

## Espirulina como fuente de compuestos bioactivos: propiedades funcionales, efectos en salud y nutrición

### Spirulina as a source of bioactive compounds: functional properties, health effects and nutrition

V. B. Flores-Barrón <sup>a</sup>, J. R. González-Reyes <sup>b</sup>, O. Pardo-Santos <sup>c</sup>, F.A. Guzmán-Ortiz <sup>\*,d</sup>

<sup>a</sup> Área Académica de Química (AAQ), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México  
Departamento de Territorio y Ambiente.

<sup>b</sup> Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Hidalgo. CITNOVA. Edificio de Ciencias, Boulevard Circuito la Concepción #3, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México.

<sup>c</sup> Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional (CIEMAD -IPN) Ciudad de México.

<sup>d</sup> SECIHTI—Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5 s/n, Mineral de la Reforma, Hidalgo 42184, México.

#### Resumen

La espirulina es una cianobacteria perteneciente al género *Arthrospira platensis* y *Arthrospira maxima*. Se reconoce como suplemento y alimento funcional, destaca por su alto contenido proteico y su riqueza en compuestos bioactivos que contribuyen a la salud humana. El contenido de proteína en base seca oscila entre 55 a 70%, 5 a 6% de lípidos, 6 a 11% de minerales, 20 a 21% de carbohidratos y de 0.1 a 2% de fibra. Su ausencia de pared celular de celulosa la vuelve altamente biodisponible en sus nutrientes en comparación con otras proteínas vegetales. En los últimos años, diversos estudios han documentado su potencial para mejorar el estado nutricional y reducir el riesgo de alteraciones metabólicas y cardiovasculares. Este artículo resume sobre la historia de la espirulina, composición, perfil nutricional, compuestos bioactivos, propiedades funcionales y algunos efectos potenciales en la salud. Resaltando la relevancia de esta microalga como fuente sostenible de nutrientes y su papel emergente como ingrediente de alto valor en el desarrollo de alimentos funcionales y suplementos nutraceuticos.

**Palabras Clave:** espirulina, proteína, ficocianina, compuestos bioactivos.

#### Abstract

Spirulina is a cyanobacteria belonging to the genus *Arthrospira platensis* and *Arthrospira maxima*. It is recognized as a supplement and functional food, stands out for its high protein content and its richness in bioactive compounds that contribute to human health. The protein content on a dry basis ranges from 55 to 70%, 5 to 6% lipids, 6 to 11% minerals, 20 to 21% carbohydrates and 0.1 to 2% fiber. Its absence of cellulose cell wall makes it highly bioavailable in nutrients compared to other plant proteins. In recent years, several studies have documented its potential to improve nutritional status and reduce the risk of metabolic and cardiovascular disorders. This article summarizes the history of spirulina, its composition, nutritional profile, bioactive compounds, functional properties, and some potential health effects. Highlighting the relevance of this microalga as a sustainable source of nutrients and its emerging role as a high-value ingredient in the development of functional foods and nutraceutical supplements.

**Keywords:** spirulina, protein, phycocyanin, bioactive compounds.

#### 1. Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2009), FAO por sus siglas en inglés (Food and Agriculture Organization of the United

Nations) describe a la espirulina como una cianobacteria verdeazulada primitiva surgida hace aproximadamente 3.5 mil millones de años (Sera & García, 2017)

El término espirulina en latín significa espiral, por la forma de su estructura (geometría espiral y células cilíndricas de 3-

\*Autor para la correspondencia: fabiguzman01@yahoo.com.mx

**Correo electrónico:** fl466310@uaeh.edu.mx (Valeria Berty Flores-Barrón), joseroberto.gonzalez@hidalgo.gob.mx (José Roberto González-Reyes), opardos@ipn.mx (Obed Pardo-Santos), fabiguzman01@yahoo.com.mx (Fabiola Araceli Guzmán-Ortiz).

**Historial del manuscrito:** recibido el 10/09/2025, última versión-revisada recibida el 24/10/2025, aceptado el 28/10/2025, publicado el 12/12/2025. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v13iEspecial4.15953>



13 micras de diámetro) (Álvarez & Bague, 2011; Díaz & Patricia, 2018).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha calificado a la espirulina como uno de los alimentos con mayor potencial para contribuir a la seguridad alimentaria global, dada su densidad nutricional y bajo requerimiento de recursos para su producción (Karkos et al., 2011; Lupatini et al., 2017).

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en 2025, la ha descrito como la "comida ideal del futuro" porque tiene el 96% de nutrientes útiles para el hombre, además se reconoce su alto contenido proteico (entre 60 y 70 %), su riqueza en vitaminas y antioxidantes, minerales, ácidos grasos esenciales y pigmentos bioactivos como la ficocianina (Belay, 2002; Simopoulos, 2004).

También proporciona de 2.5 a 3.29 kcal g<sup>-1</sup> e incluso mantiene 98% de biodisponibilidad de nutrientes (Malpartida et al., 2022). La Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos FDA por sus siglas en inglés (Food and Drug Administration) ha reconocido a la espirulina como segura para el consumo humano lo que ha facilitado su inclusión en alimentos funcionales y suplementos alimenticios en mercados globales (Benedetti et al., 2014).

Este conjunto de evidencias ha consolidado el interés en la espirulina como alimento tradicional y suplemento nutricional, además de los beneficios que otorga a la salud; su capacidad antioxidante y antiinflamatoria, atribuida principalmente a la ficocianina, los carotenoides y los fenoles que contiene (Belay et al., 1993; Hussein et al., 2021), también se ha reportado efecto sobre la respuesta inmunológica, los niveles de colesterol y triglicéridos, y su efecto protector frente a enfermedades cardiovasculares (Calella et al., 2022). Se ha asociado con la regulación de la glucosa en sangre, así como un coadyuvante en casos de anemia y la protección hepática ante daños oxidativos (Gershwin & Belay, 2008). Estas propiedades posicionan a la espirulina como un alimento funcionalmente prometedor. El objetivo de la revisión fue recopilar y analizar la evidencia científica sobre los compuestos bioactivos presentes en la espirulina, propiedades funcionales y los efectos asociados sobre la salud humana, con el fin de destacar su potencial como ingrediente en alimentos funcionales y suplementos nutraceuticos, así como identificar áreas que requieren investigación futura para su aprovechamiento óptimo.

## 2. Características generales

Espirulina es un género de cianobacterias filamentosas de tonalidad azul y verde, el término es empleado para referirse a la *Arthrospira platensis* y *Arthrospira maxima*.

*Arthrospira* incluye 23 especies aprobadas que forman matas o viven como tricomas individuales. Tres especies son marinas, tres provienen de ambientes con pH alto y las demás son especies de agua dulce (Nowicka-Krawczyk et al., 2019).

Generalmente en regiones tropicales y subtropicales, en cuerpos cálidos de agua con alto contenido de carbonatos y NaCl, pH alcalinos (pH de 9 a 11 aproximadamente), salinidad elevada son las variedades planctónicas que tienden a producir grandes floraciones (Ali & Saleh, 2012; Usharani et al., 2012).

Las especies comerciales identificadas como *Arthrospira platensis*, *Arthrospira maxima* y *Arthrospira fusiformis* se han

aislado principalmente de ambientes tropicales fuertemente alcalinos (Sinetova et al., 2024).

### 2.1. Clasificación taxonómica

Inicialmente en 1844 Wittrock y Nordstedt, reportaron una especie de microalga con forma helicoidal de color verdeazulado en la ciudad de Montevideo, a la que llamaron *espirulina platensis* (Habib et al., 2008).

En 1852, Ernst Stizenberger publicó el primer informe taxonómico donde propuso el género *Arthrospira*, basándose en su morfología helicoidal multicelular y la presencia de tabiques transversales (septa). Posteriormente, en 1892 Maurice-Augustin Gomont confirmó esta distinción al señalar que el género *Spirulina* carece de paredes transversales celulares (aseptate), separando así taxonómicamente ambos géneros (Sili et al., 2012).

Aunque el término espirulina es el utilizado comercialmente, el nombre científico correcto (Tabla 1) para las especies comúnmente cultivadas es *Arthrospira platensis* y *Arthrospira maxima*.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de dos especies de espirulina; *Arthrospira platensis* y *Arthrospira maxima*

Categoría	Clasificación
Dominio	Bacteria
Filo (Phylum)	Cyanobacteria
Clase	Cyanophyceae
Orden	Oscillatoriales
Familia	Phormidiaceae o Microcoleaceae
Género	Arthrospira
Especies	<i>Arthrospira platensis</i> y <i>Arthrospira maxima</i>

(National Center for Biotechnology Information, 2024)

### 2.2. Morfología

La espirulina recibe su nombre debido a la forma en espiral que tiene, se compone de tricomas cilíndricos con una hélice abierta a lo largo de su longitud de color verde-azulado intenso, constituidos por células cilíndricas dispuestas en serie. Los tricomas carecen de heterocistes y acinetos, y presentan paredes transversales bien definidas, además de una vaina mucilaginoso muy delgada o ausente, con un tamaño que no supera el medio milímetro (Ciferri, 1983; Nowicka-Krawczyk et al., 2019).

Los tricomas pueden presentar diferentes formas con anchura de entre 6 a 12 µm, y la distancia entre hélices va desde los 12 a los 72 µm, su espiralidad depende de la especie (Ali & Saleh, 2012). En *Arthrospira maxima*, los tricomas son generalmente más robustos, con diámetros pequeños y longitudes que pueden superar los 500 µm. Sus espiras son más abiertas y la distancia entre giros consecutivos de la hélice suele ser mayor, lo que les confiere una apariencia helicoidal menos compacta (Figura 1). Esta morfología helicoidal se considera típica del género, aunque se ha observado que bajo condiciones de estrés ambiental los tricomas pueden perder la espiralización y volverse lineales, recuperando la forma helicoidal cuando se restablecen las condiciones favorables (Wang et al., 2005).

Por otro lado, *platensis* presenta tricomas más finos, con diámetros menores que *maxima* en el rango de 3 a 8 µm y longitudes de 50 a 300 µm (Figura 2). Sus espiras suelen ser

más compactas y regulares en comparación con las de *maxima*, lo que facilita su identificación morfológica en cultivo. Sin embargo, factores como la temperatura y condiciones físicas y químicas del cultivo pueden afectar la geometría de la hélice del alga (Nowicka-Krawczyk et al., 2019).

### 2.3. Cultivo de *espirulina*

Debido a sus filamentos vacuolados de gas, las cianobacterias se recogen fácilmente mediante métodos físicos como la filtración y separación (Ali & Saleh, 2012; Usharani et al., 2012).

Las especies *platensis* y *A. maxima* presentan diferencias puntuales en sus requerimientos de cultivo, lo cual explica en gran parte la utilización de sistemas protegidos. Los invernaderos se utilizan comúnmente para el cultivo y cosecha de *espirulina* debido a que son amigables con el medio ambiente (Guidi et al., 2021; Sinetova et al., 2024).



Figura 1. *Espirulina maxima*, micrografía simple. Fuente: Algae-Lab, (2018).

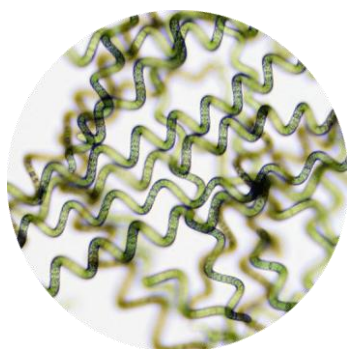


Figura 2. *Espirulina platensis*, micrografía de luz. Fuente: Science Photo Library, (2013).

*Arthrospira platensis* posee tolerancia a medios con altas concentraciones de carbonatos y temperaturas elevadas, lo que facilita su cultivo en estanques abiertos y en condiciones protegidas en invernaderos que permiten regular la intensidad lumínica, humedad, temperatura y evitar contaminaciones (Prasanna et al., 2017). En estanques poco profundos, la *espirulina* duplica su biomasa cada 2 a 5 días. Se coloca *Arthrospira platensis* y el medio de cultivo requiere agitación continua mediante una rueda de paletas para garantizar una adecuada dispersión celular y un aprovechamiento uniforme de la radiación luminosa y los nutrientes minerales. (Figura 3). Una vez alcanzado el crecimiento óptimo se cosecha utilizando una tela filtro (nylon 25 mm), y se extruye para obtener hebras delgadas que facilitan el secado en condiciones de ventilación (Rahim et al., 2021). Este proceso genera 20 veces más proteína que la soja en la misma superficie, 40 veces más que

el maíz y 400 veces más que la carne de res (Da Silva et al., 2025).

En contraste, *A. maxima* presenta menor tolerancia a variaciones ambientales y muestra óptimo crecimiento en temperaturas moderadas, favoreciendo su cultivo en fotobiorreactores cerrados (PBR por sus siglas en inglés) tipo air-lift que permiten un control preciso de mezcla, luz y eliminación de oxígeno, incrementando así la productividad de biomasa (Martínez-Roldán et al., 2022).

Para ambas especies, el control del pH, la intensidad lumínica (fotoflujo óptimo entre 480 y 550  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y la composición del medio, resultan determinantes tanto para la tasa de crecimiento como para la producción de compuestos de interés como polisacáridos extracelulares o ficocianina (Vonshak, 1997; Li et al., 2022).

Costa et al. (2019) reportaron que más del 30% de la producción mundial de biomasa de microalgas proviene de la *espirulina*, mayormente de la especie *Arthrospira platensis*. En años recientes ha ganado popularidad en la industria de alimentos saludables y como suplemento proteico y vitamínico en las dietas de acuicultura.

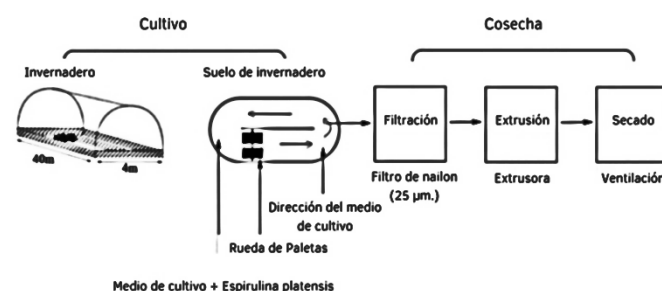


Figura 3. Proceso de cultivo y cosecha tradicional de *Arthrospira platensis*. Fuente: Rahim et al., (2021).

### 3. Composición y perfil nutricional de la *espirulina*

La composición nutricional de la *espirulina* es muy similar entre *Arthrospira platensis* y *A. maxima*, pero no es idéntica; varía por especie, cepa, medio de cultivo y condiciones ambientales.

En general ambas poseen un contenido de proteínas excepcionalmente alto (Tabla 2), alrededor del 55-70% base seca (bs), la *espirulina* está posicionada como la mejor fuente proteica vegetal debido a la alta cantidad, calidad y biodisponibilidad de sus aminoácidos, su contenido de carbohidratos es de aproximadamente 20%, de ácidos grasos aporta 5 a 6%, además de que es rica en vitaminas (B1, B2, B12, E) y minerales, especialmente calcio (333  $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ), magnesio (500  $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) y hierro (217  $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ ) (Rangel-Yagui et al 2004; Kawata et al., 2004; Capelli & Cysewski, 2010).

Tabla 2. Composición nutricional de *espirulina* en base seca (bs).

Macronutriente	Contenido (%)
Proteína	55 a 70
Carbohidratos	20 a 21
Cenizas	6 a 11
Lípidos	5 a 6
Fibra	0.1 a 2

Fuente: Oliveira et al. (2013); Ponce, 2013; Prieto, (2021).

### 3.1. Proteína

*A. platensis* presenta valores proteicos ligeramente superiores y una mayor estabilidad bajo diferentes condiciones de cultivo, mientras que *A. maxima* suele destacarse por una mayor concentración de ficocianina y ciertos minerales como hierro y calcio (Becker, 2007; Habib et al., 2008). Estas variaciones refuerzan la importancia de la selección de especie y del ajuste de las condiciones de cultivo en función del metabolito de interés.

La pared celular de la espirulina es fina, es decir su estructura externa es más delgada y fácil de romper durante la digestión, además carece de celulosa, por lo que se favorece su asimilación de nutrientes, sus proteínas están más disponibles a comparación de la mayoría de las plantas. Su coeficiente de digestibilidad proteica (PDCAAS) es cercano a 1.0, similar al de proteínas animales como el huevo o la caseína (Ramírez-Moreno & Olvera-Ramírez, 2006; Malpartida et al., 2022).

Se puede destacar a la espirulina como una innovadora fuente biológica de compuestos nutricionales principalmente

por el contenido de proteína, además del tipo de aminoácidos que contiene, de los cuales el 38% corresponde a aminoácidos esenciales (Tabla 3). Se ha reportado que la espirulina contiene los 9 aminoácidos esenciales que el cuerpo humano no puede sintetizar: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina (Tabla 4).

Además, su proporción de aminoácidos cumple o se acerca mucho a los patrones de referencia de la OMS/FAO (Tabla 4) para adultos y niños, lo que no ocurre con todas las proteínas vegetales (cereales o legumbres).

Tabla 3. Distribución proteica en *Arthrospira maxima*.

Componente	<i>Arthrospira maxima</i>	<i>Arthrospira platensis</i>
Proteína	55 a 70%	58%
Aminoácidos esenciales	38%	56%
Aminoácidos no esenciales	61%	43%

Fuente: Morsy et al. (2014); Castro et al. (2018); Ennaji et al. (2021); Khandual et al. (2021).

### 3.2. Carbohidratos

En el perfil nutricional de la espirulina, los carbohidratos representan en promedio el 20% del peso seco, conformados principalmente por polisacáridos de reserva y compuestos estructurales. Estos carbohidratos son fácilmente digeribles debido a la ausencia de celulosa en la pared, lo que favorece su biodisponibilidad en comparación con otras microalgas (Lafarga et al., 2020).

Actualmente se conocen más de 83 polisacáridos diferentes del género *Arthrospira*, en su mayoría compuestos por glucano, glucosa, ramnosa, xilosa, manosa, galactosa, arabinosa y fucosa (Sinetova et al., 2024). Diversos estudios han destacado la presencia de polisacáridos sulfatados,

asociados a propiedades biológicas como actividad inmunomoduladora, antioxidante y antiviral (Habib et al., 2008; Belay, 2013).

De esta manera, los carbohidratos en espirulina, aunque representan una fracción menor respecto a las proteínas, contribuyen de manera significativa a su valor nutricional y su potencial funcional.

### 3.3. Cenizas

Dentro de su perfil nutricional, la espirulina destaca como una fuente de minerales. Entre los más abundantes se encuentran el hierro, el calcio, el magnesio, el potasio y el zinc, además de oligoelementos como el selenio, manganeso y cobre, aunque estos últimos en cantidades menores (Tabla 5) (Da Silva et al., 2025). El hierro de la espirulina es particularmente importante, ya que reporta una alta biodisponibilidad en comparación con fuentes vegetales tradicionales (hortalizas de hoja verde, leguminosas, cereales y semillas) lo que la convierte en un suplemento útil en la prevención de la anemia ferropénica (Kapoor & Mehta, 1993; Habib et al., 2008). Asimismo, su elevado contenido de calcio y magnesio contribuye al fortalecimiento del sistema óseo y a procesos enzimáticos de relevancia metabólica, mientras que la presencia de oligoelementos respalda funciones antioxidantes y de defensa inmunitaria (Belay, 2013; Karkos et al., 2011).

### 3.4. Lípidos

Del contenido lipídico total de la espirulina, del 1.5 al 2.0% lo proporcionan los ácidos grasos poliinsaturados (AGPIs).

En general, la especie *Arthrospira* es rica en ácido linolénico, ácido estearidónico, ácido eicosapentaenoico, ácido docosahexaenoico, ácido araquidónico y ácido  $\gamma$ -linolénico. Además, es baja en colesterol, solo proporciona 32.5 mg 100 g<sup>-1</sup> (Wan et al., 2021).

## 4. Compuestos bioactivos presentes en espirulina

La espirulina además contiene compuestos bioactivos como polifenoles, ficobiliproteínas,  $\beta$ -caroteno, etc. que proporcionan diferentes actividades biológicas (Tabla 5).

Se ha demostrado que algunos de los compuestos químicos típicos como la c-ficocianina en el polvo de espirulina tienen actividad farmacológica y un efecto curativo clínico en la investigación (Soheili & Khosravi.Darani, 2011; Chen et al., 2014).

Se ha documentado que la c-ficocianina estimula la hematopoyesis, emulando la hormona eritropoyetina (EPO). La EPO es producida por riñones sanos y regula la producción de glóbulos rojos a partir de células madre de la médula ósea. La ficocianina regula la producción de glóbulos blancos (Henrikson, 2021)

El betacaroteno, los aminoácidos y el zinc, todos compuestos bioactivos de la espirulina pueden retrasar problemas de visión relacionados con la edad, como la degeneración macular y las cataratas por su acción antioxidante y antiinflamatoria que protege las células de los radicales de oxígeno dañinos (Henrikson, 2021).

Tabla 4. Contenido de aminoácidos en *Arthrospira maxima*

Autores	Contenido en <i>Arthrospira</i> (%)		Estimación de las necesidades de aminoácidos en mg kg <sup>-1</sup> por día según la OMS.	
	Díaz & Patricia , 2018	Gutiérrez-Salmeán, 2015	Niños (1 a 14 años)	Adultos
Metionina	2.05 - 5.31	1.11	2.3	13
Fenilalanina	2.60 - 3.30	2.75	4	14
Leucina	5.90 – 6.50	5.38	6	14
Isoleucina	3.05 – 3.85	3.50	3	10
Lisina	2.60 – 3.60	2.96	4.8	12
Triptófano	0.85 – 0.98	1.09	6	3.5
Histidina	11.30 – 13.46	1.00	1.6	8-12
Valina	3.57 – 4.02	3.94	4	10
Treonina	2.94 – 3.35	2.86	2.5	7
Cisteína	No reporta	0.59	-	-
Ácido aspártico	5.20 – 6.00	5.99	-	-
Ácido glutámico	7.30 – 9.50	9.13	-	-
Prolina	2.27 – 4.11	2.38	-	-
Alanina	4.23 – 10. 81	4.59	-	-
Arginina	3.92 – 4.95	4.31	-	-

peroxidación lipídica mediada por oxígeno singlete (Wu et al., 2016)

De acuerdo con el Instituto Nacional del Cáncer en USA, un consumo de 6.0 mg de  $\beta$ -caroteno al día puede minimizar efectivamente el riesgo de cáncer; por su parte, 4 gramos de espirulina son suficientes para aportar esos 6 mg recomendados.

### 5.1. Actividad antiviral

La actividad antiviral de la espirulina, en gran parte, se debe a la riqueza en proteínas vitales, ácidos grasos, minerales y otros constituyentes importantes. Se ha reportado que la calcium-spirulan (Ca-SP) un polisacárido sulfato de *A. platensis*, tiene actividades antivirales contra diferentes virus envueltos; el virus del herpes simple tipo 1, el virus del sarampión, el virus de las paperas, el virus de la influenza. Se ha sugerido que esta actividad antiviral altamente deseada se debe al efecto que la quelación de iones de calcio con los grupos sulfato tiene sobre la conformación molecular (Lafarga et al., 2020). Por otro lado, el Ca-SP actúa impidiendo la adhesión de los virus a la membrana celular del huésped, interfiriendo con las glicoproteínas virales involucradas en la entrada celular, lo cual bloquea el inicio de la infección viral (Hayashi et al., 1996). También se ha reportado efecto sobre el virus de inmunodeficiencia humana (VIH-1), debido a su capacidad para interferir en la transcripción inversa del ácido ribonucleico (RNA) viral, proceso esencial en la replicación de retrovirus (Ayehunie et al., 1998).

## 5. Propiedades funcionales y efectos sobre la salud

Morsy et al. (2014) destacan que la espirulina es el alimento más rico y completo en nutrientes en el mundo, con mayor aporte nutricional que cualquier otra hierba, grano o planta, por lo que actualmente se utiliza principalmente como complemento alimenticio con el fin de aumentar energía y mantener la salud corporal. La espirulina tiene cualidades inmunológicas, antioxidantes, antivirales, de protección contra el cáncer, regulación contra la hiperglicemia y la hiperlipidemia, así como tener efecto en el tratamiento de anemia y desnutrición (Ponce, 2013; Oliveira et al., 2013).

En *Arthrospira platensis*, los ácidos grasos más comunes son los poliinsaturados, siendo los más importantes el ácido  $\gamma$ -linolénico, un metabolito del ácido linoleico, que posee propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, contribuyendo a la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares (D'Ambrosio, Della Greca, & Montagnaro, 2024). Entre los componentes bioactivos más importantes se encuentra el  $\beta$ -caroteno, que puede ser fácilmente absorbido en el epitelio intestinal y tiene efecto anti-inflamatorio y actividad anticancerígena por su potente efecto antioxidante. Cruz et al. (2013) estudiaron la capacidad para revertir la respuesta inflamatoria de las células endoteliales y demostraron que el  $\beta$ -caroteno produce una reducción significativa en la expresión de moléculas de adhesión, siendo capaz de inactivar la respuesta inflamatoria. Además, brinda protección contra la

Tabla 5. Compuestos bioactivos y sus propiedades presentes en espirulina

	Compuesto	Concentración (mg g <sup>-1</sup> )	Propiedades	Autor
Pigmentos	c- ficocianina	2.83 - 140	Antioxidante, antiinflamatoria e inmunoestimulante	(Karkos et al., 2011; Benedetti et al., 2014)
	clorofila -a	0.34 - 10	Antioxidante	(Habib et al., 2008)
Carotenoides	β-caroteno	0.09 – 1.04		
	zeaxantina	0.12 – 1.03	Antioxidante, precursores de vitamina A	(Belay, 2002)
	luteína	0.03 – 0.61		
Ácidos grasos	γ-linolénico (GLA)	3.40 – 6.00	Antiinflamatorio	(Simopoulos, 2004)
	linoleico (LA)	17.43		
	oleico	5.6	Inmunomodulación	(Belay, 2002)
Vitaminas	B6	0.80	Inmunomodulación y modulación de neurotransmisores	
	B12	0.32	Funciones neurológicas	
	E	100	Antioxidante liposoluble, protege membranas celulares del daño oxidativo	(Karkos et al., 2011)
	K	2.20	Regula la coagulación sanguínea	
	ácido fólico	0.10	Prevención de defectos congénitos	
Minerales	hierro	0.30	Formación de enzimas	
	calcio	1.20	Regula la contracción muscular, coagulación sanguínea e interviene en la secreción hormonal	(Prashanth et al., 2015; USDA, 2017; Díaz & Patricia, 2018)
	magnesio	1.90	Cofactor de enzimas	
	zinc	0.02	Cofactor de enzimas y regulador de la expresión génica.	
Polisacáridos	Ca-SP	0.50	Inmunomodulador y actividad antiviral	(Hayashi et al., 1996)
Compuestos fenólicos	ácido p-cumárico	54 µg g <sup>-1</sup>		
	ácido gálico	396 µg g <sup>-1</sup>	Actividad antioxidante	(Marques et al., 2015)
	ácido cafeico	347 µg g <sup>-1</sup>		

En varios estudios *in vitro* se ha observado que los polisacáridos característicos de esta alga mejoran la actividad y síntesis de reparación del ácido desoxirribonucleico (ADN) (Ali & Saleh, 2012).

La c-ficocianina (Tabla 5) proporciona efectos anticancerígenos al inhibir selectivamente la ciclooxigenasa-2 (COX-2) debido a su conformación y gran estructura. La estructura de la c-ficocianina facilita la unión adecuada al sitio activo de la COX-2 (Da Silva et al., 2025).

### 5.3. Efecto antioxidante

Los carotenoides, tocoferoles, ficobiliproteínas y compuestos fenólicos de la espirulina son responsables de la actividad antioxidante (Madhyastha et al., 2009). La ficocianobilina es un cromóforo unido a la ficocianina que tiene una alta funcionalidad como inhibidor de la Nicotinamida Adenina Dinucleótido (NADPH) oxidasa, la enzima principal fuente de estrés oxidativo patológico en trastornos de la salud (Ali & Saleh, 2012).

El ácido p-cumárico de la espirulina posee un potencial inhibitorio sobre la α-glucosidasa y la tirosinasa de manera mixta y reversible, de acuerdo con lo reportado por Li *et al.*

### 5.2. Actividad anticancerígena

La espirulina puede prevenir o inhibir el cáncer en animales y humanos. En un estudio relacionado con el cáncer de mama se observó que al utilizar los lipopolisacáridos de la espirulina (en un modelo *in vitro* e *in vivo*), se suprimía el crecimiento tumoral, el desarrollo espontáneo de tumores y se aumentaba la respuesta de interferón gamma (García-Ishimine et al., 2020)

*A. platensis* ejerce efectos estimulantes en la inhibición de la proliferación de células tumorales (Basha et al., 2008; Ouhtit *et al.*, 2014). Por otro lado, se ha reportado un estudio analizando el efecto de filtrados de espirulina *platensis* en células de cáncer de colon humano. Después de utilizar diferentes concentraciones (1.25%, 2.5% y 5%) concluyeron que el efecto antiproliferativo es directamente proporcional a la concentración aplicada, por lo que a la espirulina se le adjudican propiedades terapéuticas contra el cáncer de colon (Cingi & Sayin, 2011; Okuyama et al., 2017).

(2020) el ácido p-cumárico penetra en profundidad en el sitio activo de la tirosinasa y la  $\alpha$ -glucosidasa mediante interacciones no covalentes.

Lu et al. (2006) evaluaron la administración de *Arthrospira platensis* en comparación con proteína de soya en un grupo de 16 sujetos sanos, que consumieron 7.5 g día de espirulina y proteína de soya respectivamente, con el objetivo de analizar su efecto sobre la capacidad antioxidante. Tras el periodo de suplementación, los participantes realizaron una prueba de ejercicio incremental a máxima intensidad como modelo de estrés oxidativo. Los resultados mostraron que aquellos que recibieron espirulina presentaron una reducción en las concentraciones plasmáticas de malondialdehído (MDA) y un incremento en la actividad de las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa (SOD), lactato deshidrogenasa y glutatión peroxidasa, en comparación con los que consumieron proteína de soya.

#### 5.4. Efecto en el control glucémico

La diabetes constituye un desorden metabólico prolongado, cuya característica principal es la presencia de concentraciones elevadas de glucosa en la sangre (hiperglucemias). Esta alteración, con el paso del tiempo, ocasiona lesiones graves en órganos y sistemas como el cardiovascular, renal y ocular (Lafarga et al., 2020).

La Organización Mundial de la Salud (2025), WHO por sus siglas en inglés (World Health Organization) reportó que 830 millones de personas en el mundo padecen de esta enfermedad. En una revisión sistemática, Hamedifard et al. (2019) analizaron el efecto de la suplementación con *Arthrospira platensis* en individuos con síndrome metabólico y encontraron que su consumo favorece la disminución de la glucemia en ayunas y de las concentraciones séricas de insulina.

El potencial antidiabético de la espirulina se ha atribuido a su contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) así como a la generación de péptidos con actividad inhibidora de la dipeptidil peptidasa-IV (DPP-IV). También se ha reportado sobre una mejora en la tolerancia a la glucosa, así como en la composición del microbiota intestinal después de 8 semanas de consumo de una dieta suplementada con extractos de agua de espirulina (Lupatini et al., 2017; Wan et al., 2019).

#### 5.5. Efecto en salud cardiovascular

La suplementación con *A. platensis* también ha sido un aliado significativo en la prevención y control de enfermedades proporcionando una alternativa terapéutica novedosa para el tratamiento de enfermedades cardíacas.

El-Shanshory et al., (2019) realizaron un análisis experimental a 60 niños con beta-talasemia mayor. Los infantes fueron suplementados con 250 mg/kg/día de *A. platensis* en polvo durante tres meses. Al final del periodo de prueba los niños tratados mostraron una mejora significativa en la deformación longitudinal global del ventrículo izquierdo después de 3 meses. Así se concluyó que *A. platensis* puede ayudar a preservar la función cardíaca y la estructura cardíaca (Da Silva et al., 2025).

En el 2023, se realizó un estudio *in vivo* con roedores tratados con doxorubicina (DOX), se les administró espirulina

con el fin de reducir cardiotoxicidad del fármaco. Los resultados indicaron que mitigó el estrés oxidativo inducido por el tratamiento con DOX y retrasó el proceso de degeneración del tejido cardíaco (Elmorsi et al., 2023).

#### 5.6. Efecto hipolipidémico

Aunque el mecanismo de acción de la espirulina sobre el metabolismo de los lípidos aún no está del todo especificado, Oliveira et al. (2013) sugieren que puede deberse a la ficocianina contenida en la espirulina, que podría inhibir la actividad de la lipasa pancreática y así causar una reducción en la absorción del colesterol.

Rodríguez-Hernández et al. (2001) experimentaron suplementando la dieta de roedores con extracto de espirulina al 5%, se concluyó que la modificación en dieta disminuyó los niveles de triacilglicerol séricos y hepáticos y normalizó los niveles de colesterol, lipoproteínas de alta densidad (HDL), lipoproteínas de baja densidad (LDL) y lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL).

Torres-Durán, (2007) reportó en un estudio de suplementación de 4 500 mg de espirulina al día en 36 personas, se redujo directamente los niveles de triacilglicerol (TAG) y de lipoproteínas de baja densidad (LDL)

#### 5.7. Efecto en el tratamiento de la anemia

La suplementación dietética con espirulina ha ayudado a aliviar la incidencia de anemia experimentada durante el embarazo, la lactancia, el envejecimiento y la toxicidad (Wan et al., 2019).

Un ensayo clínico reportado por Moradi et al. (2023), evaluaron el efecto y la eficiencia de la administración de espirulina en los niveles de la ferritina, el hierro sérico y los parámetros de anemia en 73 adultos de edades de entre 18 y 65 años con colitis ulcerosa. Los resultados demostraron que la suplementación con espirulina (1 000 mg al día durante doce semanas) aumentó el volumen corpuscular, el recuento de glóbulos rojos y eritrocitos en adultos en comparación con el grupo placebo.

En lo reportado por Wu et al. (2016) encontraron que la inclusión de espirulina en la dieta de un grupo heterogéneo de personas moduló la disminución de glóbulos rojos, glóbulos blancos y linfocitos T positivos para acetato de  $\alpha$ -naftilo. Inclusive estabilizó los valores de hemoglobina y volumen celular empaquetado durante el periodo de estudio de 12 semanas tanto en hombres como en mujeres.

#### 5.8. Efecto en tratamiento de malnutrición

La espirulina contiene el 96% de nutrientes útiles para el humano, es fuente destacable de aminoácidos y proteínas, minerales, lípidos, vitaminas y antioxidantes, ficobiliproteínas y clorofila, mantiene polisacáridos, y otorga solo 2.5 a 3.29 kcal g<sup>-1</sup>, además presenta alta capacidad de ser usada por el organismo (Cingi & Sayin, 2011).

Un estudio realizado por Campos-Mondragón (2015) informó de una tendencia en el 60% de la población de solo realizar 1 o 2 comidas al día como consecuencia de un estilo de vida ocupado y hábitos perniciosos. Por consecuencia los

individuos no alcanzan el aporte nutrimental diario recomendado.

En el trabajo de Alves et al. (2005) se monitorearon los efectos de la espirulina como fuente de proteína en contraste con la caseína en la recuperación nutricional de ratas previamente sometidas a una dieta deficiente en proteínas. Para estimar el crecimiento muscular se midieron los niveles de proteína total y de ADN. Los resultados mostraron que tanto la dieta con caseína como con espirulina fueron igualmente efectivas, lo que destaca el potencial de la cianobacteria como alternativa en la recuperación de la desnutrición proteica.

Abed et al. (2013) concluyeron que la suplementación con espirulina es un procedimiento eficaz para tratar la desnutrición, fundamentándose en un estudio con niños desnutridos habitantes de la Franja de Gaza donde después de tres meses de suplementación los infantes aumentaron su peso y altura.

## 6. Conclusiones

La espirulina se confirma como un alimento funcional de gran valor nutricional y biotecnológico. La evidencia científica respalda sus efectos benéficos en la prevención y apoyo en el tratamiento de diversas enfermedades metabólicas, inflamatorias y degenerativas, gracias a la acción sinérgica de sus compuestos bioactivos. Los ácidos grasos poliinsaturados, carotenoides, tocoferoles, ficocianina, compuestos fenólicos, vitaminas y péptidos bioactivos presentes en la biomasa de espirulina exhiben una amplia gama de actividades biológicas, entre las que destacan, antivirales, anticancerígenas, antioxidantes, antidiabéticas, con efecto hipolipidémicas y sobre la anemia. Estas propiedades confirman el potencial de la espirulina como un alimento funcional de alta calidad nutricional y con aplicaciones prometedoras en el diseño de ingredientes e intervenciones dietéticas orientadas a la mejora de la salud humana. Además, su versatilidad en los sistemas de cultivo, elevada productividad y adaptabilidad a condiciones ambientales la convierten en un recurso sostenible con implicaciones directas en la seguridad y soberanía alimentaria. Resulta prioritario la estandarización de métodos de cultivo y procesamiento que optimicen la conservación de sus compuestos bioactivos. La integración de enfoques ómicos (metabolómica, proteómica y transcriptómica) que permita comprender de manera más profunda los mecanismos que regulan la biosíntesis y actividad de estos compuestos. Así como impulsar estudios orientados a la incorporación de espirulina en alimentos de consumo cotidiano con el fin de mejorar su aceptación sensorial y promover su inclusión en la dieta habitual de diferentes poblaciones. La espirulina representa no solo un alimento funcional, sino también una herramienta biotecnológica para el desarrollo de ingredientes nutraceuticos y de nuevas formulaciones alimentarias con impacto positivo en la salud.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Fondo Hidalgo del Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Hidalgo. (CITNOVA), proyecto DDCTI/FH-DCI-139.

## Referencias

- Abed, E., Ihab, A. N., Suliman, E., & Mahmoud, A. (2016). Impact of spirulina on nutritional status, haematological profile and anaemia status in malnourished children in the Gaza Strip: randomized clinical trial. *Maternal And Pediatric Nutrition*, 110(2), 2. <https://doi.org/10.4172/2472-1182.1000110>
- Ali, S. K., & Saleh, A. M. (2012). Spirulina-an overview. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4(3), 9-15. ISSN-0975-1491
- Álvarez, C. N., & Bagué, S. A. (2011). *Los alimentos funcionales: una oportunidad para una mejor salud* (1.ª ed., pp. 208). Ediciones PP.
- Alves, C. R., Voltarelli, F. A., & Mello, M. A. R. (2005). Espirulina como fuente proteica en la recuperación de ratas desnutridas: efectos sobre el músculo esquelético. *Revista Digesta de Buenos Aires*, 10(86).
- Ayehunie, S., Belay, A., Baba, T. W., & Ruprecht, R. M. (1998). Inhibition of HIV-1 Replication by an Aqueous Extract of *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*). *JAIDS Journal of Acquired Immune Deficiency Syndromes*, 18(1), 7-12. doi: 10.1097/00042560-199805010-00002.
- Basha, O. M., Hafez, R. A., El-Ayouty, Y. M., Mahrous, K. F., Bareedy, M. H., & Salama, A. M. (2008). C-Phycocyanin inhibits cell proliferation and may induce apoptosis in human HepG2 cells. *Egyptian Journal of Immunology*, 15(2), 161-167.
- Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25(2), 207-210. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>
- Belay, A. (2002). The potential application of *Spirulina* (*Arthrospira*) as a nutritional and therapeutic supplement in health management. *Journal of the American Nutraceutical Association*, 5(2), 27-48. <https://sid.ir/paper/546615/en>
- Belay, A. (2013). Biology and industrial production of *Arthrospira* (*Spirulina*). *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology* (2.ª ed., pp. 339-358). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118567166.ch17>
- Belay, A., Ota, Y., Miyakawa, K., & Shimamatsu, H. (1993). Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina*. *Journal of Applied Phycology*, 5(2), 235-241. <https://doi.org/10.1007/BF00004024>
- Benedetti, S., Benvenuti, F., Pagliarini, S., Francogli, S., Scoglio, S., & Canestrari, F. (2014). Antioxidant properties of a novel phycocyanin extract from the blue-green alga *Aphanizomenon flos-aquae*. *Life Sciences*, 75(19), 2353-2362. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2014.08.007>
- Calella, P., Cerullo, G., Di Dio, M., Liguori, F., Di Onofrio, V., Galle, F., & Liguori, G. (2022). Antioxidant, anti-inflammatory and immunomodulatory effects of spirulina in exercise and sport: A systematic review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1048258. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1048258>
- Campos-Mondragón, M. G. (2015). Obesidad y riesgo de síndrome metabólico en estudiantes de posgrado de Veracruz, México. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 19(4), 197-203.
- Capelli, B., Cysewski, G. R. (2010). Potential health benefits of spirulina microalgae\*. *Nutrafoods* 9, 19-26. <https://doi.org/10.1007/BF03223332>
- Castro Zamora, A. A., Borbón Castro, N. A., Simental Trinidad, J. A., Gómez Infante, E., Félix Ibarra, L. I., Rangel Colmenero, B. R., & Méndez Estrada, R. O. (2018). Consumo de *Spirulina* spp. (*Arthrospira*) como una alternativa en la nutrición humana. Una Revisión bibliográfica. *Revista De Investigación Académica Sin Frontera: Facultad Interdisciplinaria De Ciencias Económicas Administrativas - Departamento De Ciencias Económico Administrativas-Campus Navojoa*, (26). <https://doi.org/10.46589/rdiasf.v0i26.159>
- Chen, H.-W., Yang, T.-S., Chen, M.-J., Chang, Y.-C., Wang, E. I.-C., Ho, C.-L., Lai, Y.-J., Yu, C.-C., Chou, J.-C., Chao, L. K.-P., & Liao, P.-C. (2014). Purification and immunomodulating activity of C-phycocyanin from *Spirulina platensis* cultured using power plant flue gas. *Process Biochemistry*, 49(8), 1261-1267. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.05.006>
- Ciferri, O. (1983). Spirulina, the edible microorganism. *Microbiological Reviews*, 47(4), 551-578.
- Cingi, C., & Sayin, I. (2011). Evalúan las probables propiedades terapéuticas de la espirulina. *Sociedad Iberoamericana de Información Científica (SIIC)*, 535.
- Cruz B.R.M., González G. J., Sánchez C. P. Functional properties and health benefits of Lycopene. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 6-15. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6302>
- Da Silva, M. R. o. B., Da Silva, R. o. B., Nascimento, B. E. G. D., Ramos, D. G., Mendes, M. E. M., De Fátima Ferreira Da Silva, S., Costa, R. M. P. B., & De Araújo Viana Marques, D. (2025). Therapeutic applications of *Arthrospira* sp. in human health: An overview. *South African Journal Of Botany*, 184, 1359-1385. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.07.041>

- D'Ambrosio, M., Bigagli, E., Cinci, L., Cipriani, G., Niccolai, A., Biondi, N., ... & Luceri, C. (2024). *Arthrospira platensis* F&M-C265 reduces cardiometabolic risk factors in rats fed a high fat diet. *Journal of Functional Foods*, 116, 106150. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106150>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). (2017). Base de datos nacional de nutrientes para referencia estándar, liberación 28. Servicio de Investigación Agrícola. Recuperado de <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3306?fgcd=&manu=&lfacet=&format=&count=&max=50&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=ESPIRULINA&ds=&qt=&qp=&qd=&qn=&q=&ing=>
- Díaz, T., & Patricia, M. (2018). La espirulina una oportunidad como alimento funcional. Potencial Biotecnológico de las Microalgas en Zonas Áridas, Bogotá DC: UTADCO.
- Elmorsi, R.M., Kabel, A.M., El Saadany, A.A., Abou El-Seoud, S.H. (2023). The protective effects of topiramate and Spirulina against doxorubicin-induced cardiotoxicity in rats. *Human & Experimental Toxicology*, 42. <https://doi.org/10.1177/09603271231198624>.
- El-Shanshory, M., Tolba, O., El-Shafiey, R., Mawlana, W., Ibrahim, M., El-Gamasy, M. (2019). Cardioprotective effects of Spirulina therapy in children with beta-thalassemia major. *Journal of Pediatric Hematology/Oncology*, 41 (3), 202–206. <https://doi.org/10.1097/MPH.0000000000001380>.
- Ennaji, H., Bourhia, M., Taouam, I., Falaq, A., Bellahcen, T. O., Salamattullah, A. M., Alzahrani, A., Alyahya, H. K., Ullah, R., Ibenmoussa, S., Khli, N., & Cherki, M. (2021). Physicochemical Evaluation of Edible Cyanobacterium *Arthrospira platensis* Collected from the South Atlantic Coast of Morocco: A Promising Source of Dietary Supplements. *Evidence-based complementary and alternative medicine: eCAM*, 2021, 3337231. <https://doi.org/10.1155/2021/3337231>
- García-Ishimine, R., Rodríguez-Vega, J., & Mejía-Pinedo, D. (2020). Efecto hepatoprotector, antioxidante y anticancerígeno de la espirulina. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 19(6). <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/2960>
- Gershwin, M. E., & Belay, A. (2008). Spirulina in Human Nutrition and Health. CRC Press. ISBN-13978-1040069691
- Guidi, F., Gojkovic, Z., Venuleo, M., Assuncao, P. A. C. J., & Portillo, E. (2021). Long-term cultivation of a native *Arthrospira platensis* (Spirulina) strain in Pozo Izquierdo (Gran Canaria, Spain): Technical evidence for a viable production of food-grade biomass. *Processes*, 9(8), 1333. <https://doi.org/10.3390/pr9081333>
- Habib, M.A.B.; Parvin, M.; Huntington, T.C.; Hasan, M.R. (2008). A review on culture, production and use of spirulina as food for humans and feeds for domestic animals and fish. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*. No. 1034. Rome, FAO. 33p.
- Hamedifard, Z., Milajerdi, A., Reiner, Ž., Taghizadeh, M., Kolahdooz, F., & Asemi, Z. (2019). Efectos de la espirulina sobre el control glucémico y las lipoproteínas séricas en pacientes con síndrome metabólico y trastornos relacionados: Revisión sistemática y metaanálisis de ensayos clínicos aleatorizados. *Phytotherapy Research*, 33(10), 2609–2621. <https://doi.org/10.1002/ptr.6441>
- Hayashi, T., Hayashi, K., Maeda, M., & Kojima, I. (1996). Calcium spirulan, an inhibitor of enveloped virus replication, from a blue-green alga *Spirulina platensis*. *Journal of Natural Products*, 59(1), 83–87. doi: 10.1021/np960017o.
- Henrikson, R. (2021). *Spirulina: World food* (8th ed., updated and revised). Ronore Enterprises.
- Hussein, A., Ibrahim, G., Kamil, M., El-Shamarka, M., Mostafa, S., & Mohamed, D. (2021). Spirulina-enriched pasta as functional food rich in protein and antioxidant. *Biointerface Research. Applied Chemistry*, 11, 14736-14750. <https://doi.org/10.33263/BRIAC116.1473614750>
- Kapoor, R., & Mehta, U. (1993). Utilization of  $\beta$ -carotene from *Spirulina platensis* by rats. *Plant foods for human nutrition*, 43(1), 1-7. <https://doi.org/10.1007/BF01088090>
- Karkos, P. D., Leong, S. C., Karkos, C. D., Sivaji, N., & Assimakopoulos, D. A. (2011). Spirulina in clinical practice: evidence-based human applications. Evidence-based complementary and alternative medicine, 2011(1), 531053. <https://doi.org/10.1155/2011/459823>
- Kawata, Y., Yano, S. I., Kojima, H., & Toyomizu, M. (2004). Transformation of *Spirulina platensis* strain C1 (*Arthrospira* sp. PCC9438) with Tn5 transposase-transposon DNA-cation liposome complex. *Marine Biotechnology*, 6(4), 355-363. <https://doi.org/10.1007/s10126-003-0037-1>
- Khandual, S., Sanchez, E. O. L., Andrews, H. E., & De la Rosa, J. D. P. (2021). Phycocyanin content and nutritional profile of *Arthrospira platensis* from Mexico: efficient extraction process and stability evaluation of phycocyanin. *BMC chemistry*, 15(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s13065-021-00746-1>
- Lafarga, T., Fernández-Sevilla, J. M., González-López, C., & Acien-Fernández, F. G. (2020). Spirulina for the food and functional food industries. *Food Research International*, 137, 109356. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109356>
- Li, Z., Liu, Y., Zhou, T., Cao, L., Cai, Y., Wang, Y., ... & Zhang, Q. (2022). Effects of culture conditions on the performance of *Arthrospira platensis* and its production of exopolysaccharides. *Foods*, 11(14), 2020. <https://doi.org/10.3390/foods11142020>
- Lu, H. K., Chen, C. Y., & Chang, C. H. (2006). Preventive effects of *Spirulina platensis* on exercise-induced skeletal muscle damage in untrained mice. *Journal of Medicinal Food*, 9(3), 369–375. DOI: 10.1007/s00421-006-0263-0
- Lupatini, A. L., Colla, L. M., Canan, C., & Colla, E. (2017). Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(3), 724-732. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7987>
- Madhyastha, H. K., Sivashankari, S., & Vatsala, T. M. (2009). C-phycoerythrin 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>
- Malpartida, R. J., Aldana, L. F., Sánchez, K. S., Gómez, L. H., & Lobo, J. P. (2022). Nutritional value and bioactive compounds of spirulina: Potential food supplement. *Ecuadorian Science Journal*, 6(1), 42–51. <https://doi.org/10.46480/esj.6.1.133>
- Marques, T. R., Ferreira, A. S., Da Silva, A. F., & Sassi, C. F. (2015). Profile, antioxidant potential and applicability of phenolic compounds extracted from *Spirulina platensis*. *African Journal of Biotechnology*, 14(32), 2534–2541. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.14926>
- Martínez-Roldán, A., Paloma, B., & Lozano, G. (2022). Growth of *Spirulina maxima* in an optimized concentric internal tube photobioreactor. *Iranian Journal of Biotechnology*, 20(3), e2985. 10.30498/ijb.2022.273070.2985
- Moradi, S., Foshati, S., Poorbaferani, F., Talebi, S., Bagheri, R., Amirian, P., ... & Zobeiri, M. (2023). The effects of spirulina supplementation on serum iron and ferritin, anemia parameters, and fecal occult blood in adults with ulcerative colitis: A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *Clinical Nutrition ESPEN*, 57, 755-763. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.08.019>
- Morsy, O. M., Sharoba, A. M., El-Desouky, A. I., Bahlol, H. E. M., & Abd El Mawla, E. M. (2014). Production and evaluation of some extruded food products using spirulina algae. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*, 52(4), 329-342. 10.21608/ASSJM.2014.111899
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). (2024). Taxonomy Browser: *Arthrospira platensis*. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Info&id=118562>
- Nowicka-Krawczyk, P., Mühlsteinová, R., & Hauer, T. (2019). Detailed characterization of the *Arthrospira* type species separating commercially grown taxa into the new genus *Limnospira* (Cyanobacteria). *Scientific reports*, 9(1), 694. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36831-0>
- Okuyama, H., Tominaga, A., Fukuoka, S., Taguchi, T., Kusumoto, Y., & Ono, S. (2017). Spirulina lipopolysaccharides inhibit tumor growth in a Toll-like receptor 4-dependent manner by altering the cytokine milieu from interleukin-17/interleukin-23 to interferon- $\gamma$ . *Oncology reports*, 37(2), 684-694. <https://doi.org/10.3892/or.2017.5346>
- Oliveira, C. A. de, Campos, A. A. de O., Ribeiro, S. M. R., Oliveira, W. de C., & Nascimento, A. G. do. (2013). Potencial nutricional, funcional e terapêutico da cianobactéria spirulina. *Revista Da Associação Brasileira De Nutrição - RASBRAN*, 5(1), 52–59. Recuperado de <https://www.rasbran.com.br/rasbran/article/view/7>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2009). *Cultivo, producción y uso de la espirulina*. Recuperado de <https://www.fao.org/biotech/biotech-add-edit-section/biotech-add-edit-news/biotech-news-detail/es/c/60549/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2025). *¿Qué comeremos en el futuro?* Recuperado de <https://courier.unesco.org/es/articles/que-comeremos-en-el-futuro>
- Ouhit, A., Ismail, M. F., Othman, A., Fernando, A., Abdrahob, M. E., El-Kott, A. F., Abu-Zeid, M. A., Al-Rashed, M., Khafaga, A., Al-Hazaa, A., Al-Joufi, F., & Gaur, R. L. (2014). Chemoprevention of rat mammary carcinogenesis by Spirulina. *The American Journal of Pathology*, 184(1), 296–303. <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2013.10.025>
- Ponce López, E. (2013). Superalimento para un mundo en crisis: Spirulina a bajo costo. *Idesia (Arica)*, 31(1), 135-139.
- Prasanna Rajkumar, S., Ramakrishnan, M., & Pandian, K. (2017). *Diurnal changes of photosynthesis and growth of Arthrospira platensis cultured in a thin-layer cascade and an open pond*. *Algal Research*, 26, 301-310. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.10.007>

- Prashanth, L., Kattapagari, K. K., Chitturi, R. T., Baddam, V. R. R., & Prasad, L. K. (2015). A review on role of essential trace elements in health and disease. *Journal of Dr. YSR University of Health Sciences*, 4(2), 75-85. <https://doi.org/10.4103/2277-8632.158577>
- Prieto, G.M.R.D. (2021). Caracterización proximal, perfil lipídico e hidrólisis proteica de *Arthrospira platensis*. Universidad Nacional de Asunción. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Paraguay.
- Rahim, A., Çakir, C., Ozturk, M., Şahin, B., Soulaïmani, A., Sibaoueih, M., ... & El Amiri, B. (2021). Chemical characterization and nutritional value of *Spirulina platensis* cultivated in natural conditions of Chichaoua region (Morocco). *South African Journal of Botany*, 141, 235-242. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.05.006>
- Ramírez-Moreno, E., & Olvera-Ramírez, R. (2006). Uso tradicional y actual de *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.). *Interciencia*, 31(12), 870-876. ISSN 0378-1844
- Rangel-Yagui, C. O., Godoy Danesi, E. D., Carvalho, J. C. M., and Sato, S. (2004). Chlorophyll production from *Spirulina platensis*: cultivation with urea addition by fed-batch process. *Bioresour. Technology*, 92, 133-141. doi: 10.1016/j.biortech.2003.09.002.
- Rodríguez-Hernández, A., Blé-Castillo, J., Juárez-Oropeza, M., & Díaz-Zagoya, J. (2001). *Spirulina maxima* prevents fatty liver formation in CD-1 male and female mice with experimental diabetes. *Life Sciences*, 69(9), 1029-1037. [https://doi.org/10.1016/s0024-3205\(01\)01185-7](https://doi.org/10.1016/s0024-3205(01)01185-7)
- Salmeán, G. G., Castillo, L. H. F., & Chamorro-Cevallos, G. (2015). Nutritional and toxicological aspects of *Spirulina* (*Arthrospira*). *Nutrición hospitalaria: Órgano oficial de la Sociedad Española de Nutrición Clínica y Metabolismo (SENPE)*, 32(1), 34-40. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.1.9001>
- Sera, B. R., & García, D. M. (2017). La increíble espirulina. *Revista de Ciencias Médicas de la Habana*, 24(1), 74-77.
- Sili, C., Torzillo, G., & Vonshak, A. (2012). *Arthrospira* (*Spirulina*). En Richmond, A., & Hu, Q. (Eds.), *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology* (2<sup>a</sup> ed., pp. 677-705). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118567166.ch36>
- Simopoulos, A. P. (2004). Omega-6/omega-3 essential fatty acid ratio and chronic diseases. *Food Reviews International*, 20(1), 77-90. <https://doi.org/10.1081/FRI-120028853>
- Sinetova, M. A., Kupriyanova, E. V., & Los, D. A. (2024). *Spirulina*/*Arthrospira*/*Limnospira*—Three names of the single organism. *Foods*, 13(17), 2762. <https://doi.org/10.3390/foods13172762>
- Soheili, M., & Khosravi-Darani, K. (2011). The potential health benefits of algae and microalgae in medicine: A review on *Spirulina platensis*. *Current Nutrition & Food Science*, 7(4), 279-285. <https://doi.org/10.2174/1573401311107040279>
- Spirulina* Cyanobacteria, Light Micrograph #1 by Science Photo Library. (2013). Fine Art America. <https://fineartamerica.com/featured/1-spirulina-cyanobacteria-light-micrograph-sinclair-stammers.html>
- Spirulina Maxima* Microscopy Sample TBSSM-1 Living Algae – Algae-Lab. (2018). <https://algae-lab.com/shop/living-algae/culture-sample/spirulina-maxima-live-algae/>
- Torres-Durán, P. V., Ferreira-Hermosillo, A., & Juárez-Oropeza, M. A. (2007). Antihyperlipemic and antihypertensive effects of *Spirulina maxima* in an open sample of Mexican population: A preliminary report. *Lipids in Health and Disease*, 6, 33. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-6-33>
- Usharani, G., Saranraj, P., & Kanchana, D. (2012). *Spirulina* cultivation: A review. *International Journal of Pharmaceutical & Biological Archives*, 3(6), 1327-1341. ISSN 0976 – 3333
- Vonshak, A. (1997). *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): Physiology, Cell-biology and Biotechnology. London: Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1201/9781482272970>
- Wan, M., Zhao, H., Guo, J., Yan, L., Zhang, D., Bai, W., & Li, Y. (2021). Comparison of C-phycoerythrin from extremophilic *Galdieria sulphuraria* and *Spirulina platensis* on stability and antioxidant capacity. *Algal Research*, 58, 102391. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102391>
- Wan, X., Li, T., Zhong, R., Chen, H., Xia, X., Gao, L., Gao, X., Liu, B., Zhang H., & Zhao, C. (2019). Anti-diabetic activity of PUFAs-rich extracts of *Chlorella pyrenoidosa* and *Spirulina platensis* in rats. *Food And Chemical Toxicology*, 128, 233-239. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.04.017>
- Wang, G. S., & Zhao, X. Q. (2005). Morphological reversion of *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* (Cyanophyta): From linear to helical. *Journal of Phycology*, 41(3), 622-628. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.00087.x>
- World Health Organization: WHO. (2025). El informe sobre los resultados de 2024 de la OMS muestra avances en materia de salud en todas las regiones a pesar de importantes dificultades. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news/item/12-05-2025-who-results-report-2024-shows-health-progress-across-regions-overcoming-critical-challenges>
- Wu, Q., Liu, L., Miron, A., Klímová, B., Wan, D., & Kuča, K. (2016). The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of *Spirulina*: an overview. *Archives of toxicology*, 90(8), 1817-1840. <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1744-5>