evaluadas en sus respectivas diluciones. Como ya se ha comentado, las microalgas son ricas en diferentes compuestos, que presentan una elevada actividad antioxidante (Zhuang et al,

2022). Los antioxidantes pueden actuar por múltiples mecanismos, dependiendo del sistema de reacción o de la fuente radicalaria (Prior et al 2005). Según estos autores, los polifenoles presentes en las microalgas tienen la capacidad de eliminar los radicales libres, se encontró que la capacidad antioxidante de las microalgas está en parte causada por los polifenoles (Farvin et al. 2013, Goiris et al. 2012). Sin embargo, otros autores no encontraron ninguna correlación entre el contenido fenólico y la capacidad antioxidante de los extractos de microalgas (Prior et al. 2005).

	Dilución	<i>Arthrospira Platensis</i>	<i>Arthrospira Máxima</i>
Actividad antioxidante	1:10	5.97	13.22
	1:50	2.08	6.93
(µmol eq Trolox/g muestra húmeda)	1:100	-30.40	-26.45

**Tabla II:** Actividad antioxidante de las microalgas evaluadas en µmol eq Trolox/g muestra

Los resultados finales se expresan en µmol eq Trolox/g muestra húmeda. El extracto acuoso de *A. maxima* presenta una mayor capacidad antioxidante que las muestras de *A. platensis* en todas sus diluciones; en el caso de las diluciones 1:100 como ya se mencionó anteriormente no se detecta una capacidad antioxidante debido a sus valores negativos. Esto nos demuestra que las muestras evaluadas tienen una capacidad antioxidante importante que puede ser utilizada en muchos campos de la industria, este resultado era de esperar teniendo en cuenta las reconocidas propiedades antioxidantes de los compuestos químicos que contienen las muestras evaluadas (Pagels et al., 2019; Sonani et al., 2015); Cabe aclarar que se encontró una capacidad antioxidante importante, pero otros autores reportan en sus estudios valores más altos que los

que pudimos registrar (Agregán et al. 2018, de Marco et al. 2019, López-Rodríguez et al. 2021), además de que los resultados nuestros son en muestras acuosas y no en muestras secas, lo cual hace que sea necesario que se sigan evaluando los extractos acuosos de *A. maxima* y *A. platensis* para asegurar la capacidad antioxidante de las muestras.

## CONCLUSIONES:

En las diluciones realizadas se demostró a *Arthrospira maxima* como la especie con mayor capacidad de generar actividad antioxidante, a menos gramos de muestra (dilución 1:10), mayor es la capacidad antioxidante, manteniendo así una misma proporción de  $\mu\text{mol}$  trolox. Se pudieron atribuir también, otra serie de factores que inciden directamente en los resultados obtenidos en el método fluorimétrico, el periodo de cultivo y almacenamiento de la *Arthrospira Platensis* fue mucho más largo y sus metabolitos no pudieron haberse conservado como se planeó inicialmente, en las condiciones de cultivo hubieron fluctuaciones en algunas mediciones como conductividad y luminiscencia ya que la luz es uno de los principales factores a tener en cuenta en un cultivo a estanque abierto para las microalgas.

La capacidad de micro pipeteo y la exactitud de las mismas también influyen directamente en la veracidad de los resultados obtenidos, se observaron burbujas en algunas diluciones, lo cual inciden en que el lector de micropozos no pueda realizar lecturas mucho más exactas. La delicada y sensible estabilidad de la fluoresceína la cual es un compuesto altamente fotosensible puede incidir en la incorrecta oxidación

del mismo para la lectura en la curva de trolox. Si bien el ORAC, resultó ser un método acorde para realizar la capacidad antioxidante de las microalgas y el cual dio resultados positivos, se pueden tener en cuenta otros protocolos para evaluar dicha capacidad como los FRAP, TRAP, DPPH y ABTS y generar una comparativa para establecer cuál es el método más idóneo para estudiar y evaluar dicho compuesto.

Debido al alto índice de compuestos polifenólicos, ficocianínicos, polisacáridos y en especial a los resultados observados en este trabajo, estas dos especies se transforman en unas de las alternativas más importantes para la industria cosmética, las propiedades antioxidantes hacen que el enfoque de este estudio sea el punto de partida para una posterior pre-formulación de una matriz cosmética que integre los extractos de las microalgas evaluadas.

## Citas bibliográficas:

Ariadna López-Rodríguez, Jaen Mayorga, David Flaig, Glenda Fuentes, Juliana Cotabarren, Walter David Obregón, Patricia I. Gómez, Comparison of two strains of the edible cyanobacteria *Arthrospira*: Biochemical characterization and antioxidant properties, Food Bioscience, Volume 42, 2021, 101144

Agregán R, Munekata PES, Franco D, Carballo J, Barba FJ, Lorenzo JM. Antioxidant Potential of Extracts Obtained from Macro- (*Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcata*)

- and Micro-Algae (*Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis*) Assisted by Ultrasound. *Medicines*. 2018; 5(2):33.
- Arora N, Agarwal S, Rayasa M. Latest Technology Advances in Cosmeceuticals. *Int J Pharm Sci Drug Res*. 1 de julio de 2012;4
- Costa, J. A. V., Freitas, B. C. B., Rosa, G. M., Moraes, L., Morais, M. G., & Mitchell, B. G. (2019). Operational and economic aspects of *Spirulina*-based biorefinery. *Bioresource technology*, 292, 121946.
- de Marco Castro E, Shannon E, Abu-Ghannam N. Effect of Fermentation on Enhancing the Nutraceutical Properties of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*). *Fermentation*. 2019; 5(1):28.
- Gangl, D., Zedler, J. A., Rajakumar, P. D., Martinez, E. M., Riseley, A., Włodarczyk, A., Purton, S., Sakuragi, Y., Howe, C. J., Jensen, P. E., & Robinson, C. (2015). Biotechnological exploitation of microalgae. *Journal of experimental botany*, 66(22), 6975–6990.
- García, Lorena. (2012). Eliminación de CO<sub>2</sub> con microalgas autóctonas.
- Genene, Tefera & Hailu, Dereje & Tsegaye, Zerihun. (2016). Importance of *Arthrospira* [*Spirulina*] in Sustainable Development. 2016. 60-68.
- Goiris, Koen & Muylaert, Koenraad & Fraeye, Ilse & Foubert, Imogen & De Brabanter, Jos & Cooman, Luc. (2012). Antioxidant potential of microalgae in relation to their phenolic and carotenoid content. *Journal of Applied Phycology*. 24. 10.1007/s10811-012-9804-6.
- Hamed, Imen. (2016). The Evolution and Versatility of Microalgal Biotechnology: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 15. 10.1111/1541-4337.12227.
- Huarachi-Olivera, Ronald, Yapó-Pari, Úrsulo, Dueñas-Gonza, Alex, González-Juárez, Rosaura, Condori-Huamanga, José, Pacheco-Salazar, D. G, & Soto-Flores, Joe. (2015). Adaptabilidad de *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* (Cyanophyta) en fotobiorreactor tubular cónico bajo condiciones ambientales. *Idesia* (Arica), 33(1), 103-112.
- Kumar, S., Krishna Chaitanya, R., & Preedy, V. R. (2017). Assessment of Antioxidant Potential of Dietary Components. In *HIV/AIDS: Oxidative Stress and Dietary Antioxidants* (pp. 239-225). Elsevier.
- Morone, Janaina & Alfeus, Anna & Vasconcelos, Vitor & Martins, Rosário. (2019). Revealing the potential of cyanobacteria in cosmetics and cosmeceuticals — A new bioactive approach. *Algal Research*. 41. 101541. 10.1016/j.algal.2019.101541.
- Mourelle ML, Gómez CP, Legido JL. The Potential Use of Marine Microalgae and Cyanobacteria in Cosmetics and Thalassotherapy. *Cosmetics*. 2017; 4(4):46.
- Park, J. B., Craggs, R. J., & Shilton, A. N. (2011). Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. *Bioresource technology*, 102(1), 35–42.
- Pérez, Alexis & Labbé, José. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de biología marina y*

oceanografía. 49. 157-173.  
10.4067/S0718-19572014000200001.

Prior RL, Wu X, Schaich K.  
Standardized methods for the  
determination of antioxidant capacity  
and phenolics in foods and dietary  
supplements. *J. Agric. Food Chem.*  
2005;53:4290-4302.

Ragusa I, Nardone GN, Zanatta S,  
Bertin W, Amadio E. Spirulina for Skin  
Care: A Bright Blue Future. *Cosmetics.*  
2021; 8(1):7.

Sabeena Farvin, K. H., & Jacobsen, C.  
(2013). Phenolic compounds and  
antioxidant activities of selected species  
of seaweeds from Danish coast. *Food  
chemistry*, 138(2-3), 1670–1681.

Sierra, E. & Acien, Gabriel &  
Fernández, J. & Garcia, J. & González-  
López, Cynthia & Molina-Grima,  
Emilio. (2008). Characterization of a  
flat plate photobioreactor for the  
production of microalgae. *Chemical  
Engineering Journal*. 138. 136-147.  
10.1016/j.cej.2007.06.004.

Suganya, T. & Varman, Mahendra &  
Masjuki, H.H. & Renganathan, S..  
(2016). Macroalgae and microalgae as a  
potential source for commercial  
applications along with biofuels  
production: A biorefinery approach.  
*Renewable and Sustainable Energy  
Reviews*. 55. 909-941.  
10.1016/j.rser.2015.11.026.

Wang, H. D., Chen, C. C., Huynh, P., &  
Chang, J. S. (2015). Exploring the  
potential of using algae in  
cosmetics. *Bioresource  
technology*, 184, 355–362.

Zhuang, D., He, N., Khoo, K. S., Ng, E.  
P., Chew, K. W., & Ling, T. C. (2022).  
Application progress of bioactive  
compounds in microalgae on

pharmaceutical and  
cosmetics. *Chemosphere*, 291(Pt 2),  
132932.