



Somos **calidad,**
somos **USC**

**Producción y aplicaciones biotecnológicas de *Spirulina platensis* como
suplemento alimenticio para poblaciones vulnerables. Revisión
sistemática**

Autor:

Danna Gabriela Echeverry Bedoya.

Microbióloga

Director:

Alexis Gafaro Montejo

GIMIA

Microbiología Industrial

**Facultad de Ciencias Básicas
Microbiología
Universidad Santiago de Cali
Santiago de Cali,
Colombia
2026**

IMPACTOS

IMPACTO	PRODUCTO	BENEFICIARIO(S)
Científico	Revisión sistemática que sintetiza la evidencia científica sobre las propiedades nutricionales y biotecnológicas de <i>Spirulina platensis</i> y su aplicación como suplemento alimenticio en poblaciones vulnerables, fortaleciendo su uso como recurso en seguridad alimentaria y salud pública.	Investigadores en microbiología, biotecnología, nutrición y salud pública; estudiantes de ciencias biológicas y ciencias la salud. Grupos de investigación interesados en microalgas y seguridad alimentaria.
Tecnológico	Documento técnico-científico que describe las condiciones generales de cultivo, producción y aprovechamiento biotecnológico de <i>Spirulina platensis</i> , destacando su viabilidad como suplemento nutricional sostenible y de bajo costo, y como base para futuras investigaciones y desarrollos productivos.	Instituciones académicas, centros de investigación, emprendimientos y entidades interesadas en el desarrollo de soluciones nutricionales sostenibles.
Social y ambiental	Análisis del potencial de <i>Spirulina platensis</i> como estrategia complementaria para fortalecer la seguridad alimentaria y reducir carencias nutricionales en poblaciones vulnerables, destacando su impacto en la salud, alta biodisponibilidad y ventajas ambientales.	Comunidades vulnerables, poblaciones con riesgo de desnutrición, programas de apoyo alimentario, organizaciones sociales y entidades de salud pública.
Económico	Evaluación teórica del potencial de <i>Spirulina platensis</i> como alternativa nutricional de bajo costo, considerando su eficiencia productiva y alto rendimiento proteico, con implicaciones para la reducción de costos en programas de asistencia nutricional.	Entidades gubernamentales, organizaciones de ayuda, programas de seguridad alimentaria y fundaciones
Político e institucional	Aporte de evidencia científica que respalda la inclusión de <i>Spirulina platensis</i> en programas institucionales y estrategias de seguridad alimentaria dirigidas a poblaciones vulnerables, como insumo técnico para la formulación de lineamientos en salud pública y nutrición.	Instituciones gubernamentales, ministerios de salud, organismos internacionales, entidades reguladoras y formuladores de políticas públicas.

Producción y aplicaciones biotecnológicas de *Spirulina platensis* como suplemento alimenticio para poblaciones vulnerables

Danna Gabriela Echeverry Bedoya (Danna.echeverry01@usc.edu.co)

Grupo de Investigación GIMIA, Programa de Microbiología. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Campus Pampalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali. Colombia

RESUMEN

Las carencias nutricionales continúan siendo una problemática prioritaria de salud pública a nivel mundial, especialmente en poblaciones vulnerables con acceso limitado a alimentos de alto valor nutricional. Ante la necesidad de alternativas sostenibles y accesibles, *Arthrospira platensis* (comúnmente conocida como *Spirulina platensis*) ha sido reconocida por su alto contenido proteico, su aporte de micronutrientes y la presencia de compuestos bioactivos con beneficios para la salud; sin embargo, su incorporación en programas de seguridad alimentaria sigue siendo limitada. Por ello, esta revisión sistemática, desarrollada bajo los lineamientos PRISMA, analizó estudios publicados entre 2015 y 2025 que evaluaron la producción, las aplicaciones biotecnológicas y el impacto nutricional de la suplementación con *S. platensis* en poblaciones vulnerables.

Los resultados evidencian mejoras en indicadores nutricionales y destacan su viabilidad como suplemento alimenticio de bajo costo y alta biodisponibilidad, así como su potencial para fortalecer estrategias de seguridad alimentaria. Sin embargo, se identifican vacíos relacionados con la estandarización de procesos productivos, la evaluación de costos y la implementación a gran escala, aspectos clave para su incorporación sostenida en contextos reales.

Palabras claves: *Spirulina platensis*, suplemento alimenticio, población vulnerable, producción biotecnológica de *Spirulina platensis*.

Production and Biotechnological Applications of *Spirulina platensis* as a Dietary Supplement for Vulnerable Populations

ABSTRACT

Nutritional deficiencies remain a major global public health concern, particularly among vulnerable populations with limited access to foods of high nutritional value. In response to the need for sustainable and accessible alternatives, *Arthrospira platensis* (commonly known as *Spirulina platensis*) has been recognized for its high protein content, micronutrient contribution, and the presence of bioactive compounds with health benefits; however, its incorporation into food security programs remains limited. Therefore, this systematic review, conducted in accordance with PRISMA guidelines, analyzed studies published between 2015 and 2025 that evaluated the production, biotechnological applications, and nutritional impact of *S. platensis* supplementation in vulnerable populations.

The results demonstrate improvements in nutritional indicators and highlight its feasibility as a low-cost, highly bioavailable dietary supplement, as well as its potential to strengthen food security strategies. Nevertheless, gaps related to the standardization of production processes, cost assessment, and large-scale implementation were identified, which are key aspects for its sustained incorporation in real-world contexts.

Keywords: *Spirulina platensis*, Dietary supplement, Vulnerable populations, Biotechnological production, Microalgae.

HIGHLIGHTS

- *Spirulina platensis* se consolida como una alternativa nutricional viable para poblaciones vulnerables, gracias a su alto contenido proteico, micronutrientes y compuestos bioactivos de alta biodisponibilidad.
- La evidencia científica analizada reporta mejoras en indicadores nutricionales clave tras la suplementación con *S. platensis*, especialmente en contextos de inseguridad alimentaria.
- La producción biotecnológica de *S. platensis* presenta ventajas en términos de sostenibilidad, bajo costo y adaptabilidad a diferentes condiciones de cultivo.
- La incorporación de *S. platensis* en estrategias de seguridad alimentaria podría reducir la dependencia de suplementos nutricionales convencionales de alto costo.
- La revisión identifica vacíos relacionados con la estandarización de procesos productivos, la evaluación económica y la implementación a gran escala en contextos reales.

1. INTRODUCCIÓN

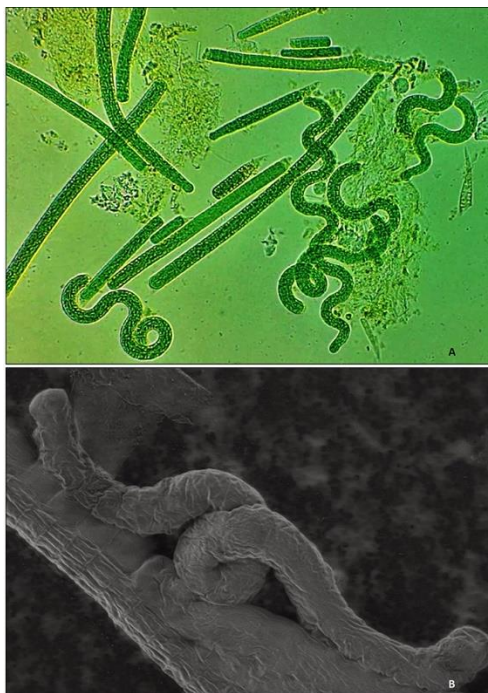
Las deficiencias nutricionales continúan siendo un problema prioritario de salud pública a nivel mundial, afectando de manera desproporcionada a poblaciones vulnerables con acceso limitado a alimentos de alto valor nutricional. Según la Organización Mundial de la Salud, más de 2.000 millones de personas en el mundo presentan deficiencias de micronutrientes esenciales, lo que incrementa la prevalencia de desnutrición, enfermedades crónicas y, en niños, el retraso en el desarrollo. (Buchmann et al., 2019a; Edelmann et al., 2019a; Lupatini Menegotto et al., 2019a).

En este contexto, la búsqueda de alternativas alimentarias sostenibles, accesibles y con alto valor nutricional se ha convertido en una prioridad para los sistemas de salud pública y la seguridad alimentaria (Naik et al., 2024a; Sousa et al., 2023a)

Entre las opciones emergentes, las microalgas han cobrado gran relevancia por su elevado contenido nutricional y su eficiencia productiva. En particular, *Spirulina platensis* se proyecta como un recurso alimentario estratégico debido a su alto valor nutricional. Esta cianobacteria, también conocida como cianobacteria filamentosa del género *Arthrospira*, se caracteriza por presentar una estructura helicoidal formada por tricomas multicelulares. Su reproducción ocurre principalmente de forma asexual mediante fragmentación de los filamentos, generando hormogonios que permiten una rápida proliferación bajo condiciones favorables. Asimismo, destaca por su alto contenido proteico (55–70 % de su peso seco) y por aportar aminoácidos esenciales, además de vitaminas del complejo B, minerales y compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes e inmunomoduladoras (Agustini et al., 2015; Niccolai et al., 2019). Estas características han posicionado a la espirulina como un suplemento alimenticio con potencial para contribuir a la reducción de deficiencias nutricionales, especialmente en contextos de vulnerabilidad.

En la **figura 1** se puede apreciar la vista microscópica de *Spirulina platensis* (A), así como también su vista desde una micrografía electrónica de barrido (B).

Figura. 1. (A) Vista microscópica de microalgas *Spirulina platensis* y (B) micrografía electrónica de barrido de *S. platensis*.



Fotografía de N. Seyidoglu.

Fuente: (Seyidoglu et al., 2017)

Se han reportado incrementos significativos en los niveles de hemoglobina, con mejoras que, en algunos estudios, alcanzan valores superiores al 10–20 %, junto con aumentos en el peso corporal y una mejora en la respuesta inmunológica, especialmente en poblaciones vulnerables como niños y mujeres gestantes (Leal-Esteban et al., 2021b; Masuda & Chitundu, 2019). Asimismo, se han documentado mejoras en la concentración de micronutrientes esenciales, así como una disminución en la prevalencia de anemia y signos de desnutrición, lo que sugiere un impacto positivo en el estado nutricional general de los individuos. De igual manera, algunos estudios han evidenciado mejoras en indicadores de desarrollo infantil, incluyendo el crecimiento físico y el desarrollo cognitivo, particularmente cuando la suplementación se realiza en etapas tempranas de la vida. (Masuda & Chitundu, 2019b)

Desde una perspectiva biotecnológica y ambiental, *S. platensis* presenta ventajas frente a los sistemas convencionales de producción de alimentos, ya que su cultivo requiere menores extensiones de tierra, reduce el consumo de agua y permite una producción continua con bajo impacto ambiental (Buchmann et al., 2019a; Naik et al., 2024a). No obstante, persisten desafíos relacionados con la estandarización de los procesos productivos, la evaluación de costos a gran escala y su integración en programas de nutrición (Giroto & Scapini, 2025)

En consecuencia, resulta necesario consolidar y analizar de manera sistemática la evidencia científica disponible sobre la producción, las aplicaciones biotecnológicas y el impacto nutricional de *S. platensis* en poblaciones vulnerables. La dispersión de los estudios y la variabilidad metodológica dificultan la toma de decisiones informadas por parte de las entidades responsables de programas de seguridad alimentaria.

Por lo anterior, la presente revisión sistemática tiene como objetivo analizar y sintetizar la evidencia científica publicada entre 2015 y 2025 sobre el uso de *S. platensis* como suplemento alimenticio, evaluando su potencial nutricional, su viabilidad biotecnológica y sus implicaciones para la seguridad alimentaria en poblaciones vulnerables. Este trabajo busca aportar una base técnica que respalde el

diseño de estrategias sostenibles en salud pública y nutrición, y responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿La suplementación con *S. platensis* como complemento alimenticio mejora el estado nutricional de poblaciones vulnerables?

2. METODOLOGIA

Este estudio se desarrolla bajo la metodología PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), una guía internacional que orienta la elaboración y documentación transparente de revisiones sistemáticas y metaanálisis mediante criterios explícitos de inclusión y exclusión. Esta metodología permite garantizar la identificación, selección y análisis riguroso de literatura científica relevante y de alta calidad, favoreciendo la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Tipo de estudio

El diseño del estudio es documental, dado que se fundamenta en la recopilación, evaluación crítica y síntesis de investigaciones científicas relacionadas con la producción, las aplicaciones biotecnológicas y el impacto nutricional de *S. platensis* en poblaciones vulnerables. Asimismo, es de carácter descriptivo y analítico, ya que evalúa la evidencia disponible sobre su composición nutricional, biodisponibilidad, efectos en indicadores de salud y su viabilidad como estrategia dentro de programas de seguridad alimentaria.

La investigación integra los hallazgos reportados en estudios clínicos, comunitarios y biotecnológicos con el fin de identificar tendencias, fortalezas, limitaciones metodológicas y vacíos de conocimiento en torno al uso de la *S. platensis* como suplemento alimenticio.

2.1 Búsqueda bibliográfica: criterios de inclusión y exclusión

La presente revisión sistemática se desarrolló siguiendo las directrices de la declaración PRISMA (Page et al., 2021). Se realizó una búsqueda exhaustiva en cuatro bases de datos científicas: Pubmed, Scopus, ScienceDirect, y MDPI, seleccionadas por su amplio repositorio en áreas como microbiología, biotecnología, nutrición y ciencias de los alimentos.

La búsqueda se orientó a identificar estudios relacionados con la suplementación con *Spirulina platensis* y su impacto en poblaciones vulnerables, publicados entre 2015 y 2025. Para ello, se emplearon ecuaciones de búsqueda usando combinaciones de palabras clave en conjunción con operadores Booleanos (AND, OR), así como herramientas de búsqueda avanzada como comillas (“”) y truncamientos (*), con el fin de optimizar la precisión de los resultados.

Criterios de inclusión

- Artículos de investigación y revisión publicados entre 2015 y 2025 que aborden la producción, composición nutricional y aplicación de *S. platensis* como suplemento alimenticio.
- Estudios que evalúen el impacto de la suplementación en poblaciones vulnerables, incluyendo personas en riesgo de desnutrición o con deficiencias nutricionales.
- Investigaciones con resultados cuantitativos relacionados con indicadores nutricionales (peso, índice de masa corporal, hemoglobina, ferritina, proteínas séricas, entre otros).
- Publicaciones que describan metodologías de cultivo, procesamiento o aplicación biotecnológica de *S. platensis*.
- Artículos en idioma inglés.
- Artículos de investigación especializados en microalgas y nutrición que aporten información relevante al tema.

Criterios de exclusión

- Artículos que no aborden el uso de *S. platensis* como suplemento nutricional.
- Estudios centrados exclusivamente en otras microalgas o suplementos sin incluir Espirulina.
- Investigaciones sin resultados cuantificables o sin evaluación del impacto nutricional.
- Tesis de pregrado, artículos de revisión, editoriales o cartas al editor.
- Publicaciones duplicadas o con acceso restringido que limiten la obtención de información completa.

2.2. Proceso de selección de estudios

La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos seleccionadas mediante el uso de palabras clave y operadores booleanos previamente definidos, orientados a la identificación de estudios relacionados con la suplementación con *Spirulina platensis* en poblaciones vulnerables. Posteriormente se llevó a cabo el proceso del cribado, el cual consistió en la revisión de títulos y resúmenes de los artículos obtenidos, aplicando los criterios de inclusión y exclusión establecidos. De la misma manera se realizó la identificación y eliminación de documentos duplicados mediante el uso de la herramienta de gestión bibliográfica Rayyan.

En la fase de elegibilidad, se efectuó la lectura completa de los artículos preseleccionados con el fin de verificar su pertinencia temática, rigor metodológico y concordancia con la estrategia PICO planteada.

Finalmente, los estudios que cumplieron con todos los criterios establecidos conformaron la base final de análisis de la presente revisión sistemática, permitiendo evaluar el impacto de la suplementación con *S. platensis* sobre indicadores nutricionales en poblaciones en condición de vulnerabilidad.

2.3. Extracción y análisis de datos

Los datos extraídos de los estudios seleccionados fueron organizados en hojas de cálculo y analizados con el propósito de identificar las tendencias relacionadas con la composición nutricional de *S. platensis*, así como también su impacto en el estado nutricional de poblaciones vulnerables.

La información recopilada incluyó variables como contenido de macronutrientes (especialmente proteínas), micronutrientes (hierro, vitaminas), condiciones de cultivo, formas de procesamiento y resultados asociados a la suplementación, tales como cambios en indicadores antropométricos y bioquímicos.

Los resultados se presentaron mediante tablas y gráficos comparativos, destacando la efectividad de la suplementación con *S. platensis*, las dosis empleadas, la duración de las intervenciones y las características de las poblaciones estudiadas. Asimismo, se analizaron factores que pueden influir en la variabilidad de los resultados, como el contexto socioeconómico, el estado nutricional inicial y las condiciones de implementación.

Finalmente, se identificaron vacíos de conocimiento en la literatura y se propusieron posibles líneas de investigación futura, especialmente en relación con la estandarización de dosis, estudios a largo plazo y su aplicación en programas de seguridad alimentaria.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la búsqueda bibliográfica se identificaron 2.829 artículos, obtenidos mediante 6 ecuaciones obtenidas de combinaciones de palabras clave, aplicando los criterios de inclusión como se muestran en la **Tabla 1**. Posteriormente se procedió a la detección y eliminación de

869 registros duplicados utilizando la herramienta Rayyan, lo que redujo el total a 1.960 artículos.

De estos, 1.710 fueron excluidos por criterios de exclusión o temática. En la siguiente fase, se realizó la lectura de 250 títulos y resúmenes, de los cuales 48 cumplieron con todos los criterios establecidos y fueron seleccionados para el análisis final de la revisión sistemática. El proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios se presenta en la **Figura 2**.

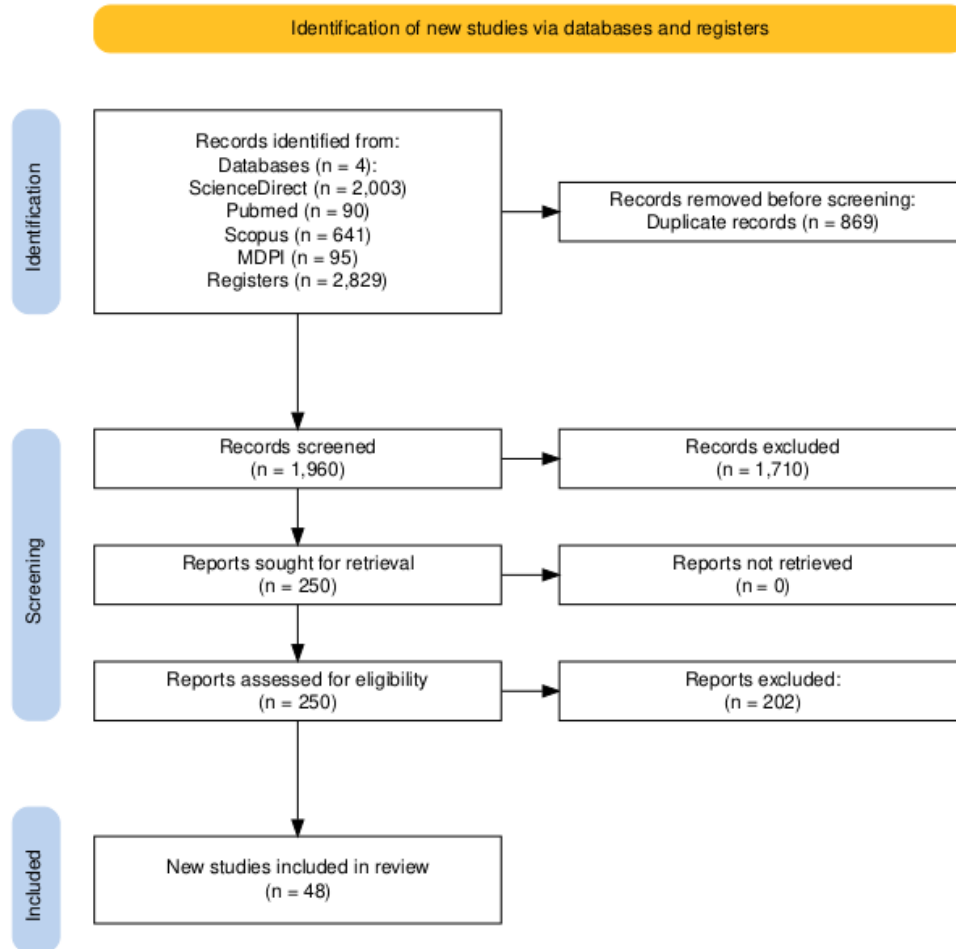


Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA 2020 que ilustra el proceso de búsqueda y selección de artículos. Fuente propia con generación de imagen en:

https://estech.shinyapps.io/prisma_flowdiagram/

Tabla 1. Número de publicaciones encontradas aplicando rango de años de publicación y de acceso abierto en las diferentes bases de datos utilizadas

Combinación de búsqueda	ScienceDirect	Pubmed	Scopus	MDPI	Total de artículos por algoritmo de búsqueda
(<i>Arthrospira platensis</i> OR <i>Spirulina platensis</i>) AND (Microalgae)	738	30	402	50	1220
(<i>Spirulina platensis</i>) AND (production) AND (biotechnology OR cultivation)	526	19	117	21	683
(<i>Spirulina platensis</i>) AND (food supplement OR nutrition) AND (vulnerable populations OR malnutrition)	40	3	0	0	43
(Spirulina) AND (health benefits OR salud) AND (micronutrientes OR proteínas)	2	2	0	0	4
(<i>Spirulina platensis</i>) AND (antioxidants OR peptidoglycans) AND (metabolites OR polysaccharides)	319	4	75	10	408
(<i>Spirulina platensis</i> OR <i>Arthrospira platensis</i>) AND (nutritional composition OR proteins OR micronutrients) AND (food supplement OR nutrition)	378	32	47	14	471
Total de artículos por base de datos	2003	90	641	95	
TOTAL	2829				

3.1 Estrategias biotecnológicas para la producción y optimización de *Spirulina platensis*

El análisis de los 18 estudios agrupados en la **Tabla 2** evidencia avances significativos en el desarrollo de estrategias orientadas a mejorar tanto el rendimiento de biomasa como la obtención de compuestos de alto valor agregado en *Spirulina platensis*. Los artículos revisados abordan principalmente variables relacionadas con las condiciones de cultivo, los métodos de cosecha, las estrategias de extracción y la valorización de la biomasa, destacándose la obtención de compuestos como proteínas, ficocianina y otros metabolitos bioactivos con potencial aplicación en la industria alimentaria y nutracéutica.

En este sentido, diversos estudios han demostrado que la modificación de parámetros ambientales, tales como la intensidad lumínica, la composición del medio de cultivo y las condiciones fisicoquímicas (pH, temperatura y disponibilidad de nutrientes), influye de manera directa en el crecimiento de esta microalga y en la productividad de la biomasa (Hamidi et al., 2023; Soni et al., 2019). Estas variables no solo afectan la tasa de crecimiento, sino también la composición bioquímica de la biomasa, lo que resulta determinante para la obtención de compuestos específicos de interés.

Asimismo, se ha reportado que la implementación de tecnologías innovadoras, como el control de la intensidad lumínica y el uso de sistemas de cultivo optimizados, permite incrementar la producción de metabolitos de alto valor, particularmente la ficocianina, mejorando tanto su concentración como su pureza (Lee et al., 2025; S. Yu & Yoshikuni, 2025)). Este aspecto resulta clave desde el punto de vista biotecnológico, ya que la ficocianina es uno de los compuestos más demandados por sus propiedades antioxidantes y su aplicación en alimentos funcionales y productos farmacéuticos.

Por otra parte, el desarrollo de métodos sostenibles para la cosecha y el aprovechamiento de la biomasa, como la biofloculación y la extracción asistida por ultrasonido, ha demostrado ser una alternativa eficiente para optimizar los procesos de recuperación y transformación de compuestos bioactivos (Nazari et al., 2021; Sadewo et al., 2025) Estas tecnologías no solo mejoran la eficiencia de extracción, sino que también contribuyen a la reducción de costos y al aprovechamiento integral de la biomasa, lo cual es fundamental para su escalamiento industrial.

Tabla 2. Producción y optimización biotecnológica de *S. platensis*

Autor y año	País	Tipo de estudio	Objetivo	Aplicación de <i>S. platensis</i>	Principales hallazgos
(Janssen et al., 2022)	Países Bajos	Investigativa	Analizar la producción de proteína unicelular a partir de microalgas	Producción biotecnológica	Las microalgas son fuente sostenible de proteínas alternativas
(Y. Yu et al., 2023)	China	Experimental	Optimizar producción de ficocianina en Espirulina	Producción biotecnológica	Mejora en productividad y pureza del pigmento
(Soni et al., 2019)	India	Experimental	Evaluar crecimiento de Espirulina en diferentes medios	Producción biotecnológica	Mejora del crecimiento según condiciones del medio
(Nazari et al., 2021)	Brasil	Experimental	Evaluar biofloculante para cosecha de Espirulina	Producción	Método eficiente y ecológico de recolección
(Hamidi et al., 2023)	Irán	Experimental	Evaluar parámetros ambientales en producción de compuestos	Producción biotecnológica	Incremento de lípidos, proteínas y carotenoides
(Lee et al., 2025)	Corea del Sur	Experimental	Optimizar producción de ficocianina mediante luz artificial	Producción biotecnológica	Aumento en rendimiento del pigmento
(Sadewo et al., 2025)	Indonesia	Experimental	Evaluar extracción de ficocianina mediante ultrasonido	Procesamiento	Mejora en eficiencia de extracción
(de Souza Sossella et al., 2020)	Brasil	Experimental	Evaluar métodos de cosecha de biomasa de Espirulina	Producción biotecnológica	Mejora en eficiencia de recuperación de la biomasa
(Andreeva et al., 2021)	Rusia	Experimental	Analizar producción y composición de proteínas de microalgas	Producción proteica	Perfil aminoacídico completo y alto valor nutricional
(Irvani et al., 2024; Milia et al., 2025)	Italia / Marruecos	Experimental	Evaluar sistemas de entrega de suplementos con Espirulina	Aplicación farmacéutica/nutracéutica	Mejora en estabilidad y biodisponibilidad
(Irvani et al., 2024)	Nueva Zelanda	Experimental	Evaluar métodos de extracción de proteínas de Espirulina	Procesamiento alimentario	Cambios en perfil proteico y posible alergenicidad
(Senila et al., 2025)	Rumania	Experimental	Caracterizar perfil químico y lipídico de Espirulina	Uso como materia prima	Rica en compuestos bioactivos y lípidos funcionales

(Tolpeznikaite et al., 2021)	Lituania / Europa	Experimental	Evaluar compuestos bioactivos en extractos de algas	Aplicaciones nutraceuticas	Transferencia de micronutrientes y compuestos bioactivos
(Sousa et al., 2023b)	Portugal	Investigativa	Analizar biomasa de microalgas como fuente de biocompuestos	Aplicación nutraceutica	Potencial en extracción de compuestos bioactivos
(Buchmann et al., 2019b)	Suiza	Experimental	Evaluar propiedades fisicoquímicas de fracciones de microalgas	Procesamiento alimentario	Propiedades funcionales útiles en formulación de alimentos
(Kaur et al., 2025)	India	Investigativa	Analizar proteínas de microalgas para uso nutraceutico	Aplicaciones en alimentos funcionales	Alto potencial en nutrición y salud
(Bernaerts et al., 2018; Leal-Esteban et al., 2021)	Belgica	Experimental	Comparar biomasa de microalgas como ingrediente funcional	Aplicación en alimentos	Diferencias en polisacáridos afectan funcionalidad
(Leal-Esteban et al., 2021b)	Brasil	Experimental	Evaluar producción de biomasa de <i>Spirulina</i>	Producción	Alta eficiencia en producción de biomasa

Por otro lado, los artículos centrados en la caracterización química y funcional de la biomasa destacan su alto contenido de compuestos bioactivos y su potencial como fuente de proteínas, lo cual refuerza su importancia en el contexto de la biotecnología alimentaria (Andreeva et al., 2021; Senila et al., 2025) De esta manera, la literatura acierta en señalar que *Spirulina platensis* representa una alternativa viable frente a fuentes tradicionales de nutrientes, debido a su eficiencia productiva y su bajo impacto ambiental (Janssen et al., 2022)

Con este contexto, los artículos analizados demuestran que la optimización de los procesos biotecnológicos aplicados a *Spirulina platensis* permite mejorar su producción, calidad y fortalece su posicionamiento como un recurso clave para el desarrollo de soluciones sostenibles en la industria alimentaria y nutraceutica.

3.2 Aplicaciones de *Spirulina platensis* en el desarrollo de alimentos funcionales

El análisis de los 11 artículos incluidos la **Tabla 3** evidencia que *Spirulina platensis* ha sido incorporada como ingrediente en el desarrollo de alimentos funcionales, con el objetivo de potencializar su valor nutricional. Diversas investigaciones han incorporado esta microalga en productos como yogures, panes, pastas, bebidas, barras de cereal y galletas, demostrando que su utilización como un valor agregado demostrando que su adición contribuye significativamente al incremento del contenido de proteínas, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. (Albuquerque et al., 2025; Cvetković et al., 2025; Raczyk et al., 2022; Souiy et al., 2022)

Varios estudios evaluaron las propiedades sensoriales de los alimentos enriquecidos con *S. platensis*, evidenciando que, aunque la incorporación de esta microalga puede generar cambios en el color, sabor y aroma, es posible lograr una buena aceptación por parte de los consumidores mediante ajustes en la formulación. (Paula da Silva et al., 2021a). En este contexto, algunos estudios han abordado la percepción del consumidor en poblaciones

específicas; por ejemplo, en un estudio realizado con padres de escolares en Etiopía, se evaluó la disposición de compra de productos enriquecidos con espirulina, evidenciando que la aceptación puede verse influenciada por factores como la información nutricional y la percepción de beneficios para la salud. (Andaregie et al., 2024)

Esto resulta especialmente relevante para su aplicación en poblaciones específicas, como niños o personas con requerimientos nutricionales particulares.

Las evidencias publicadas muestran que *S. platensis* representa una alternativa viable para el desarrollo de alimentos funcionales, no solo por sus beneficios nutricionales sino también por su potencial para contribuir a la seguridad alimentaria. (Ramírez-Rodríguez et al., 2021)

Tabla 3. Aplicaciones de *S. platensis* en alimentos funcionales

Autor y año	País	Tipo de estudio	Objetivo	Aplicación de <i>S. platensis</i>	Principales hallazgos
(Raczyk et al., 2022)	Polonia	Experimental	Evaluar el efecto de Espirulina en pasta a base de trigo	Fortificación de alimentos	Mejora del perfil nutricional y cambios en propiedades fisicoquímicas
(Albuquerque et al., 2025)	Brasil	Experimental	Incorporar Espirulina en yogurt para mejorar calidad nutricional	Enriquecimiento de alimentos	Incremento de compuestos bioactivos y valor nutricional
(Cvetković et al., 2025)	Serbia	Experimental	Desarrollar jugos enriquecidos con Spirulina	Fortificación de alimentos	Mejora del valor nutricional y capacidad antioxidante
(Pourghasemian et al., 2025)	Irán	Experimental	Desarrollar barra proteica con Espirulina	Fortificación de alimentos	Mejora del valor nutricional y estructura proteica
(Paula da Silva et al., 2021a)	Brasil	Experimental	Incorporar Espirulina micro encapsulada en galletas veganas	Desarrollo de alimentos	Mejora nutricional sin afectar aceptación sensorial
(Souiy et al., 2022)	Túnez	Experimental	Desarrollar barra de cereal sin gluten enriquecida con Espirulina	Fortificación de alimentos	Mejora nutricional y buena aceptación sensorial
(Andaregie et al., 2024)	Etiopía / Japón	Experimental	Evaluar la aceptación de pan enriquecido con Espirulina en niños	Fortificación de alimentos	Alta disposición de compra tras estrategias de información
(Viegas et al., 2025)	Portugal	Experimental	Desarrollar smoothies funcionales con microalgas	Aplicación alimentaria	Incremento de antioxidantes y valor funcional
(Lupatini Menegotto et al., 2019b)	Brasil	Experimental	Evaluar propiedades funcionales de proteína de Espirulina	Enriquecimiento alimentario	Buenas propiedades tecnológicas para alimentos

(Ramírez-Rodrigues et al., 2021)	México	Experimental	Evaluar proteína de Espirulina como ingrediente sostenible	Desarrollo de alimentos	Alternativa sostenible con alto contenido proteico
(Nicolotti et al., 2024)	Italia / Portugal	Experimental	Evaluar fermentación láctica de Espirulina	Bebidas funcionales	Incremento de bioactividad y potencial funcional

La **Figura 3** presenta un esquema del uso de biomasa microencapsulada en la elaboración de productos alimenticios. En este caso, se ilustra la aplicación de técnicas como la microencapsulación por secado por aspersión, las cuales permiten mejorar la estabilidad de los compuestos bioactivos y enmascarar características sensoriales no deseadas, como el sabor y el color. Asimismo, se evidencian los efectos positivos de su incorporación en matrices alimentarias, reflejados en el incremento del contenido proteico, el aporte de micronutrientes como el hierro y una adecuada aceptación por parte del consumidor.

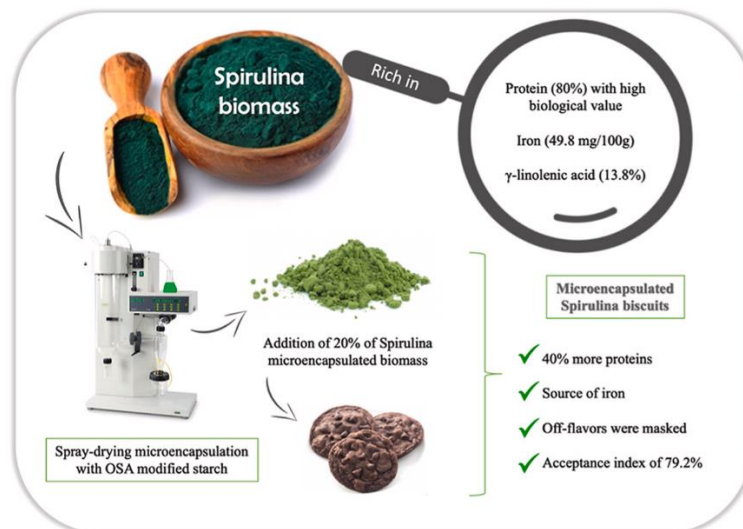


Figura 3. Aplicación de biomasa microencapsulada de *Spirulina platensis* en la elaboración de galletas funcionales y su impacto en propiedades nutricionales y sensoriales. Fuente: (Paula da Silva et al., 2021b)

3.3 Propiedades nutricionales y efectos en la salud derivados de la suplementación con *Spirulina platensis*

El análisis de los 19 artículos incluidos en la **Tabla 4** evidencian que *Spirulina platensis* presenta un alto valor nutricional y un importante potencial en la promoción de la salud. Diversas investigaciones han demostrado que esta microalga es rica en proteínas de alta calidad, vitaminas (especialmente del complejo B), minerales como el hierro y compuestos bioactivos con actividad antioxidantes y antimicrobianas. Estos componentes contribuyen a mejorar el estado nutricional de la población y a prevenir diferentes alteraciones relacionadas con deficiencias alimentarias.

Algunos estudios experimentales y ensayos clínicos han evaluado directamente los efectos de la suplementación con espirulina, evidenciando beneficios como el aumento de los niveles de hemoglobina en poblaciones con anemia y mejoras en el desarrollo de niños en crecimiento. En este sentido, destacan investigaciones realizadas en poblaciones específicas, como el

estudio de (Masuda & Chitundu, 2019a) llevado a cabo en niños menores de cinco años en Zambia, donde se reportaron efectos positivos en el desarrollo infantil, y el estudio de (Leal-Esteban et al., 2021b), realizado en mujeres jóvenes con anemia, en el que se observaron mejoras en los niveles de hemoglobina tras la suplementación. De igual forma, estudios *in vivo* han permitido observar efectos positivos a nivel biológico, como la actividad antioxidante y el fortalecimiento del sistema inmunológico como respuesta al consumo de esta microalga.

De igual forma, estudios *in vivo* han permitido observar efectos positivos a nivel biológico, como la actividad antioxidante y el fortalecimiento del sistema inmunológico como respuesta al consumo de esta microalga.

Los estudios analizados coinciden en destacar el papel de *Spirulina platensis* como una alternativa sostenible frente a fuentes tradicionales de nutrientes y proteínas, resaltando su potencial aplicación en la seguridad alimentaria y en el desarrollo de estrategias nutricionales a poblaciones vulnerables.

Tabla 4. Propiedades nutricionales y efectos en la salud de *S. platensis*

Autor y año	País	Tipo de estudio	Objetivo	Aplicación de Spirulina	Principales hallazgos
(Čmiková et al., 2025)	Eslovaquia / Polonia	Experimental	Comparar composición nutricional y propiedades bioactivas de microalgas (<i>Chlorella</i> vs <i>Spirulina</i>)	Evaluación como alimento funcional	Alto contenido de proteínas y compuestos bioactivos con potencial en suplementos
(Masuda & Chitundu, 2019b)	Japón / Zambia	Ensayo clínico	Evaluar el efecto de la suplementación con <i>Spirulina</i> en niños	Suplementación nutricional	Mejora en el desarrollo infantil y estado nutricional
(S. Yu & Yoshikuni, 2025)	Japón	Investigativa	Analizar avances biotecnológicos en alimentos a base de algas	Producción biotecnológica	Impacto positivo en microbiota y nutrición
(Koyande et al., 2019)	Malasia / internacional	Investigativa	Evaluar microalgas como suplemento alimenticio	Suplementación	Fuente rica en nutrientes y compuestos bioactivos
(Saeed et al., 2025)	Pakistán	Investigativa	Analizar proteínas de algas en nutrición sostenible	Innovación alimentaria	Alternativa sostenible frente a proteínas tradicionales
(Silva et al., 2025)	Portugal	Investigativa	Evaluar biomasa de microalgas como fuente de compuestos bioactivos	Aplicación nutracéutica	Beneficios en salud y bienestar

(Masoumifeshani et al., 2025)	Irán / Alemania	Experimental	Evaluar péptidos antioxidantes de Spirulina	Aplicación nutracéutica	Actividad antioxidante y potencial anti-envejecimiento
(Ferreira de Oliveira & Bragotto, 2022)	Brasil	Investigativa	Analizar productos basados en microalgas en alimentación y salud pública	Aplicación alimentaria	Microalgas como alternativa nutricional con impacto en salud pública
(Wang et al., 2025)	Reino Unido / China	Experimental	Evaluar contenido y biodisponibilidad de hierro en microalgas	Suplementación nutricional	Fuente potencial de hierro biodisponible
(Abdel-Moneim et al., 2022)	Egipto / Arabia Saudita	Experimental	Evaluar actividad antimicrobiana y antioxidante	Aplicación nutracéutica	Alta actividad contra bacterias y hongos
(Leal-Esteban et al., 2021a)	India / Suiza	Ensayo clínico	Evaluar suplementación con Spirulina en mujeres anémicas	Suplementación	Mejora en niveles de hemoglobina
(Alshuniaber et al., 2021)	Arabia Saudita	Experimental	Evaluar compuestos antimicrobianos de Spirulina	Aplicación alimentaria	Inhibición de patógenos alimentarios
(Kumar et al., 2022)	India	Experimental	Evaluar actividad antioxidante y fitonutrientes	Aplicación nutracéutica	Alta capacidad antioxidante
(Grover et al., 2020)	India	Experimental	Evaluar seguridad, toxicidad y efectos inmunológicos	Aplicación nutracéutica	Actividad antioxidante y seguridad biológica
(Edelmann et al., 2019b)	Finlandia	Experimental	Evaluar contenido de vitaminas en microalgas comerciales	Suplementación	Presencia significativa de vitaminas del complejo B
(Niccolai et al., 2019)	Italia	Investigativa	Analizar microalgas como fuente alimentaria	Aplicación nutricional	Alto valor nutricional y digestibilidad
(Agustini et al., 2015)	Indonesia	Experimental	Comparar compuestos bioactivos en Spirulina fresca vs seca	Evaluación nutracéutica	Diferencias en contenido bioactivo según procesamiento
(Naik et al., 2024b)	India	Investigativa	Evaluar microalgas en producción sostenible de alimentos	Seguridad alimentaria	Alternativa clave para alimentación futura
(Giroto & Scapini, 2025)	Italia	Investigativa	Analizar uso de biomasa microalgal en industria alimentaria europea	Aplicación industrial	Retos regulatorios y aceptación del consumidor

4. CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática permitió evidenciar que *Spirulina platensis* representa una alternativa prometedora como suplemento alimenticio, gracias a su alto valor nutricional, su riqueza en compuestos bioactivos y su potencial para contribuir a la seguridad alimentaria. Los estudios analizados coinciden en destacar su contenido significativo de proteínas, vitaminas, minerales y antioxidantes, así como su capacidad para mejorar indicadores del estado nutricional, especialmente en poblaciones vulnerables. En este sentido, la espirulina se posiciona como un recurso estratégico dentro de las nuevas tendencias en nutrición sostenible.

Desde el enfoque biotecnológico, se identificaron avances importantes en la optimización de su producción, incluyendo el control de las condiciones de cultivo, el desarrollo de tecnologías de cosecha más eficientes y la implementación de métodos innovadores para la extracción de compuestos de alto valor provenientes de *Spirulina platensis*. Estas estrategias han permitido mejorar tanto el rendimiento de biomasa como la calidad de los metabolitos obtenidos, favoreciendo su uso en la industria alimentaria y nutracéutica. De esta forma, su bajo requerimiento de recursos y su capacidad de producción continua refuerzan su potencial como alternativa sostenible frente a fuentes tradicionales de nutrientes.

En cuanto a sus aplicaciones en alimentos funcionales, la evidencia demuestra que *S. platensis* puede ser incorporada exitosamente en una amplia variedad de productos, incrementando su valor nutricional y funcional. No obstante, se identifican limitaciones relacionadas con la aceptación sensorial, especialmente en términos de color, sabor y aroma, lo que ha impulsado el desarrollo de estrategias como la microencapsulación para mejorar su incorporación en matrices alimentarias.

Sin embargo, a pesar del amplio potencial identificado, esta revisión permitió evidenciar importantes vacíos en la investigación. En primer lugar, existe una limitada cantidad de estudios clínicos en humanos, pues la mayoría de estas investigaciones son in vivo o in vitro, lo cual dificulta establecer conclusiones definitivas sobre su impacto en la salud y evaluar de manera integral los efectos de la suplementación con espirulina a largo plazo. Asimismo, se observa una alta variabilidad metodológica entre los estudios, especialmente en cuanto a dosis, duración de la intervención y características de la población evaluada, lo que limita la comparabilidad de los resultados.

También se evidenció una limitada investigación enfocada en poblaciones vulnerables en contextos reales, así como en la evaluación económica y la viabilidad de implementar programas a gran escala. En este sentido, futuras investigaciones deberían orientarse hacia el desarrollo de estudios clínicos más robustos, la estandarización de metodologías y la evaluación del impacto de *Spirulina platensis* en escenarios aplicados, con el fin de consolidar su uso como una estrategia efectiva en la lucha contra la desnutrición y la inseguridad alimentaria.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdel-Moneim, A. M. E., El-Saadony, M. T., Shehata, A. M., Saad, A. M., Aldhumri, S. A., Ouda, S. M., & Mesalam, N. M. (2022). Antioxidant and antimicrobial activities of *Spirulina platensis* extracts and biogenic selenium nanoparticles against selected pathogenic bacteria and fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(2), 1197–1209. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.09.046>
- Agustini, T. W., Suzery, M., Sutrisnanto, D., Ma'ruf, W. F., & Hadiyanto. (2015). Comparative Study of Bioactive Substances Extracted from Fresh and Dried *Spirulina* sp. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 282–289. <https://doi.org/10.1016/J.PROENV.2015.01.042>
- Albuquerque, R. C. V., de Farias Silva, C. E., Silva, M. C. dos S., Carneiro, W. dos S., Andreola, K., Gama, B. M. V. da, Figueiredo, M. V. A., Silva, A. E. da, & Silva, J. V. O. N. da. (2025). Incorporation of Agglomerated *Spirulina platensis* Powder in Yogurt: A Strategy for Enhancing Nutritional Quality and Bioactive Compounds. *Fermentation* 2025, Vol. 11, Page 389, 11(7), 389. <https://doi.org/10.3390/FERMENTATION11070389>
- Alshuniaber, M. A., Krishnamoorthy, R., & AlQhtani, W. H. (2021). Antimicrobial activity of polyphenolic compounds from *Spirulina* against food-borne bacterial pathogens. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 459–464. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2020.10.029>
- Andaregie, A., Sasaki, S., Shimura, H., Chikasada, M., Sato, S., Addisu, S., Astatkie, T., & Takagi, I. (2024). Promoting spirulina-enriched bread for primary school children in Ethiopia: Assessing parental willingness to purchase through information nudging. *Applied Food Research*, 4(1), 100403. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2024.100403>
- Andreeva, A., Budenkova, E., Babich, O., Sukhikh, S., Ulrikh, E., Ivanova, S., Prosekov, A., & Dolganyuk, V. (2021). Production, Purification, and Study of the Amino Acid Composition of Microalgae Proteins. *Molecules* 2021, Vol. 26, Page 2767, 26(9), 2767. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26092767>
- Buchmann, L., Bertsch, P., Böcker, L., Krähenmann, U., Fischer, P., & Mathys, A. (2019a). Adsorption kinetics and foaming properties of soluble microalgae fractions at the air/water interface. *Food Hydrocolloids*, 97, 105182. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.105182>
- Čmiková, N., Vukić, M. D., Vukovic, N. L., Havlík, J., Noguera-Artiaga, L., Carbonell-Barrachina, Á. A., Jančo, I., Vinciguerra, V., Garzoli, S., & Kačániová, M. (2025). Comprehensive Analysis of *Chlorella vulgaris* and *Arthrospira platensis*: Algae for Food Well-Being and Sustainable Agriculture. *ACS Food Science & Technology*, 5(8), 3000–3011. <https://doi.org/10.1021/ACSFOODSCITECH.5C00309>
- Cvetković, B., Belović, M., Pezo, L., Lazarević, J., Radivojević, G., Penić, M., Šimurina, O., & Bajić, A. (2025). Development of *Spirulina*-Enriched Fruit and Vegetable Juices: Nutritional Enhancement, Antioxidant Potential, and Sensory Challenges. *Foods*, 14(20), 3539. <https://doi.org/10.3390/FOODS14203539/S1>
- de Souza Sossella, F., Rempel, A., Monroe Araújo Nunes, J., Biolchi, G., Migliavaca, R., Farezin Antunes, A. C., Vieira Costa, J. A., Hemkemeier, M., & Colla, L. M. (2020). Effects of harvesting *Spirulina platensis* biomass using coagulants and electrocoagulation-flotation on enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology*, 311. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.123526>

- Edelmann, M., Aalto, S., Chamlagain, B., Kariluoto, S., & Piironen, V. (2019a). Riboflavin, niacin, folate and vitamin B12 in commercial microalgae powders. *Journal of Food Composition and Analysis*, *82*, 103226. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2019.05.009>
- Ferreira de Oliveira, A. P., & Bragotto, A. P. A. (2022). Microalgae-based products: Food and public health. *Future Foods*, *6*, 100157. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2022.100157>
- Giroto, F., & Scapini, A. (2025). Microalgal biomass in the European food industry: navigating regulation, technological innovation, and consumer acceptance. *Algal Research*, *91*, 104288. <https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2025.104288>
- Grover, P., Bhatnagar, A., Kumari, N., Narayan Bhatt, A., Kumar Nishad, D., & Purkayastha, J. (2020). C-Phycocyanin-a novel protein from *Spirulina platensis*- In vivo toxicity, antioxidant and immunomodulatory studies. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(3), 1853. <https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2020.12.037>
- Hamidi, M., Mohammadi, A., Mashhadi, H., & Mahmoudnia, F. (2023). Evaluation of effective environmental parameters on lipid, protein and beta-carotene production in *Spirulina platensis* microalga. *Results in Engineering*, *18*, 101102. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2023.101102>
- Irvani, N., King, J., Hamzelou, S., Ji, D., Tahmasian, A., Kebede, B., Carne, A., Agyei, D., & Oey, I. (2024). Impact of different food-grade protein extraction methods on the proteomic profile and potential allergenicity of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*). *Algal Research*, *84*, 103765. <https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2024.103765>
- Janssen, M., Wijffels, R. H., & Barbosa, M. J. (2022). Microalgae based production of single-cell protein. *Current Opinion in Biotechnology*, *75*, 102705. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2022.102705>
- Kaur, M., Bhatia, S., Bagchi, D., Tak, Y., Kaur, G., Kaur, C., Kaur, A., & Sharma, N. (2025). Enhancing microalgal proteins for nutraceutical and functional food applications. *Future Foods*, *11*, 100564. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2025.100564>
- Koyande, A. K., Chew, K. W., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D. T., & Show, P. L. (2019). Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*, *8*(1), 16–24. <https://doi.org/10.1016/J.FSHW.2019.03.001>
- Kumar, A., Ramamoorthy, D., Verma, D. K., Kumar, A., Kumar, N., Kanak, K. R., Marwein, B. M., & Mohan, K. (2022). Antioxidant and phytonutrient activities of *Spirulina platensis*. *Energy Nexus*, *6*, 100070. <https://doi.org/10.1016/J.NEXUS.2022.100070>
- Leal-Esteban, L. C., Nogueira, R. C., Veauvy, M., Mascarenhas, B., Mhatre, M., Menon, S., Graz, B., & von der Weid, D. (2021a). *Spirulina* supplementation: A double-blind, randomized, comparative study in young anemic Indian women. *Clinical Epidemiology and Global Health*, *12*, 100884. <https://doi.org/10.1016/J.CEGH.2021.100884>
- Lee, W. K., Ryu, Y. K., Kim, T., Oh, C., Kang, D. H., & Choi, W. Y. (2025). Artificial light-enhanced cultivation of *Arthrospira maxima* for improved C-phycoerythrin production in mid-latitude open raceway ponds. *Industrial Crops and Products*, *237*, 122173. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2025.122173>
- Lupatini Menegotto, A. L., Souza, L. E. S. de, Colla, L. M., Costa, J. A. V., Sehn, E., Bittencourt, P. R. S., Moraes Flores, É. L. de, Canan, C., & Colla, E. (2019a). Investigation of techno-functional and physicochemical properties of *Spirulina platensis* protein concentrate for food enrichment. *LWT*, *114*, 108267. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.108267>

- Masoumifeshani, B., Abedian Kenari, A., Sottorff, I., Crüsemann, M., & Amiri Moghaddam, J. (2025). Identification and Evaluation of Antioxidant and Anti-Aging Peptide Fractions from Enzymatically Hydrolyzed Proteins of *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris*. *Marine Drugs*, 23(4), 162. <https://doi.org/10.3390/MD23040162/S1>
- Masuda, K., & Chitundu, M. (2019a). Multiple micronutrient supplementation using spirulina platensis and infant growth, morbidity, and motor development: Evidence from a randomized trial in Zambia. *PLOS ONE*, 14(2), e0211693. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0211693>
- Milia, M., Castangia, I., Corrias, F., Aroffu, M., Casula, M., Manca, M. L., Manconi, M., Bouakline, H., & Angioni, A. (2025). Physicochemical Characteristics of Phospholipid Vesicles for Spirulina-Based Dietary Supplement Delivery. *Molecules* 2025, Vol. 30, Page 2581, 30(12), 2581. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES30122581>
- Naik, B., Mishra, R., Kumar, V., Mishra, S., Gupta, U., Rustagi, S., Gupta, A. K., Preet, M. S., Bhatt, S. C., & Rizwanuddin, S. (2024a). Micro-algae: Revolutionizing food production for a healthy and sustainable future. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 100939. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100939>
- Nazari, M. T., Rigueto, C. V. T., Rempel, A., & Colla, L. M. (2021). Harvesting of *Spirulina platensis* using an eco-friendly fungal bioflocculant produced from agro-industrial by-products. *Bioresource Technology*, 322, 124525. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.124525>
- Niccolai, A., Chini Zittelli, G., Rodolfi, L., Biondi, N., & Tredici, M. R. (2019). Microalgae of interest as food source: Biochemical composition and digestibility. *Algal Research*, 42, 101617. <https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2019.101617>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *PLoS Medicine*, 18(3). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PMED.1003583>
- Paula da Silva, S., Ferreira do Valle, A., & Perrone, D. (2021a). Microencapsulated *Spirulina maxima* biomass as an ingredient for the production of nutritionally enriched and sensorially well-accepted vegan biscuits. *LWT*, 142, 110997. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.110997>
- Pourghasemian, P., Pourfarzad, A., & Babakhani, A. (2025). Optimization of a brown rice protein bar supplemented with *Spirulina* and phycocyanin: FTIR-based analysis of protein secondary structures and multivariate quality assessment. *Applied Food Research*, 5(2), 101259. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2025.101259>
- Raczyk, M., Polanowska, K., Kruszewski, B., Grygier, A., & Michałowska, D. (2022). Effect of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) Supplementation on Physical and Chemical Properties of Semolina (*Triticum durum*) Based Fresh Pasta. *Molecules* 2022, Vol. 27, Page 355, 27(2), 355. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES27020355>
- Ramírez-Rodrigues, M. M., Estrada-Beristain, C., Metri-Ojeda, J., Pérez-Alva, A., & Baigts-Allende, D. K. (2021). *Spirulina platensis* Protein as Sustainable Ingredient for Nutritional Food Products Development. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 6849, 13(12), 6849. <https://doi.org/10.3390/SU13126849>

- Sadewo, B. R., Rochmadi, Dewayanto, N., Suyono, E. A., Nisya, A. F., Parafianto, A. N., Zulhan, B. M., & Budiman, A. (2025). Phycocyanin ultrasound assisted extraction from *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) using sodium phosphate buffer solvent: Mass transfer modelling and stability test. *South African Journal of Chemical Engineering*, 53, 103–116. <https://doi.org/10.1016/J.SAJCE.2025.04.004>
- Saeed, F., Tul Zohra, K., Naveed, K., Zia, A., Khaliq, M., Noor, Z., Khaliq, K., & Ali, M. A. (2025). Algal proteins for sustainable nutrition and functional food innovation. *Applied Food Research*, 5(1), 100752. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2025.100752>
- Senila, L., Kovacs, E., & Roman, C. (2025). Chemical Characterization, Lipid Profile, and Volatile Compounds in *Chlorella* sp. and *Spirulina platensis*: A Promising Feedstock for Various Applications. *Molecules*, 30(7), 1499. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES30071499>
- Seyidoglu, N., Inan, S., Aydin, C., Seyidoglu, N., Inan, S., & Aydin, C. (2017). A Prominent Superfood: *Spirulina platensis*. *Superfood and Functional Food - The Development of Superfoods and Their Roles as Medicine*. <https://doi.org/10.5772/66118>
- Silva, M., Geada, P., Pereira, R. N., & Teixeira, J. A. (2025). *Microalgae biomass-A source of sustainable dietary bioactive compounds towards improved health and well-being*. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2025.100926>
- Soni, R. A., Sudhakar, K., & Rana, R. S. (2019). Comparative study on the growth performance of *Spirulina platensis* on modifying culture media. *Energy Reports*, 5, 327–336. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2019.02.009>
- Souiy, Z., Zakhama, N., Cheraief, I., & Hammami, M. (2022). Nutritional, physical, microbial, and sensory characteristics of gluten-and sugar-free cereal bar enriched with spirulina and flavored with neroli essential oil. *LWT*, 169, 113955. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113955>
- Sousa, V., Pereira, R. N., Vicente, A. A., Dias, O., & Geada, P. (2023a). Microalgae biomass as an alternative source of biocompounds: New insights and future perspectives of extraction methodologies. *Food Research International*, 173, 113282. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2023.113282>
- Tolpeznikaite, E., Bartkevics, V., Ruzauskas, M., Pilkaityte, R., Viskelis, P., Urbonaviciene, D., Zavistanaviciute, P., Zokaityte, E., Ruibys, R., & Bartkiene, E. (2021). Characterization of macro-and microalgae extracts bioactive compounds and micro-and macroelements transition from algae to extract. *Foods*, 10(9), 2226. <https://doi.org/10.3390/FOODS10092226/S1>
- Viegas, Â., Raio, M., Alegria, M. J., & Raymundo, A. (2025). Upcycling apple and pear pulp into functional smoothies: A sustainable approach using microalgae and antioxidant enhancement. *Food Bioscience*, 71, 107241. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2025.107241>
- Wang, Y., Song, Y., Wang, R., & Latunde-Dada, G. O. (2025). Content and bioavailability of iron from cyanobacteria and microalgae as food sources. *Food Chemistry*, 496, 146681. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2025.146681>
- Yu, S., & Yoshikuni, Y. (2025). Biotechnological advances in algae-based foods: applications in nutrition and microbiome health. *Current Opinion in Biotechnology*, 94, 103335. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2025.103335>