

Producción de espirulina (*Arthrospira platensis*): una revisión

Production of spirulina (*Arthrospira platensis*): a review

Francis Ariel Muñoz Puetate¹, Julio Amilcar Pineda Insuasti², Diego Alejandro Barrigas Revelo¹, Camilo Alejandro Pineda Soto²

¹Instituto Superior Tecnológico “17 de Julio” (IST17J), Urcuquí, Ecuador.

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente (CEBA), Ibarra, Ecuador.

Autor para correspondencia: francis.munoz794@ist17dejulio.edu.ec

Recibido: 10 Octubre 2021

Aceptado: 11 Diciembre 2021

RESUMEN

La biotecnología de microalgas cada vez gana más fuerza en el mercado, siendo esencial la producción de biomasa del género *Arthrospira platensis*. Es una cianobacteria con potencial en la industria alimentaria, farmacéutica y biotecnológica. Sin embargo, no es aprovechada al máximo en Ecuador, por ello, el objetivo de esta investigación es realizar una revisión exploratoria de los avances tecnológicos mediante una amplia revisión sistemática de literatura científica.

PALABRAS CLAVE: algas verdes azuladas, biotecnología de algas, cianobacterias, espirulina

ABSTRACT

Microalgae biotechnology is gaining more and more strength in the market, being essential the production of biomass from the genus *Arthrospira platensis*. It is a cyanobacterium with potential in the food, pharmaceutical and biotechnology industries. However, it is not fully exploited in Ecuador; therefore, the objective of this research is to carry out an exploratory review of technological advances through a broad systematic review of scientific literature.

KEYWORDS: algal biotechnology, blue green algae, cyanobacteria, spirulina

INTRODUCCIÓN

Las cianobacterias son microalgas unicelulares, capaces de convertir la energía lumínica en energía química a través de la fotosíntesis, suelen habitar en aguas marinas como en aguas dulces (Ruiz, 2020). Dentro de este compacto grupo se encuentra el género espirulina, siendo aquel un nombre usado para destacar a dos de sus especies más conocidas como lo son: *A. platensis* y *A. máxima*. (Lafarga et al., 2020).

La espirulina (*A. platensis*), está presente en el planeta desde hace unos 3500 millones de años (Ramos, 2020), se sabe que sus orígenes estuvieron en las lagunas de África y América Latina, y desde entonces ha sido recolectada durante muchos años por las civilizaciones Kanembous (África) y Azteca (México) (Costa et al., 2019).

Las microalgas han sido utilizadas desde hace mucho tiempo, incluso desde la aparición del ser humano, el cual sigue en la búsqueda de nuevos alimentos que aporten los contenidos

nutricionales necesarios para la supervivencia (Caiza, 2021).

Ecuador es considerado un país megadiverso, el cual posee en su territorio una gran variedad de microalgas, sin embargo, su investigación no es prioritaria. Los estudios que se realizan en el país sobre aprovechamiento sustentable de microalgas y sus beneficios son muy escasos (Caiza, 2021), dando origen a una limitada producción, de tal forma que no ha permitido generar una máxima eficiencia en la fabricación de productos, tanto en el campo farmacéutico, alimenticio, e industrial (Ramos, 2020).

Debido a lo antes indicado se evidencia la necesidad de contribuir en la investigación científica del Ecuador, por lo tanto, el objetivo de este trabajo es realizar una revisión exploratoria de la producción de

METODOLOGÍA

Hábitat y ecología

La espirulina observada bajo la luz del microscopio presenta filamentos verdes azulados de células cilíndricas situadas en varias filas helicoidales, sin ramificación. Los filamentos se mueven sobre el axil. Las filas de las células cuentan con un diámetro de 1 a 3 μm en las especies de menor dimensión y de 3 a 12 μm en las de mayor dimensión (Caiza, 2021).

Aislamiento

Según Camacho (2016), sugiere 3 técnicas para aislar cianobacterias:

Aislamiento por separación de colonias: radica en inocular 100 μL de muestra y colocarlo en el centro de una placa petri que contenga previamente medio gelificado, seguidamente extender con un asa triangular, al mismo tiempo girar la placa y finalmente tapar e incubar.

Aislamiento célula por célula: reside en sembrar el microorganismo de interés en un medio sólido, por técnica de siembra agotamiento de estrías, se procede a inocular con un asa el medio de cultivo en caja petri, se realiza el estriado y a medida que se ejecutan las estrías el contenido microbiano va a pasar del asa al medio de cultivo de manera gradual, esto hará que las estrías iniciales proporcionan un crecimiento progresivo, en las estrías terminales tienden a crecer colonias más aisladas, finalmente con un asa de punta se toma un filamento se lo suspende en medio líquido para incubarlo, de esta manera se tiene un cultivo axénico.

Aislamiento por diluciones: Su objetivo es disminuir la concentración de la muestra para permitir que las colonias crezcan más separadas unas de otras facilitando su aislamiento, a través de las diluciones seriadas.

Según, Villalba (2018) menciona que en la laguna Yaragui (Paraguay), se aisló espirulina (*A. platensis*), por lo que se realizó un muestreo, se utilizó una red de fitoplancton de 25 μm , la materia recolectada fue colocada en recipientes estériles previamente rotulados, la muestra fue conservada a 4° C , posteriormente se trasladó al laboratorio. Se tomó registro de las coordenadas geográficas de cada punto de muestreo, con un GPS (Garmin Etrex20). Cabe mencionar que se realizó *in situ* la toma de parámetros (pH y temperatura).

Medios de cultivo

Para el crecimiento *in vitro* un componente fundamental es el medio de cultivo, el cual se encarga de suministrar todas las sales necesarias para el delicado desarrollo de las microalgas. Por este motivo, es esencial que los medios contengan una fuente de carbono, nitrógeno y otros nutrientes esenciales como magnesio (Mg), fósforo (P), potasio (K) o calcio (Ca). La fuente de nitrógeno comúnmente es

una sal de nitrato, amonio o urea y la fuente de carbono es, sal inorgánica (bicarbonato sódico) o gas (CO₂) (Pérez, 2019).

El primer medio de cultivo sintético, fue creado en 1966 por Zarrouk, siendo este el primer medio para cultivo de espirulina, en la actualidad este sigue siendo usado como un medio de cultivo estándar.

Tabla 1. Elementos del Medio de cultivo Zarrouk.

Sustancia	Concentración (g/L)
NaHCO ₃	13,61
Na ₂ CO ₃	1,03
K ₂ HPO ₄	0,5
NaNO ₃	2,5
K ₂ SO ₄	1,0
NaCl	0,2
MgSO ₄ ,7H ₂ O	0,04
CaCl ₂ ,2H ₂ O	0,01
FeSO ₄ ,7H ₂ O	0,05
H ₃ BO ₃	2,86
MnCl ₂ ,4H ₂ O	1,81
ZnSO ₄ ,7H ₂ O	0,22
NaMoO ₄ ,2H ₂ O	0,39
CuSO ₄ ,5H ₂ O	0,079
Co(NO ₃) ₂ ,6H ₂ O	0,049
VO ₂ SO ₄ ,5H ₂ O	49,6
K ₂ Cr(SO ₄) ₄ ,2H ₂ O	96
NiSO ₄ ,2H ₂ O	47,8
Na ₂ WO ₄ ,2H ₂ O	17,9
TiOSO ₄	33,3
Co(NO ₃) ₂ ,6H ₂ O	44

Fuente: Zarrouk, 1966 citado por Huaman, 2021.

Uno de los medios más usados es el Medio Zarrouk Modificado (MZM) usado principalmente en la propagación celular y la adaptación de la cepa, fue reemplazado el cloruro de sodio (NaCl) por SMC, usando las mismas concentraciones (Rojas et al., 2017).

Tabla 2. Elementos del Medio de cultivo MZM.

Reactivo	Concentración (g/L)
K ₂ HPO ₄	0,5
NaNO ₃	2,5
K ₂ SO ₄	1,0
MgSO ₄ ,7H ₂ O	0,2
CaCl ₂ , 7H ₂ O	0,04
FeSO ₄ , 7H ₂ O	0,01
EDTA	0,11
Inyecciones de CO ₂ usado como fuente de carbono	7 %

Fuente: Rojas et al., 2017.

En la tabla 3 se muestra el medio de cultivo Schlosser, usado para el cultivo de espirulina.

Tabla 3. Elementos del Medio de cultivo Schlosser.

Reactivo	Concentración (g/L)
NaHCO ₃	13,61
K ₂ HPO ₄	0,5
NaNO ₃	2,5
K ₂ SO ₄	1,0
NaCl	1
MgSO ₄ ,7H ₂ O	0,2
CaCl ₂ ,2H ₂ O	0,04
FeSO ₄ ,7H ₂ O	4,03
Medios PIV + CHU	6 + 1 (mL)
Vitamina B12	1 mL

Fuente: Schlösser, 1982 citado por Huaman, 2021.

Variables

El cultivo de espirulina en laboratorio, se lo realiza comúnmente en botellas es decir a una escala experimental en donde se controla todos los parámetros necesarios para el desarrollo de las microalgas, de una manera artificial se facilita factores ambientales que influyen en la espirulina como lo son: temperatura, luminosidad, pH y agitación, cabe recalcar que es indispensable el conocimiento y amable manejo de los recursos disponibles, de esta manera se puede beneficiar en una ágil y eficaz producción de

biomasa u algún metabolito de interés (Costa et al., 2019).

Temperatura: afecta directamente al crecimiento y desarrollo de *A. platensis*, ligado directamente a su capacidad de fotosíntesis y respiración de la misma. La temperatura óptima para la fotosíntesis en esta cianobacteria se sitúa en torno a los 30°-35°C. Recordando que este es un filamento que posee un amplio rango de desarrollo, la mayoría de los cultivos microalgales suelen tolerar temperaturas entre los 16 y 27 °C, a temperaturas que sobrepasen los 35 °C resultan letales para la mayoría de las especies microalgales (Guasto & Waliszewski, 2018).

pH: el potencial hidrógeno de la espirulina prospera en condiciones sumamente alcalinas con valor que oscila entre 8 y 10 (Gómez Rengifo, 2020), se conoce que el efecto del pH en un rango fuera de la escala antes mencionada, va a verse reflejado ya sea en la falta de crecimiento, la escasa producción de pigmentos, el exiguo contenido de proteínas, o un limitado nivel en su capacidad antioxidante (Soni et al., 2017).

Luminosidad: los métodos de cultivo las microalgas deben estar suministrados de una fuente de luz ya sea natural, artificial inclusive ambas, siendo este un factor necesario para la transformación en biomasa, el crecimiento de las microalgas aumenta gradualmente con una eficaz exposición e intensidad de luz, en donde la espirulina va a crecer hasta alcanzar su tasa máxima de reproducción, cabe mencionar la relevancia en la arquitectura del biorreactor junto al sistema de agitación debido a que estos permitirán la irradiancia que reciba cada una de las células (Rojas et al., 2017).

Con el constante movimiento se busca dar luz a las zonas oscuras como a las iluminadas con el objetivo de evitar la fotoinhibición. Si la luz se continua durante periodos 24 horas sin tiempos de oscuridad, los filamentos de la espirulina serán destruidos por fotólisis, varios

autores recomiendan tener la producción por un período de 12 horas de luz y 12 de oscuridad (Otero et al., 2021).

Agitación: es necesario agitar el cultivo de espirulina, con el objetivo de favorecer la dispersión uniforme de la cianobacteria en el medio de cultivo, para tener activó su mecanismo fotosintético, siendo indispensable el control de agitación, ya que una débil agitación provoca sedimentación de las microalgas, mientras que una agitación robusta causa turbulencias dañando la pared celular de las microalgas, el burbujeo no permite el correcto paso de luz (Armas & Ferrándiz, 2019; Pérez, 2019).

Curva de crecimiento

La cinética de crecimiento se desarrolla bajo condiciones controladas por cada investigador siendo 5 fases en el desarrollo de la espirulina. (López, 2018).

La fase de adaptación consiste en la aclimatación de la espirulina, se caracteriza por su baja velocidad de crecimiento, en donde la cepa se va adaptando gradualmente al medio de cultivo y a las condiciones en las que se encuentra (Martínez, 2019).

La fase de crecimiento exponencial una vez aclimatada, el incremento de biomasa inicial por unidad de tiempo va a aumentar de forma proporcional, a lo que se llama un crecimiento exponencial (Ortíz et al., 2018).

Según Maximiliano (2018), la fase de crecimiento lineal y su respectiva densidad de biomasa va a dar como resultado una disminución en la exposición de las células a la luz, el incremento de densidad continua de forma lineal a medida que se agotan los nutrientes del medio, se evidencia una inhibición en el aumento de la biomasa.

En la fase estacionaria la velocidad de crecimiento disminuye, la oxidación

metabólica se verá afectada por lo tanto disminuirá la densidad de biomasa, aquí se observa el máximo valor de concentración de la biomasa (Galvis, 2021). La fase de muerte va a determinar los procesos de descomposición debido a la muerte de las células, es ocasionada por alteración de las condiciones necesarias para el crecimiento luz, nutrientes, pH, temperatura (Silos, 2021).

Biorreactores

Según Huarachi et al. (2013), el control total de los parámetros del cultivo se lo debe realizar en sistemas cerrados, es decir, en fotobiorreactores, ya que son sistemas flexibles que pueden ser diseñados de acuerdo a las características biológicas y fisiológicas de una especie de microalga específica a usarse. Son sistemas cerrados donde pueden obtener la mayor cantidad de biomasa producida debido al control de variables (Sandoval, 2017).

Guillermo, et al. (2013), mencionan los tipos de fotobiorreactores para la producción de espirulina como el fotobiorreactor tubular, siendo eficiente en el sistema de mezcla (alto), el sistema de luz (alto), su transferencia de gas (medio-alto), su escalado resulta de gran facilidad (razonable).

Fotobiorreactor tipo fermentador de tanque agitado es eficiente en el sistema de mezcla (alto), el sistema de luz (medio-bajo), su transferencia de gas (alto-bajo) es el más convencional, su escalado conlleva un nivel de dificultad elevado(difícil). Fotobiorreactor con sistema airlift siendo efectivo en el sistema de mezcla(medio-alto), el sistema de luz (medio), su transferencia de gas (alto), su escalado resulta de gran facilidad (razonable).

Fotobiorreactor tipo híbrido es infalible en el sistema de mezcla(medio-alto), el sistema de luz (alto), su transferencia de gas (medio-alto), su escalado resulta de gran facilidad(razonable).

Fermentación sumergida

La fermentación sumergida consiste en el crecimiento del organismo de interés en un medio de cultivo líquido dentro de un biorreactor de manera monitorizada. Siendo una estrategia muy amplia, las ventajas que presenta este tipo de fermentación es que permite controlar las condiciones del medio de cultivo (pH, humedad, temperatura, etc.), y de manera segura va a conseguir el suministro de nutrientes a los microorganismos, de manera hacedera (Manzano, 2021), sus desventajas tiene un elevado coste económico y energético además, genera una cantidad significativa de aguas residuales o también llamado efluente (Ashok et al., 2017).

Sin embargo, lo esencial es la fácil esterilización y control de contaminantes, los nutrientes son uniformemente distribuidos a través de la fermentación, la cantidad de inóculo es relativamente baja, también resulta factible su escalamiento (Soccol et al., 2017).

Conservación

La Espirulina fresca, en estado de biomasa prensada, su contenido nutritivo, es superior a toda otra forma de microalgas. Según Caiza (2021), puede conservarse dos días en el refrigerador a 7°C o diez días a 1°C, además posee la capacidad de ser congelada fácilmente y preservarse sin problema alguno. En el proceso de conservación de las preparaciones de espirulina seca, el producto es completamente resistente a los hongos, no se ha evidenciado rastros de *Aspergillus flavus* ni aflatoxinas secretadas por este hongo que suele comúnmente aparecer en las preparaciones secas de tipo alimenticio. También se sabe que la espirulina industrial contiene menos de 100 esporas de hongos viables por gramo (Rodríguez & Serrano, 2006).

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la investigación realizada se ha obtenido información mediante la lectura de artículos científicos, en donde los resultados de recientes investigadores Tabla 4, demuestra que para obtener el producto deseado es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros de operación: concentración del medio, temperatura, tipo de luz e intensidad, medio de cultivo a usar; si se tiene presente estas variables se obtendrá la mayor cantidad de biomasa de espirulina.

Tomando en cuenta la metodología planteada, se da a conocer una base adecuada para abordar la producción de espirulina, ya que describe el bioproceso óptimo para la elaboración de la misma a escala de laboratorio.

En la literatura existente se ha encontrado una fuerte relación entre los autores (Huaman, 2021; Sandoval, 2017; Rodríguez & Serrano, 2006), concuerdan en que el rango del pH óptimo para la producción de espirulina es dentro de 8 a 10, ya que en un intervalo mayor a 10,2 muestran que las condiciones muy alcalinas no son favorables para un buen desarrollo del cultivo.

Tabla 4. Resultados de biomasa de espirulina a distintas condiciones

Variables	Valores	Biomasa (g)
Concentración	10	
Temperatura	18,3°C,	1,5 g
Luz	Solar 12/12	
Medio	Inorgánico	
Concentración	9-10	
Temperatura	24 °C	4.7 g
Luz	3240 lux (LED)	
Medio	Zarrouk	

Concentración	9	
Temperatura	25 °C	1.032 g
Luz	Solar 12/12	
Medio	Zarrouk	

Fuente: Sandoval, 2017; Huaman, 2021; Rodríguez & Serrano, 2006.

CONCLUSIONES

A. platensis es una especie de microalga con potencial de cultivo y comercialización en diversas industrias, es apreciada por sus propiedades nutritivas y medicinales, lo que evidencia su potencial en la industria alimentaria, farmacéutica, de cosméticos y biotecnológica. Entre las principales posibilidades de aprovechamiento se encuentra como: biocombustible, suplemento alimentario, uso farmacéutico, biodiésel, cosmético, carotenos, β -caroteno, vitaminas, entre otros, con actividades biológicas: antioxidante, anticancerígena, antibacteriana, antiinflamatoria y hepatoprotectora.

Para realizar un cultivo de espirulina para su producción, aprovechando el potencial comercial que posee dicha especie, es necesario indagar para conocer el bioproceso de su óptima elaboración, lo que garantiza que la producción de biomasa sea eficiente.

Sería recomendable que futuras investigaciones aborasen la problemática de escalado, llevando el proyecto al siguiente nivel: producción de espirulina a escala piloto.

Siendo el desafío de futuros investigadores culminar en una escala industrial, así, se evidenciará el interés aún más de las microalgas en el ámbito industrial.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece a las instituciones ejecutoras y auspiciantes como lo son Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente y al Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armas Pérez Borroto, E., & Ferrándiz Pastor, J. (2019). Extracto enzimático y procedimiento de obtención.
<https://patentimages.storage.googleapis.com/1a/18/9c/9a3a9f8fa8ade5/ES2813123A1.pdf>
- Ashok, A., Doriya, K., Ram, D., Rao, M., & Kumar, D. S. (2017). Diseño de biorreactores de estado sólido para aplicaciones industriales: descripción general de los biorreactores convencionales. Elsevier, 9, 11–18. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2016.10.014>
- Caiza Troya, R. A. (2021). Desarrollo y formulación de un suplemento nutricional a partir de algas de *Espirulina* (*Arthrospira platensis*). (Tesis para grado de Químico Farmacéutico) [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/23568>
- Camacho Morales, A. S. (2016). 4E06 Producción de Spirulina: Aislamiento, optimización de cultivo y secado FASE: Aislamiento y preservación *Arthrospira* (*Spirulina*) nativa de Jalisco. <http://hdl.handle.net/11117/3547>
- Costa, J. A. V., Freitas, B. C. B., Rosa, G. M., Moraes, L., Morais, M. G., & Mitchell, B. G. (2019). Aspectos operativos y económicos de la biorrefinería basada en la espirulina. *Bioresource Technology*, 292, 121946. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2019.121946>
- Costa, J. A. V., Freitas, B. C. B., Rosa, G. M., Moraes, L., Morais, M. G., Mitchell, B. G., Wisha, U. J., & Kusumah, G. (2019). Tendencias en los usos de la microalga de espirulina: una mini revisión. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 11(2), 29–38. <https://e-journal.unair.ac.id/JIPK/index>
- Galvis Sánchez, J. C. (2021). Crecimiento y bioacumulación de selenio en *Chlorella sorokiniana* UTEX 1230 y *Scenedesmus obliquus* ATCC Introducción Materiales y Métodos. 1–16. <http://hdl.handle.net/10784/30057>
- Gaudia Alcántara, M. del M. (2018). Revisión del estado actual de la problemática y de los métodos de análisis para determinación de metales pesados en espirulina. <https://hdl.handle.net/10953.1/8732>
- Gómez Rengifo, K. A. (2020). Aplicación de spirulina en el desarrollo de alimentación humana y animal. <http://hdl.handle.net/10251/158039>
- Guasto, A., & Waliszewski, W. (2018). *Arthrospira platensis* Monografía. In *Methods*. <https://www.colegiobolivar.edu.co/garden/wp-content/uploads/2019/06/Alejandra-Guasto-Arthrospira-Platensis.pdf>
- Guillermo, L., Mérida, R., Queiroz Zepka, L., & Jacob Lopes, E. (2013). Fotobiorreactor: herramienta para cultivo de cianobacterias fotobiorreactor: herramienta para el cultivo masivo de cianobacterias. *Ciencia y Tecnología*, 6, 9–19. <http://spirulina.greennutritionals>
- Huarachi, R., Yapó, U., Dueñas, A., Soto, J., & González, R. (2013). Producción de *spirulina platensis* (cyanophyta) en tubos cónicos de fotobiorreactores en condiciones de laboratorio. *The Biologist*, 11(2), 217–227. <https://doi.org/https://doi.org/10.24039/rbt2013112400>
- Lafarga, T., Fernández-Sevilla, J. M., González-López, C., & Ación-Fernández, F. G. (2020). Espirulina para las industrias alimentaria y alimentaria funcional. *Food Research International*, 137, 109356. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109356>
- Laura Huaman, J. I. (2021). Modelamiento matemático para la optimización de los factores que influyen en la producción de biomasa de *Spirulina* (*arthrospira platensis*) como una alternativa de mitigación de la contaminación del aire por fijación de CO2 atmosférico. (Tesis para grado d [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12336/MDzutoma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López Cruz, C. (2018). Sistema automatizado de control de variables Físicoquímicas en un prototipo

- para favorecer la apropiación social del cultivo de spirulina spp. (Tesis para grado de Maestro) [Instituto tecnológico y de estudios superiores de occidente].
<https://hdl.handle.net/11117/6197>
- Manzano Nicolás, J. D. (2021). Estudio del enzima Lacasa y sus aplicaciones en la industria alimentaria.
<http://hdl.handle.net/10201/113084>
- Martínez Romero, A. G. (2019). Evaluación de la remoción de nitrógeno y fósforo contenidos en agas residuales de origen porcícola por medio de *Spirulina maxima* y *Chlorella* spp. [Instituto tecnológico de Orizaba].
http://repositorios.orizaba.tecnm.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/291/Ary_Gayll_Martínez_Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ortíz Villota, M. T., Romero Morales, M. A., & Meza Rodríguez, L. D. (2018). La biorremediación con microalgas (*Spirulina máxima*, *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris*) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque, Colombia. *Revista de Investigación Desarrollo e Innovación*, 9(1), 163–176. <https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n1.2018.8153>
- Otero Hernández, C., Verdasco Martín, C., & Díaz Lozano, A. (2021). Método para la obtención de un extracto con propiedades anti-hipertensivas, anti-hiperlipidémicas y antioxidantes.
<https://patentimages.storage.googleapis.com/1a/18/9c/9a3a9f8fa8ade5/ES2813123A1.pdf>
- Pérez, L. (2019). Optimización de las operaciones de separación de biomasa algal [Universidad de Vigo]. <http://hdl.handle.net/11093/1281>
- Ramos Cruzate, L. A. (2020). Análisis de experiencias de mejora continua en la producción industrial de spirulina. Una revisión sistemática. In Ucv.
https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23982/Delgado_Espinoza%2C_Yaceli_Maribel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodriguez Cuesta, A. R., & Triana Serrano, C. F. (2006). Evaluación del pH en el cultivo de *Spirulina* spp. (*Arthrospira*) bajo condiciones de laboratorio. (Tesis para grado de Microbiólogo) [Pontificia Universidad Javeriana]. <http://hdl.handle.net/10554/8281>
- Rojas, D., Vargas, G., & Saénz, A. (2017). Evaluación del crecimiento de *Spirulina platensis* UTEX 1926 cultivada en medios salinos, utilizando CO₂ como fuente de carbono.
<https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/12222>
- Ruiz, A. M. (2020). Las microalgas y la salud en la actualidad, una revisión bibliográfica.
<http://hdl.handle.net/10609/128726>
- Sandoval Simbaña, D. C. (2017). Evaluación del crecimiento de espirulina (*Arthrospira platensis*) mediante alternativas de fertilización orgánica e inorgánica y su masificación en condiciones de campo en la hda. El prado. (Tesis para grado de Ingeniero) [Universidad de las fuerzas armadas].
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14508>
- Schlösser, U. G. (1982). Sammlung von Algenkulturen. *Berichte Der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 95(1), 181–276. <https://doi.org/10.1111/J.1438-8677.1982.TB02862.X>
- Silos Vega, C. A. (2021). Efecto del medio de cultivo sobre el crecimiento y valor nutricional de *Arthrospira maxima* [Universidad Autónoma de San Luis Potosí].
https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/3900/ARGUMEDO_MOIX.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Soccol, C. R., Costa, E. S. F. da, Letti, L. A. J., Karp, S. G., Woiciechowski, A. L., & Vandenberghe, L. P. de S. (2017). Desarrollos e innovaciones recientes en la fermentación en estado sólido. *Biotechnology Research and Innovation*, 1(1), 52–71.
<https://doi.org/10.1016/j.biori.2017.01.002>
- Soni, R. A., Sudhakar, K., & Rana, R. S. (2017). Espirulina – Del crecimiento al producto nutricional: una revisión. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 1–12.
<https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2017.09.010>

Villalba, C. I. (2018). Bioprospección de *Arthrospira platensis* nativa del Chaco Paraguayo como propuesta alternativa para fines alimentarios.

Zarrouk, C. (1966). Contribución al estudio de una cianofícea. Influencia de diversos factores físicos y químicos en el crecimiento y la fotosíntesis de *Spirulina maxima*. [University of Paris]. [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1332043](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1332043)