
SPIRULINA EN COLOMBIA: UNA APROXIMACIÓN DE SU POTENCIAL SEGÚN INVESTIGACIÓN INTERNACIONAL

Sergio Andrés Orduz y Marcela Rey Arévalo

William Torres Quitian

Carlos Martínez

Grupo de investigación Agroindustrial La Angostura
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Regional Huila
Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
Correspondencia autores: sorduz@gaiaibiodiversa.com

Resumen: Colombia tiene un potencial de biodiversidad enorme; tal es el caso del alga *Arthrospira* sp., también conocida como *Spirulina* sp., que es una de las especies más versátiles y sus usos abarcan industrias contrastantes como la energética o la agroindustrial. Esta situación es especialmente favorable en Colombia, cuya producción está en auge, aunque su potencial no es del todo comprendido.

El objetivo de esta revisión es consolidar la información académica internacional relacionada con el uso y las propiedades de *Spirulina* sp., para así poder proyectar dichas capacidades al producto final en el país. Para esto se realizó una metabúsqueda usando la base de datos SCOPUS con rango temporal desde 2008 hasta 2018, excluyendo información incompleta en dichas bases de datos. Esta consolidación permitió identificar que para la industria ambiental *Spirulina* sp. tiene potencial en la absorción de metales pesados como Cr, Zn, Pb; así mismo, tiene la capacidad de ser usada en tratamiento de aguas residuales o en mercados verdes. Por otra parte, se identificó que su potencial nutraceútico es grande, dados los compuestos antioxidantes o antimicrobianos que el alga posee. Desde la perspectiva clínica, el potencial es amplio, pero aún se recomiendan estudios para confirmar la información hasta el momento estudiada. Mientras que en el sector agroindustrial se resalta el uso de *Spirulina* sp. en la producción de los derivados lácteos, tales como yogurt y quesos. Para el caso de la industria pecuaria, esta alga es una excelente fuente nutricional para bovinos y porcinos. Por esta razón, la producción de *Spirulina* sp. en Colombia resulta ser importante por la cantidad de usos potenciales que tiene, así como la variedad de productos que pueden ser desarrollados en el país, consolidando aún más la capacidad de transformación industrial promovida por mercados verdes.

SPIRULINA IN COLOMBIA: AN APPROXIMATION OF ITS POTENTIAL ACCORDING TO INTERNATIONAL RESEARCH

Abstract: Colombia has a huge biodiversity potential; such is the case of the *Arthrospira* sp. algae, also known as *Spirulina* sp., which is one of the most versatile species and its uses include contrasting industries like renewable energy or agroindustrial. This situation is peculiarly favorable in Colombia whose production is booming, although its potential is not completely understood.

The main objective of this review is to consolidate international academic information related to the use and properties of *Spirulina* sp., in order to project these capabilities to the final product in the country. For this, the metasearch was performed managing the SCOPUS database with a time range from 2008 to 2018, excluding incomplete information within saying databases. This consolidation allowed identifying that for the environmental industry *Spirulina* sp. has potential in the selective absorption of heavy metals such as Cr, Zn, Pb; likewise, it has the capacity to be used in wastewater treatment or green markets. Then again, it was identified that its nutraceutical potential is great, given the antioxidant or antimicrobial compounds that the algae possess. From the clinical perspective, the potential is broad, but studies are still recommended to confirm the information until the moment studied. While in the agro-industrial sector it is common to use *Spirulina* sp. in the local production of dairy products, like yogurt and cheeses. In the case of the livestock industry, this alga is an excellent nutritional source for cattle and swine animal production. For this reason, the production of *Spirulina* sp. in Colombia is important, because of the number of potentials uses it has. As well as the variety of products that can be developed in the country, further consolidating the industrial transformation capacity promoted by green markets.

Introducción

El uso de la biodiversidad en la economía colombiana es trascendental. La agricultura, como un motor de desarrollo, es importante en este país tropical pues su desarrollo se basa precisamente en el uso de especies vegetales para su explotación. Además, la producción pecuaria, que es también de carácter importante en la economía nacional, aporta un 6,5% al PIB y se fundamenta en la producción de fauna a lo largo de todo el territorio nacional (SCA, 2018). Sin embargo, no es la única forma de biodiversidad que participa activamente en la economía de este país; los microorganismos son también fuentes importantes, puesto que participan en la transformación agroalimentaria, la cual incrementa el valor base de los productos agropecuarios primarios.

El uso de microorganismos en la industria mundial es importante, y ejemplos prácticos de ello están relacionados con la producción de queso madurado, cerveza, entre otros (Graham, 2016; López, 2011). El uso que las bacterias y hongos representan a nivel nacional es de relevancia industrial, no por nada la producción de cerveza fue de 17.800 millones de hectolitros en el 2018, mientras que el 20% de la producción de leche fue destinada a la fabricación de queso durante el 2016 (Banrepublicultural, 2018; Miniagricultura, 2016). Sin embargo, otras especies, además de ser parte de la cadena de producción primaria, han tomado fuerza dada su facilidad de ser transformadas para usos alternativos; tal es el caso del alga *Arthrospira* sp. (figura 1), comercialmente

conocida como *Spirulina sp.* (en adelante spirulina), cuyos usos agroindustriales, agropecuarios, nutricionales, ambientales, veterinarios e incluso clínicos son posibles dadas las condiciones versátiles para su producción, sus características metabólicas y su composición química (Piccolo, 2012).



Figura 1a. Producción de la spirulina en estanques. **Figura 1b.** La spirulina deshidratada (ECOESPIRULINA, 2018).

Colombia es un país cuyas características ambientales lo convierten en una zona de óptima producción de spirulina, a lo que se suma la ventaja de que su cultivo no demanda áreas extensas, contrario a la creencia popular y, por tanto, no afectaría otras líneas de producción agrícola o pecuaria. Debido a estas apreciaciones, es importante identificar el potencial que dicho género tiene, y es así que el objetivo de esta corta revisión es identificar el potencial de la spirulina y las opciones de uso final de la misma, ampliando el panorama de producción a nivel industrial con base en información académica internacional.

Materiales y métodos

Con miras a establecer un plano académico y de investigación sobre la spirulina, se realizaron las metabúsquedas en la base de datos académica SCOPUS (www.scopus.com) con fecha de acceso del 22 de agosto de 2018, usando como espacio temporal 2008 a 2018. En la búsqueda realizada en SCOPUS se excluyeron las subáreas “COMP”, “SOCI”, “MATH”, “HEAL”, “DENT”, “DECI”, “PSYC”, “NEUR”, “BUSI” y se realizaron análisis de la información en las áreas de agricultura, ciencias am-

bientales, áreas clínicas e ingeniería y energía; aquella información incompleta (por ejemplo autor o título de la revista) o no correspondiente a un artículo impreso o en línea, se excluyó del análisis. Posteriormente, se realizó la selección y extracción de la información más importante de los artículos, con el fin de determinar el potencial o capacidad de la spirulina y así poder dimensionar la capacidad que tiene esta alga en Colombia, con base en la investigación científica relacionada.

La búsqueda inicial arrojó 1.801 resultados, que con la posterior exclusión de área se redujo a 1.703, los cuales en algunos casos se distribuyen en más de un área, por lo cual el total de artículos enumerados por la base de datos es superior a 3.000 (tabla 1). La selección de los artículos finales para la revisión se realizó luego de una lectura detallada de los artículos y según el perfil industrial de Colombia.

Tabla 1. Artículos enumerados por área y sub área según los resultados de búsqueda realizada en la base de datos académica SCOPUS el 22 de agosto de 2018, usando como palabra clave de búsqueda “spirulina”

Área	Subárea	Total de artículos enumerados
Agropecuario	Agricultura y ciencias biológicas	835
	Veterinaria	42
Ambiental	Bioquímica, genética y biología molecular	392
	Ciencias ambientales	292
	Ciencias de materiales	34
	Tierra y ciencias planetarias	28
Clínica	Medicina	445
	Farmacología, toxicología y farmacéutica	265
	Inmunología	123
	Psicología	2

Área	Subárea	Total de artículos enumerados
Ingeniería	Ingeniería química	438
	Química	226
	Energía	130
	Ingeniería	105
Nutrición humana	Profesiones de la salud	14
Sub áreas excluidas	Física y astronomía	25
	Neurociencias	16
	Ciencias computacionales	13
	Ciencias sociales	11
	Negocios y gerencia	3
	Odontología	3
	Matemáticas	3

Resultados de búsqueda

Uso en energía e ingeniería

Uno de los principales retos en usar la spirulina para la producción de biocombustibles es la extracción de los aceites que esta alga contiene; el método más eficiente es el rompimiento celular de la spirulina mediante presiones osmóticas con recuperación de lípido de 8,9%. Sin embargo, esta revisión se enfocó en otras líneas potenciales, para así ampliar la expectativa de uso de la spirulina más allá del biodiesel (Sumprasit *et al.*, 2017); sin embargo, el gran reto es la producción masiva de dicha especie, para lo cual se han establecido criterios y condiciones de cultivo de optimización de proceso de producción en diferentes medios (crecimiento tubular, cultivo en invernadero, columnas verticales suplementadas con CO₂) así como más condiciones nutricionales para el crecimiento ideal de la spirulina, toda vez que sus características nutricionales o concentración de aceites finales sea la ideal para cualquier tipo de industria (Soni *et al.*, 2017). Otra opción para la producción energética con uso de algas es la producción de gas con biomasa

de algas mediante la combustión de las mismas, esto dado el alto contenido de compuestos nitrogenados y aceites biológicos que favorece la baja reducción de PHA's, permitiendo, además, la producción de fracción gaseosa de 87,1wt% (Hong *et al.*, 2017).

Usos ambientales

Como alga, su capacidad de absorción de metales pesados es relevante. Se ha demostrado que a pH de 2,0 la máxima capacidad de absorción de Cr(VI) es de 41,12 mg por gramos de extracto de *Spirulina plantensis*, con la posibilidad de recuperar el metal con una solución de NaOH 0,1 M; además, también se tienen reportes de remoción de cromo hasta 95% en pH neutro, por lo que la spirulina puede ser considerada como una estrategia de tratamiento y reciclaje de Cr(VI) en aguas contaminadas (Balaji *et al.*, 2015; Kwak *et al.*, 2015). También ha sido reportada la bioadsorción de Cr(VI) y Pb(II) en aguas residuales industriales por *S. platensis* inmovilizada con alginato, aunque el efecto de reducción es mayor con el Cr(VI) (Babu *et al.*, 2013). Otra estrategia para la biorremediación del Cr(VI) es su transformación a un estado de menor toxicidad, de manera que sea reducido a Cr(III) el cual es fácilmente sedimentable, con un rango de pH entre 0,5 a 6,0 y temperaturas entre 25-45 °C, lo que permite su posterior manejo, reduciendo el impacto ambiental de dicho elemento, siempre y cuando sean controlados aniones como Cl⁻, SO₄⁻² y NO⁻³ que reducen la capacidad de reducción de Cr por la spirulina (Gagrai *et al.*, 2013).

Con relación al Zn, se evidenció que al trabajar una concentración de spirulina de 60 g por litro de afluente, se logró remover el 83% de este metal en el afluente con una capacidad de absorción máxima de 7,1 mg de Zn/g de alga (Zinicovscaia *et al.*, 2018). Por otra parte, *S. máxima* tiene la capacidad de soportar hasta 17 mg/L de zinc, por lo cual es la especie con mayor potencial para ser usada en sistemas de biorremediación de aguas residuales (Balaji *et al.*, 2014). El uso de biomasa seca

de spirulina, como estrategia de tratamiento, también ha sido evaluado. Ferreira *et al.* (2011) identificaron que la absorción de Ni^{2+} , Zn^{2+} o Pb^{2+} se da por la interacción entre los carbohidratos del alga y el metal y, por lo tanto, en biomasa seca la absorción puede ser mayor, al compararla con biomasa húmeda de spirulina; incluso bajo esta misma estrategia se evidenció la adsorción de Cd con remociones de hasta el 98% en aguas contaminadas (Solisio *et al.*, 2008).

Por otra parte, la spirulina se considera como opción para el tratamiento de aguas residuales con valor agregado. Entre ellos se destaca el tratamiento de aguas residuales procedentes de cultivos acuícolas donde, además de la reducción de contaminantes, se usa el subproducto de esta como biofertilizante para el cultivo de vegetales como la rúcula (*Eruca sativa*) o la espinaca china (*Ameranthus gangeticus*), así como un potencial para la germinación de col china repo (*B. rapa ssp. chinensis*) y col verde chino (*Brassica oleracea alboglabra*) (Wuang *et al.*, 2016). En tratamientos de la industria porcina, se realizaron ensayos donde, diluyendo el cultivo de spirulina en agua residual de dicha industria, se redujo en 23 y 45% la DQO y DBO, respectivamente, del afluente, y concluyen que el uso del alga puede optimizar costos de producción en porcino al establecer sistemas de tratamiento de aguas residuales biológicos y económicos e, incluso, contemplar dichas aguas para la producción a escala piloto de spirulina (Cheunbarn y Peerapornpisal, 2010; Guo *et al.*, 2014).

En aguas residuales domiciliarias la spirulina resulta una opción eficiente y con opción de producción a escala. Zhai *et al.* (2017) demostraron que al cultivar esta alga con aguas residuales se logra su producción a escala industrial y una reducción simultánea cercana al 95% de fósforo total y 93% del nitrógeno total del afluente.

Se ha descubierto, además, que la spirulina inmovilizada puede ser usada en sistemas de recirculación acuícolas, esto dado que reduce la concentración de metales y los niveles de nitritos en hasta 32% (Somba-

tjinda *et al.*, 2014).

Como estrategia para la industria del carbono, el potencial de la spirulina para fijar CO_2 es importante, con picos máximos de 42.506 mg/(L*h), siendo usada como fuente inorgánica de C y que aporta al control en la reducción de pH del medio de cultivo (Yang *et al.*, 2013). Paralelamente, se ha considerado el uso de CO_2 más aguas residuales domiciliarias como medio ideal de producción de spirulina, y aunque a elevada concentración de CO_2 y 8-80% de aguas residuales domésticas no se obtiene alta tasa de crecimiento del alga, sí se logran elevadas concentraciones de clorofila, proteínas y carbohidratos de la célula comparada con cultivos tradicionales, lo cual resulta útil para la industria farmacéutica y cosmética (Park *et al.*, 2013).

Usos Agroindustriales

La spirulina ha sido considerada como un posible suplemento en productos con prebióticos, puesto que favorece la viabilidad del microorganismo, además de incrementar la acidez del alimento y ayudar al almacenamiento del producto fermentado sin afectar las propiedades fisicoquímicas de los productos ni sus atributos sensoriales (Kavimandan, 2015); en este sentido, Akalin *et al.* (2009) demostraron que al usar esta alga en la fermentación de yogurt con *Bifidobacterium sp.* se preserva la concentración celular hasta 6×10^6 UFC.

En la producción de derivados lácteos, como son los quesos con probióticos, la spirulina resultó ser un aditivo adecuado para la preservación de *Lactobacillus acidophilus* en queso feta. Wuang *et al.* (2016) demostraron que la adición del alga en concentraciones de 0,8% (p/v) incrementó la cantidad de hierro, proteínas y resistencia de los prebióticos en queso feta cuando se almacenó a 4 °C y, además, favoreció la sobrevivencia de la bacteria durante el almacenamiento.

El uso más prometedor de la spirulina es el potencial que tiene como sustituto de proteína animal para complementos alimenticios humanos, dado que es posible

obtener hasta 83,9% de proteína cruda a partir de algas, sin contar el potencial de su contenido de carbohidratos y lípidos, que son indispensables en nutrición humana (Becker, 2009; Pereira *et al.*, 2018).

Usos en clínica

Los estudios realizados para la industria clínica han identificado que la spirulina puede producir insulina inmunoactiva y demás usos farmacéuticos con resultados prometedores en ratones; de la misma forma, se identificó que los extractos proteicos similares a la insulina producidos por la spirulina son más efectivos que aquellos extractos etanólicos o acuosos usados actualmente en tratamientos para pacientes con diabetes (Anwer *et al.*, 2013; Anwer *et al.*, 2012).

En 2018, De la Jara *et al.* consolidaron estudios clínicos donde resaltaron el uso de *Arthrospira* en estudios clínicos con dispepsia, diabetes, lesiones de páncreas, alergias, efectos virales y estudios nutricionales; sin embargo, resaltan que deben ser realizados más estudios de cada uno de los posibles usos de la spirulina para, de esta manera, validar las ventajas en la salud humana que puede tener este microorganismo.

Usos en nutrición humana

En 2009, Abd El-Baky *et al.* identificaron compuestos como antioxidantes, antimicrobianos y pigmentos, los cuales tienen características similares a nutraceúticos comerciales de esa época, como por ejemplo las a C-ficocianinas, las cuales tienen actividad antioxidante o B-carotenos como pigmentos naturales (Madhyastha *et al.*, 2009; Xian *et al.*, 2014).

Como parte de los procesos de calidad relacionados con suplementos nutricionales, es importante identificar la posible contaminación microbiológica que afecte la vida útil del producto y del usuario final. Precisamente, Hoekstra *et al.* (2011) identificaron que *Clostridium sp.* puede estar presente en productos derivados de la spirulina y, por tanto, deben ser considerados como objeto de control sanitario para los fines pertinentes.

Usos en el sector agropecuario

En producción de porcinos se ha identificado que la spirulina puede favorecer los parámetros fisiológicos y metabólicos de los animales producidos en granjas; para ello, se adicionó Cu en el alga, apoyados en su capacidad de absorción, luego se comparó la alimentación de animales con algunas sales, y se identificó que los niveles de asimilación de N por los animales son similares independiente del tratamiento, además de presentar menores concentraciones de colesterol de baja densidad y colesterol total (Saeid *et al.*, 2013). Por otra parte, se evaluó suplementar la dieta de bovinos con 40 g de spirulina seca diaria por animal, lo cual aumentó el perfil lipídico en la leche de producción, reduciendo la concentración de ácidos grasos saturados e incrementando los ácidos grasos mono y poli saturados, que son considerados saludables para el corazón humano (CDC, 2018; Christaki *et al.*, 2012).

Para la producción de conejos, se ha identificado que el suplemento de spirulina en la dieta genera efectos beneficiosos transgeneracionales sobre la foliculogénesis que favorece la reproducción de los animales (Abadjieva *et al.*, 2018).

En la industria piscícola, la necesidad de buscar alternativas de suplementos proteicos ha sido indispensable, especialmente porque las principales fuentes de N (harina de pescado) son escasas y la fuente suplementaria (soya) ha incrementado sustancialmente su valor en la última década. Se demostró que el alimento para tilapia suplementado con spirulina al 30% presenta un óptimo nivel dietario, como N en el alimento, favoreciendo la producción piscícola con la mejoría de la salud en juveniles de tilapia del Nilo (Velasquez *et al.*, 2016); a su vez, se ha reportado que aunque usando suplemento exclusivo, la spirulina como alimento en tilapia es más favorable para el crecimiento del animal comparado con el alimento comercial, pero el contenido de proteína (36,9%) y grasas (37,7%) es menor que

en animales alimentados con concentrado comercial (42,3% y 8,6%, respectivamente) (Ju *et al.*, 2017). También se evaluó el uso de la spirulina como suplemento dietario de camarón y se identificó que niveles entre 8-10% del alga en alimento favorece el crecimiento y la sobrevivencia en cultivos, además de incrementar la capacidad reproductiva y salud inmunológica del animal (Macías-Sancho *et al.*, 2014; Namaei *et al.*, 2018). Como cultivos acuícolas alternos, se ha demostrado que la spirulina también resulta ideal como suplemento alimenticio para el crecimiento e inmunidad para cultivos de ostras en etapa juvenil, siempre y cuando la spirulina sea mezclada con soya y extracto de levadura en la formulación de dietas (C. Yang *et al.*, 2017).

La spirulina también es considerada para procesos de fitocontrol en cultivos de interés, donde se ha identificado que los extractos fenólicos obtenidos de esta alga controlan el crecimiento de *Fusarium graminearum*, reduciendo las micotoxinas que afectan a cultivos de cereal en 68% (Pagnussatt *et al.*, 2014), lo que la proyecta como un producto de control de plagas en el país. Por otra parte, las microalgas han sido probadas en producción de maíz en cultivos de invernadero, bajo condiciones controladas, demostrando que pueden ser ideales para sistemas circulares de fertilización (Alobwede *et al.*, 2019).

Conclusiones

El potencial de la spirulina es amplio; su uso en diversas industrias como la agropecuaria, ambiental e industrial es importante, especialmente porque en Colombia dichas industrias representan el crecimiento económico del país. La identificación de su potencial permite ampliar el panorama de uso de esta alga más allá del Biodiesel y ahora se muestra un perfil transversal que incluye manejo ambiental en conjunto con producción pecuaria y agroindustrial, favoreciendo las actividades inclusivas encaminadas por las políticas de reincorporación a la vida civil en el marco del proceso

de paz, y que fortalecerá la cadena de producción rural para dar más opciones de mejorar la calidad de vida de la comunidad rural.

Referencias bibliográficas

- Abadjieva, D.; Shimkus, A.; Shimkiene, A.; Rashev, P.; Kistanova, E. (2018). "Transgenerational beneficial effect of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* on the rabbit ovaries". *Journal of Applied Phycology*, 30(3): 1691–1700. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1400-y>
- Abd El-Baky, H. H.; El Baz, F. K.; y El-Baroty, G. S. (2009). "Characterization of nutraceutical compounds in blue green alga *Spirulina maxima*". *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 8(11): 1113-1126.
- Akalin, A. S.; Ünal, G.; y Dalay, M. C. (2009). "Influence of *Spirulina platensis* biomass on microbiological viability in traditional and probiotic yogurts during refrigerated storage". *Italian Journal of Food Science*, 21(3): 357-364.
- Alobwede, E.; Leake, J.; y Pandhal, J. (2019). "Circular economy fertilization: Testing micro and macro algal species as soil improvers and nutrient sources for crop production in greenhouse and field conditions". *Geoderma*, 15: 113-123. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.049>
- Anwer, R.; Alam, A.; Khursheed, S.; Kashif, S. M.; Kabir, H.; y Fatma, T. (2013). "Spirulina: Possible pharmacological evaluation for insulin-like protein". *Journal of Applied Phycology*, 25(3): 993-889. <https://doi.org/10.1007/s10811-012-9924-z>
- Anwer, R.; Khursheed, S.; y Fatma, T. (2012). "Detection of immunoactive insulin in *Spirulina*". *Journal of Applied Phycology*, 24(3): 583-591. <https://doi.org/10.1007/s10811-011-9757-1>
- Babu, R. L.; Vijayalakshmi, E.; Kumar, M. N.; Patil, R. H.; Devaraju, K. S.; y Sharma, S. C. (2013). "Biosorp-

- tion of chromium(VI) and lead(II): Role of *Spirulina platensis* in the treatment of industrial effluent". *Bioremediation Journal*, 17(4): 231-239. <https://doi.org/10.1080/10889868.2013.827619>
- Balaji, S.; Kalaivani, T.; y Rajasekaran, C. (2014). "Biosorption of Zinc and Nickel and Its Effect on Growth of Different *Spirulina* Strains". *Clean - Soil, Air, Water*, 42(4): 507-512. <https://doi.org/10.1002/clen.201200340>
- Balaji, S.; Kalaivani, T.; Rajasekaran, C.; Siva, R.; Shalini, M.; Das, R.; y Dhamorikar, P. (2015). "Bioremediation Potential of *Arthrospira platensis* (Spirulina) against Chromium (VI)". *Clean - Soil, Air, Water*, 43(7): 1018-1024. <https://doi.org/10.1002/clen.201400133>
- Banrepublicultural (2018). "La industria cervecera en Colombia". Retrieved March 1, 2018, from <http://www.banrepultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-260/la-industria-cervequera-en-colombia>
- Becker, E. W. (2009). "Micro-algae as a source of protein". *Biotechnology Advances*, 25(2): 207-210. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>
- CDC (2018). Fase de seguimiento: Grasas: saturadas, insaturadas y trans.
- Cheunbarn, S. y Peerapornpisal, Y. (2010). "Cultivation of *Spirulina platensis* using anaerobically swine wastewater treatment effluent". *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(4): 586-590.
- Christaki, E.; Karatzia, M.; Bonos, E.; Florou-Paneri, P.; y Karatzias, C. (2012). "Effect of dietary *Spirulina platensis* on milk fatty acid profile of dairy cows". *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7(7): 597-604. <https://doi.org/10.3923/ajava.2012.597.604>
- De la Jara, A.; Ruano-Rodríguez, C.; Polifrone, M.; Assunção, P.; Brito-Casillas, Y.; Wägner, A. M.; y Serra-Majem, L. (2018). "Impact of dietary *Arthrospira* (Spirulina) biomass consumption on human health: main health targets and systematic review". *Journal of Applied Phycology*, 30(4): 2403-2323. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1468-4>
- ECOESPIRULINA (2018). Ecoespirulina. Retrieved October 6, 2018, from <https://ecoespirulina.es/marca-especializada-alta-calidad/cultivo-sostenible-espana/>
- Ferreira, L. S.; Rodrigues, M. S.; De Carvalho, J. C. M.; Lodi, A.; Finocchio, E.; Perego P.; y Converti, A. (2011). "Adsorption of Ni²⁺, Zn²⁺ and Pb²⁺ onto dry biomass of *Arthrospira* (Spirulina) platensis and *Chlorella vulgaris*. I. Single metal systems". *Chemical Engineering Journal*, 173(2): 326-333. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.07.039>
- Gagrai, M. K.; Das, C.; y Golder, A. K. (2013). "Reduction of Cr(VI) into Cr(III) by *Spirulina* dead biomass in aqueous solution: Kinetic studies". *Chemosphere*, 93(7): 1366-1371. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.08.021>
- Graham, S. (2016). "Saccharomyces species in the Production of Beer". *Beverages*, 2(34): 1-18. <https://doi.org/10.3390/beverages2040034>
- Guo, Q.-Q.; Liu, R.; Luo, J. F.; Wang, G. R.; Chen, L. J.; y Liu, X. (2014). "Pilot-scale cultivation of *Spirulina platensis* with digested piggery wastewater. *Huanjing Kexue/Environmental Science*, 35(9): 3480-3486. <https://doi.org/10.13227/j.hjxx.2014.09.033>
- Hoekstra, D. T.; Volschenk, H.; Collins, M.; y L. D., M. (2011). "An investigation of *Clostridium* species present in nutraceutical preparations of *Arthrospira platensis* (Spirulina) for human consumption". *Journal of Applied Phycology*, 23(4): 777-787. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9630-7>
- Hong, Y.; Chen, W.; Luo, X.; Pang, C.; Lester, E. y Wu, T. (2017). "Microwave-enhanced pyrolysis of macroalgae and microalgae for syngas production". *Bioresource Technology*, 237: 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.039>

- org/10.1016/j.biortech-2017.02.006
- Ju, Z.; Davis, S.; Ramm, K.; Steck, M.; Soller, F.; y Fox, B. (2017). "Effects of microalgae-added diets on growth performance and meat composition of tilapia (*Oreochromis mossambicus*)". *Aquaculture Research*, 48(9): 5053-5061. <https://doi.org/10.1111/are.13322>
- Kavimandan, A. (2015). "Incorporation of *Spirulina platensis* into probiotic fermented dairy products". *International Journal of Dairy Science*, 10(1): 1-11. <https://doi.org/10.3923/ijds.2015.1.11>
- Kwak, H. W.; Kim, M. K.; Lee, J. Y.; Yun, H.; Kim, M. H.; Park, Y. H.; y Lee, K. H. (2015). "Preparation of bead-type biosorbent from water-soluble *Spirulina platensis* extracts for chromium (VI) removal". *Algal Research*, 7: 92-99. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2014.12.006>
- López, A. (2011). "Diversidad de la microbiota fúngica del queso paipa fabricado en Pacho, Cundinamarca". *Revista ION*, 21(1): 77-84. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v24n1/v24n1a10.pdf>
- Macias-Sancho, J.; Poersch, L. H.; Bauer, W.; Romano, L. A.; Wasielesky, W.; y Tesser, M. B. (2014). "Fishmeal substitution with *Arthrospira (Spirulina platensis)* in a practical diet for *Litopenaeus vannamei*: Effects on growth and immunological parameters". *Aquaculture*, 426-427: 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture-2014.01.028>
- Madhyastha, H. K.; Sivashankari, S.; y Vatsala, T. M. (2009). "C-phycocyanin from *Spirulina fusciformis* exposed to blue light demonstrates higher efficacy of in vitro antioxidant activity". *Biochemical Engineering Journal*, 43(2): 221-224. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.11.001>
- Miniagricultura (2016). "Cadena Láctea". Bogota D.C. Retrieved from <https://sioc.minagricultura.gov.co/SICLA/Documentos/002-CifrasSectoriales/2016Abril.pdf>
- Namaei, K. M.; Esmaeili, F. A.; Firouzbakhsh, F.; y Hayati, I. (2018). "Effects of dietary incorporation of *Arthrospira (Spirulina) platensis* meal on growth, survival, body composition, and reproductive performance of red cherry shrimp *Neocaridina davidi* (Crustacea, Atyidae) over successive spawnings". *Journal of Applied Phycology*, 30(1): 431-442. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1220-5>
- Pagnussatt, F. A.; Del Ponte, E. M.; Garda-Bufferon, J.; y Badiale-Furlong, E. (2014). "Inhibition of *Fusarium graminearum* growth and mycotoxin production by phenolic extract from *Spirulina* sp.". *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 108(1): 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2013.11.002>
- Park, Y. I.; Labrecque, M.; y Lavoie, J. M. (2013). "Influence of elevated CO2 and municipal wastewater feed on the productivity, morphology, and chemical composition of *Arthrospira (spirulina) platensis*". *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 1(11): 1348-1356. <https://doi.org/10.1021/sc400230q>
- Pereira, A. M.; Lisboa, C. R.; y Costa, J. (2018). "High protein ingredients of microalgal origin: Obtainment and functional properties". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47: 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.02.015>
- Piccolo, A. (2012). *Report / Rapport : Sf / 2011 / 16 Spirulina – a Livelihood and a Business Venture*. Mauritius. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-az386e.pdf>
- Saeid, A.; Chojnacka, K.; Korczyński, M.; Korniewicz, D.; y Dobrzański, Z. (2013). "Effect on supplementation of *Spirulina maxima* enriched with Cu on production performance, metabolical and physiological parameters in fattening pigs". *Journal of Applied Phycology*, 25(5): 1607-1617. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-9984-8>
- SCA (2018). "PIB total y agropecuario". Retrieved March 1, 2018, from <http://www.sac.org.co/es/estu->

- dios-economicos/estadisticas.html
- Solisio, C.; Lodi, A.; Soletto, D.; y Converti, A. (2008). "Cadmium biosorption on *Spirulina platensis* biomass". *Bioresource Technology*, 99(13): 5933-5937. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.002>
- Sombatjinda, S.; Wantawin, C.; Techkarnjanaruk, S.; Withyachumnarnkul, B.; y Ruengjitchatchawalya, M. (2014). "Water quality control in a closed re-circulating system of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) postlarvae co-cultured with immobilized *Spirulina* mat". *Aquaculture International*, 22(3): 1181-1195. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9738-2>
- Soni, A.; Sudhakar, K.; y Rana, R. (2017). "Spirulina - From growth to nutritional product: A review". *Trends in Food Science and Technology*, 69: 157-171. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.010>
- Sumprasit, N.; Wagle, N.; Glanpracha, N.; y Annachhatre, A. P. (2017). Biodiesel and biogas recovery from *Spirulina platensis*. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 119: 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.11.006>
- Velasquez, S. F.; Chan, M. A.; Abisado, R. G.; R. F. M., T.; Tayamen, M. M.; Maliwat, G. C. F.; y Ragaza, J. A. (2016). "Dietary *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) replacement enhances performance of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)". *Journal of Applied Phycology*, 28(2): 1023-1030. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0661-y>
- Wuang, S. C.; Khin, M. C.; Chua, P. Q. D.; y Luo, Y. D. (2016). "Use of *Spirulina* biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers". *Algal Research*, 15: 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.02.009>
- Xian, R. Q.; Li, Q. Y.; Diao, F. Y.; Wang, X. B.; y Hu, D. F. (2014). "Determination of β -Carotene in *Spirulina* by ASE-UPLC". *Modern Food Science and Technology*, 30(3): 239-243.
- Yang, C.; Hao, R.; Deng, Y.; Liao, Y.; Wang, Q.; Jiao, Y.; y Du, X. (2017). "Effects of protein sources on growth, immunity and antioxidant capacity of juvenile pearl oyster *Pinctada fucata martensii*". *Fish and Shellfish Immunology*, 67: 411-418. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.06.037>
- Yang, Y.; Ren, H.; Miao, H.; y W., R. (2013). "Optimization of environmental factors affecting potential of carbon fixation of *Spirulina platensis*". *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 7(7): 2795-2800.
- Zhai, J.; Li, X.; Li W.; Rahaman M. H.; Zhao, Y.; Wei, B.; y Wei, H. (2017). Optimization of biomass production and nutrients removal by *Spirulina platensis* from municipal wastewater. *Ecological Engineering*, 108, 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.023>
- Zinicovscaia, I.; Yushin, N.; Shvetsova, M.; y Frontasyeva, M. (2018). "Zinc removal from model solution and wastewater by *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* biomass". *International Journal of Phytoremediation*, 20(9): 901-908. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1448358>

Anexo 1

Listado de artículos seleccionados a partir de la búsqueda realizada en la base de datos SCOPUS, usando como término principal “spirulina”.

Autores	Título	Año	Revista
Abadjieva, D.; Shimkus, A.; Shimkiene, A.; Rashev, P.; y Kistanova, E.	Transgenerational beneficial effect of <i>Arthrospira</i> (Spirulina) <i>platensis</i> on the rabbit ovaries	2018	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Abd El-Baky, H. H. y El-Baroty, G. S.	Characterization and bioactivity of phycocyanin isolated from <i>Spirulina maxima</i> grown under salt stress	2012	<i>Food and Function</i>
Akalin, A. S.; Üna, I G.; y Dalay, M. C.	Influence of <i>Spirulina platensis</i> biomass on microbiological viability in traditional and probiotic yogurts during refrigerated storage	2009	<i>Italian Journal of Food Science</i>
Anwer, R.; Alam, A.; Khursheed, S.; Kashif, S. M.; Kabir, H.; y Fatma, T.	Spirulina: Possible pharmacological evaluation for insulin-like protein	2013	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Anwer, R.; Khursheed, S.; y Fatma, T.	Detection of immunoactive insulin in Spirulina	2012	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Babu, R. L.; Vijayalakshmi, E.; Kumar, M. N.; Patil, R. H.; Devaraju, K. S.; y Sharma, S. C.	Biosorption of chromium (VI) and lead (II): Role of <i>spirulina platensis</i> in the treatment of industrial effluent	2013	<i>Bioremediation Journal</i>
Balaji, S.; Kalaivani, T.; y Rajasekaran, C.	Biosorption of Zinc and Nickel and Its Effect on Growth of Different Spirulina Strains	2014	<i>Clean - Soil, Air, Water</i>
Balaji, S.; Kalaivani, T.; Rajasekaran, C.; Siva, R.; Shalini, M.; Das, R.; Madnkar, V.; y Dhamorikar, P.	Bioremediation Potential of <i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina) against Chromium (VI)	2015	<i>Clean - Soil, Air, Water</i>
Becker, E.W.	Micro-algae as a source of protein	2009	<i>Biotechnology Advances</i>
Cheunbarn, S. y Peerapornpisal, Y.	Cultivation of <i>Spirulina platensis</i> using anaerobically swine wastewater treatment effluent	2010	<i>International Journal of Agriculture and Biology</i>
Christaki, E.; Karatzia, M.; Bonos, E.; Florou-Paneri, P.; y Karatzias, C.	Effect of dietary <i>Spirulina platensis</i> on milk fatty acid profile of dairy cows	2012	<i>Asian Journal of Animal and Veterinary Advances</i>
De la Jara, A.; Ruano-Rodríguez, C.; Polifrone, M.; Assunção, P.; Brito-Casillas, Y.; Wägner, A. M.; y Serra-Majem, L.	Impact of dietary <i>Arthrospira</i> (Spirulina) biomass consumption on human health: main health targets and systematic review	2018	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Ferreira, L. S.; Rodrigues M. S.; De Carvalho, J. C. M.; Lodi, A.; Finocchio, E.; Perego, P.; y Converti, A.	Adsorption of Ni ²⁺ , Zn ²⁺ and Pb ²⁺ onto dry biomass of <i>Arthrospira</i> (Spirulina) <i>platensis</i> and <i>Chlorella vulgaris</i> . I. Single metal systems	2011	<i>Chemical Engineering Journal</i>
Gagrai, M. K.; Das, C.; y Golder, A. K.	Reduction of Cr (VI) into Cr (III) by Spirulina dead biomass in aqueous solution: Kinetic studies	2013	<i>Chemosphere</i>

Autores	Título	Año	Revista
Guo, Q. Q.; Liu, R.; Luo, J. F.; Wang, G. R.; Chen, L. J.; y Liu, X.	Pilot-scale cultivation of <i>Spirulina plantensis</i> with digested piggery wastewater	2014	<i>Huanjing Kexue/Environmental Science</i>
Hoekstra, D. T.; Volschenk, H.; Collins, M.; y McMaster, L. D.	An investigation of <i>Clostridium species</i> present in nutraceutical preparations of <i>Arthrospira platensis</i> (Spirulina) for human consumption	2011	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Hong, Y.; Chen, W.; Luo, X.; Pang, C.; Lester, E.; y Wu, T.	Microwave-enhanced pyrolysis of macroalgae and microalgae for syngas production.	2017	<i>Bioresource Technology</i>
Ju, Z.; Davis, S.; Ramm, K.; Steck, M.; Solter, F.; y Fox, B.	Effects of microalgae-added diets on growth performance and meat composition of tilapia (<i>Oreochromis mossambicus</i>)	2017	<i>Aquaculture Research</i>
Kavimandan, A.	Incorporation of <i>Spirulina platensis</i> into probiotic fermented dairy products	2015	<i>International Journal of Dairy Science</i>
Kwak, H. W.; Kim, M. K.; Lee, J. Y.; Yun, H.; Kim, M. H.; Park, Y. H.; y Lee, K. H.	Preparation of bead-type biosorbent from water-soluble <i>Spirulina platensis</i> extracts for chromium (VI) removal	2015	<i>Algal Research</i>
Macias-Sancho, J.; Poersch, L. H.; Bauer, W.; Romano, L. A.; Wasielesky, W.; y Tesser, M.B.	Fishmeal substitution with <i>Arthrospira</i> (<i>Spirulina platensis</i>) in a practical diet for <i>Litopenaeus vannamei</i> : Effects on growth and immunological parameters	2014	<i>Aquaculture</i>
Madhyastha, H. K.; Sivashankari, S.; y Vatsala T. M.	C-phyococyanin from <i>Spirulina fusciformis</i> exposed to blue light demonstrates higher efficacy of in vitro antioxidant activity	2009	<i>Biochemical Engineering Journal</i>
Namaei Kohal, M.; Esmaeili Fereidouni, A.; Firouzbakhsh, F.; y Hayati, I.	Effects of dietary incorporation of <i>Arthrospira</i> (<i>Spirulina</i>) <i>platensis</i> meal on growth, survival, body composition, and reproductive performance of red cherry shrimp <i>Neocaridina davidi</i> (Crustacea, Atyidae) over successive spawnings	2018	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Pagnussatt, F. A. ; Del Ponte, E. M. ; Garda-Buffon, J. ; y Badiale-Furlong, E.	Inhibition of <i>Fusarium graminearum</i> growth and mycotoxin production by phenolic extract from <i>Spirulina</i> sp.	2014	<i>Pesticide Biochemistry and Physiology</i>
Park, Y. I. ; Labrecque, M.; y Lavoie, J. M.	Influence of elevated CO2 and municipal wastewater feed on the productivity, morphology, and chemical composition of <i>Arthrospira</i> (<i>spirulina</i>) <i>platensis</i>	2013	<i>ACS Sustainable Chemistry and Engineering</i>
Pereira, A. M.; Lisboa, C.R.; y Costa, J. A. V.	High protein ingredients of microalgal origin: Obtainment and functional properties	2018	<i>Innovative Food Science and Emerging Technologies</i>
Saeid, A.; Chojnacka, K.; Korczyński, M.; Korniewicz, D.; y Dobrzański, Z.	Effect on supplementation of <i>Spirulina maxima</i> enriched with Cu on production performance, metabolical and physiological parameters in fattening pigs	2013	<i>Journal of Applied Phycology</i>

Autores	Título	Año	Revista
Solisio, C.; Lodi, A.; Soletto, D.; y Converti A.	Cadmium biosorption on <i>Spirulina platensis</i> biomass	2008	<i>Bioresource Technology</i>
Sombatjinda, S.; Wantawin, C.; Techkarnjanaruk, S.; Withyachumnarnkul, B.; y Ruengjitchatchawalya, M.	Water quality control in a closed re-circulating system of Pacific white shrimp (<i>Penaeus vannamei</i>) postlarvae co-cultured with immobilized <i>Spirulina mat</i>	2014	<i>Aquaculture International</i>
Soni, R. A.; Sudhakar, K.; y Rana, R. S.	Spirulina - From growth to nutritional product: A review	2017	<i>Trends in Food Science and Technology</i>
Sumprasit, N.; Wagle, N.; Glanpracha, N.; y Annachhatre, A. P.	Biodiesel and biogas recovery from <i>Spirulina platensis</i>	2017	<i>International Biodeterioration and Biodegradation</i>
Velasquez, S. F.; Chan M. A.; Abisado R. G.; Traifalgar R. F. M.; Tayamen, M. M.; Maliwat, G. C. F.; y Ragaza, J. A.	Dietary Spirulina (<i>Arthrospira platensis</i>) replacement enhances performance of juvenile Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	2016	<i>Journal of Applied Phycology</i>
Wuang, S. C.; Khin, M. C.; Chua, P. Q. D.; y Luo, Y. D.	Use of Spirulina biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers	2016	<i>Algal Research</i>
Xian, R. Q.; Li, Q. Y.; Diao, F. Y.; Wang, X. B.; y Hu, D. F.	Determination of β -Carotene in Spirulina by ASE-UPLC	2014	<i>Modern Food Science and Technology</i>
Yang, Y.; Ren, H.; Miao, H.; y Ruan W.	Optimization of environmental factors affecting potential of carbon fixation of <i>Spirulina platensis</i>	2013	<i>Chinese Journal of Environmental Engineering</i>
Yang, C.; Hao, R.; Deng, Y.; Liao, Y.; Wang, Q.; Jiao, Y.; y Du, X.	Effects of protein sources on growth, immunity and antioxidant capacity of juvenile pearl oyster <i>Pinctada fucata martensii</i>	2017	<i>Fish and Shellfish Immunology</i>
Zhai, J.; Li, X.; Li, W.; Rahaman, M. H.; Zhao, Y.; Wei, B.; y Wei, H.	Optimization of biomass production and nutrients removal by <i>Spirulina platensis</i> from municipal wastewater	2017	<i>Ecological Engineering</i>
Zinicovskaia, I.; Yushin, N.; Shvetsova, M.; y Frontasyeva, M.	Zinc removal from model solution and wastewater by <i>Arthrospira</i> (Spirulina) <i>platensis</i> biomass	2018	<i>International Journal of Phytoremediation</i>