

LIMNOSPIRA: INNOVACIÓN NUTRICIONAL PARA EL FUTURO DE LOS ALIMENTOS

Mariana Inés Acateca-Hernández¹,
Aleida S. Hernández-Cázares¹,
Ma. Antonieta Ríos-Corripio^{2*}

¹Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba,
Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348,
Congregación Manuel León, Amatlán de los
Reyes, Veracruz, 94953, México.

²CONAHCYT, Colegio de Postgraduados, Campus
Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz km
348, Congregación Manuel León, Amatlán de los
Reyes, Veracruz, 94953, México.

*e-mail: rios.antonietta@colpos.mx



RESUMEN

Limnospira surge como una fuente prometedora de proteínas, que transforma el CO₂, el nitrógeno atmosférico y la luz solar en varios compuestos bioactivos, que incluyen proteínas, carbohidratos, ácidos grasos, pigmentos, vitaminas y minerales. En comparación con las fuentes vegetales y animales convencionales, las cianobacterias proporcionan una alternativa proteica más sostenible, con altos niveles de proteínas totales (>50 % del peso seco) y una distribución equilibrada de aminoácidos esenciales y no esenciales adecuados para las necesidades nutricionales humanas. Las especies *Limnospira platensis* y *Limnospira maxima* ya se utilizan como productos alimenticios, se reconocen como "superalimentos" y se designan como "GRAS". Esta revisión proporciona una descripción completa de la composición nutricional de *Limnospira* y sus aplicaciones recientes en la investigación científica, considerando su potencial para posibles implementaciones en la industria alimentaria.

Palabras clave: Cianobacterias, *Limnospira*, Compuestos bioactivos, Incorporación en alimentos.

ABSTRACT

Limnospira emerges as a promising source of proteins, transforming CO₂, atmospheric nitrogen, and sunlight into valuable bioactive compounds, including proteins, carbohydrates, fatty acids, pigments, vitamins, and minerals. Compared to conventional plant and animal sources, cyanobacteria provide a more sustainable protein alternative, featuring high levels of total proteins (>50 % of dry weight) and a balanced distribution of essential and non-essential amino acids suitable for human nutritional requirements. The species *Limnospira platensis* and *Limnospira maxima* are already utilized as food products, recognized as "superfoods", and designated as "GRAS". This review provides a comprehensive overview of the nutritional composition of *Limnospira* and its recent applications in scientific research, considering its potential for possible implementations in the food industry.

Keywords: Cyanobacteria, *Limnospira*, Bioactive compounds, Incorporation in foods.

Introducción

Las cianobacterias son microorganismos autótrofos fotosintéticos que utilizan CO₂, nitrógeno atmosférico y luz solar para generar biomasa celular. Esta biomasa presenta niveles de proteínas que oscilan entre el 40-60 % en base seca (Almeida et al. 2021). El valor nutricional de las proteínas de cianobacterias es comparable, e incluso en algunos casos superior, al de las fuentes convencionales de proteínas vegetales (Lafarga 2019). El consumo histórico de las cianobacterias como alimento se remonta a miles de años y ha sido parte in-

tegral de diversas culturas (Rodríguez-Zúñiga et al. 2024). Incluso existen registros del siglo XVI en Tenochtitlán (actual Ciudad de México) por parte de los conquistadores españoles, que revelan que los aztecas consumían un pastel de color azul verdoso elaborado con *Limnospira* recolectada del lago de Texcoco (Habib et al. 2008). La propuesta de utilizar cianobacterias en aplicaciones alimentarias y bioquímicas se originó en 1952, siendo México pionero en el cultivo de *Limnospira* en la década de 1970 (Spolaore et al. 2006).

2.1. Composición nutricional de Limnospira

Limnospira es una cianobacteria fotosintética que constituye y da lugar a la formación de una biomasa rica en macro y micronutrientes (Figura 2). Esta biomasa incluye proteínas (50–60 %) con un índice de digestibilidad destacado (80–93 % en base seca) y un elevado valor nutricional, con proporciones de aminoácidos esenciales que representan el 47 % del contenido total de proteína (Almeida et al. 2021). No solo posee un alto contenido de proteínas, sino que también es rica en diversos compuestos bioactivos, tales como hidratos de carbono (15–24 %), ácidos grasos (6–7 %) ricos en ácidos grasos poliinsaturados (EPA, GLA y DHA), pigmentos (clorofilas, carotenoides, xantofilas y ficobiliproteínas), vitaminas, minerales y otros compuestos esenciales que ejercen efectos beneficiosos en la salud humana (López-Rodríguez et al. 2023).

LIMNOSPIRA

El género *Limnospira*, conocido comercialmente como *Spirulina*, es una cianobacteria comestible que se caracteriza por su color azul-verdoso y singular geometría en espiral, formada por tricomas multicelulares con diámetros que oscilan entre 3 y 16 micras, y longitudes que varían de 100 a 500 micras (Figura 1) (Rodríguez-Zúñiga et al. 2024). Estas especies se cultivan en entornos acuáticos controlados para asegurar su calidad y seguridad alimentaria. Mostrando un crecimiento y productividad de biomasa óptimos en condiciones específicas de temperatura (30 a 35 °C), pH alcalino (8 a 11) y en presencia de radiación solar fotosintéticamente activa (400 a 700 nm), con niveles adecuados de oxígeno disuelto, salinidad y disponibilidad de nutrientes (de Jesus et al. 2018).



Figura 1. Micrografía de la cianobacteria *Limnospira*, ampliación 100x. Fuente: Elaboración propia (2023).

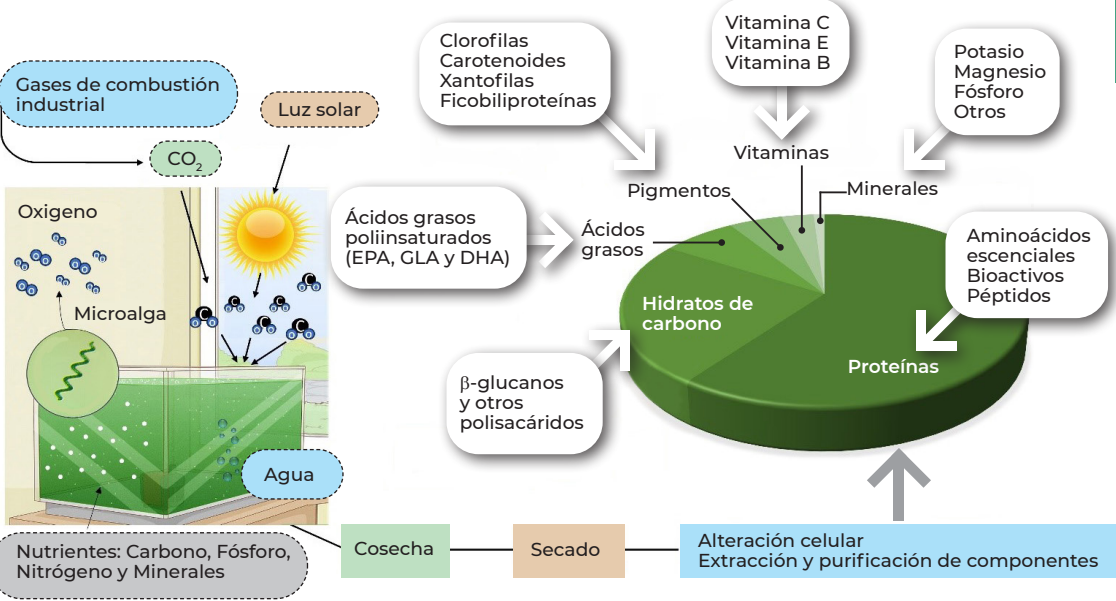


Figura 2. Biotecnología de cianobacterias para la obtención sostenible de compuestos bioactivos. Fuente: Elaboración propia a partir de Gohara-Beirigo et al. (2022).

2.2. Limnospira como recurso proteico potencial

Las proteínas de *Limnospira* presentan una distribución bien equilibrada de aminoácidos esenciales y no esenciales, con niveles significativos de valina, treonina, isoleucina, leucina, alanina, serina, prolina, arginina, ácido glutámico y aspártico (Lupatini et al. 2019). El contenido de proteínas y aminoácidos esenciales de *Limnospira*, supera al de las fuentes vegetales de proteínas convencionales y se asemeja al de las fuentes animales de proteína, como se detalla en la **Tabla 1**.

A pesar de la amplia variedad de especies de cianobacterias, solo algunas han obtenido la designación de “Generalmente Reconocido como Seguro” (GRAS, por sus siglas en inglés) otorgada por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de los Estados Unidos (FDA 2016). Entre ellas, destacan las especies *Limnospira maxima* y *Limnospira platensis*, reconocidas como “superalimentos”, definidos como “un alimento rico en nutrientes considerado especialmente beneficioso para la salud y el bienestar” (López-Rodríguez et al. 2023). Estas cianobacterias han sido ampliamente investigadas en la formulación de productos alimenticios, considerando su potencial para posibles implementaciones en la industria alimentaria (Lafarga 2019).

Composición de aminoácidos esenciales (g por 100 g de proteína)

Nombre genérico	Contenido de proteínas %	Isoleucina	Leucina	Lisina	Metionina + cisteína	Triptófano	Treonina	Valina	Fenilalanina + tirosina
Carne de res	18.06	3.47	7.08	8.05	4.34	1.35	3.03	4.33	5.18
Caseína	-	5.36	10.16	8.44	3.49	1.31	4.64	6.85	12.54
Harina de soja	38	4.72	8.51	6.34	2.43	1.14	3.84	4.91	9.66
Harina de trigo	10	3.34	6.85	2.66	3.87	1.12	2.93	4.27	7.78
<i>Limnospira maxima</i>	50-60	6	8	4.6	1.8	1.4	4.6	6.5	8.8
<i>Limnospira platensis</i>	46-63	6.7	9.8	4.8	3.4	0.3	6.2	7.1	10.6

Tabla 1. Contenido de proteínas y perfil de aminoácidos esenciales de *Limnospira* en comparación con fuentes de proteínas convencionales.
Fuente: Modificado de Becker (2013) y Jorfi et al. (2012).

2.3. Aplicación de Limnospira en alimentos

En la mayoría de las aplicaciones de cianobacterias en alimentos, se prefiere usar la biomasa celular completa debido a que es más económica y técnicamente viable (Lafarga 2019). Cuando se incorpora biomasa en la preparación de alimentos, el límite está determinado por la cantidad de producto que se consume. Hasta la fecha, la aplicación de *Limnospira* en diferentes productos alimenticios se ha utilizado ampliamente (**Tabla 2**).

La aplicación de *Limnospira* ofrece una solución eficiente para mejorar el contenido nutricional de productos horneados como pan, galletas y snacks salados. Además, estos productos destacan por su bajo contenido de humedad, lo que contribuye a prolongar su vida útil (Lafarga 2019). La adición de *S. platensis* en los "crostini" mejoró significativamente el contenido de proteínas, la capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos (Niccolai et al., 2019). Asimismo, se ha observado que las galletas impresas en 3D que incorporan *S. platensis* mantienen su estructura y resistencia al horneado (Uribe-Wandurraga et al. 2021). Hasta la fecha, la mayoría de los estudios de investigación se han enfocado en mejorar las propiedades nutricionales y funcionales de diferentes productos horneados (Da Silva et al. 2021^a; Uribe-Wandurraga et al. 2019).

Los productos lácteos son ampliamente reconocidos como una valiosa fuente de nutrientes, con un consumo significativo a nivel mundial. La exploración de nuevas alternativas se enfoca en opciones beneficiosas para la salud al fomentar el crecimiento de la microflora láctica. Por ejemplo, la adición de *Spirulina* al queso feta mejoró su calidad microbiológica al incrementar significativamente el recuen-

Industria alimentaria	Producto Alimenticio	Contenido de microalgas	Referencias
Panadería	Galletas	<i>Spirulina platensis</i> 1-20 %	Batista et al. (2017); Onacik-Gür et al. (2017); da Silva et al. (2021a)
	Galletas impresas en 3D	<i>Spirulina platensis</i> 0.5-2.0 %	Uribe-Wandurraga et al. (2021)
	Palitos de pan	<i>Spirulina platensis</i> 1.5 %	Uribe-Wandurraga et al. (2019)
	Pan	<i>Spirulina</i> 1 y 3 %	Hafsa et al. (2014)
	Strudel	<i>Spirulina platensis</i> 0-1.5 %	Khosravi-Darani et al. (2017)
	Masa madre (crostini)	<i>Spirulina platensis</i> 2-10 %	Niccolai et al. (2019)
Lácteos	Queso feta	<i>Spirulina platensis</i> 0.5-1 %	Golmakani et al. (2019)
	Leche de chocolate en polvo	<i>Spirulina</i> sp. LEB-18 5.0-8.75 %	de Oliveira et al. (2021)
	Yogurt	<i>Spirulina platensis</i> 0.25-1 %	Mostafa Mohammed et al. (2024)
	Bebida láctea	Microcápsulas de <i>Spirulina maxima</i> 3 %	
Cárnicos	Salchicha	<i>Spirulina</i> 1 %	Marti-Quijal et al. (2019 ^a)
	Cecina	<i>Spirulina</i>	Grahl et al. (2018)
	Chorizo	<i>Spirulina</i> 3%	Thirumdas et al. (2018)
	Hamburguesas	<i>Spirulina</i> 1 %	Marti Quijal et al. (2019 ^b); Žugčič et al. (2018)
	Pechuga de pavo	<i>Spirulina</i> 1 %	Marti Quijal et al. (2018)
	Pollo roti	<i>Spirulina</i> 1 %	Parniakov et al. (2018)
Procesamiento de frutas, verduras	Batido de frutas y verduras	<i>Spirulina</i> 2.2 %	Castillejo et al. (2018)
	Néctar de dátil	<i>Spirulina</i> 10 %	Aljobair et al. (2021)
	Sopa de brócoli	<i>Spirulina</i> sp. 0.5-2.0 %	Lafarga et al. (2019)
Extrusión	Bocadillos extruidos de Sémola de maíz	Péptidos bioactivos de <i>Spirulina</i> sp. LEB-18 2 %	da Silva et al. (2021 ^b)
	Snacks extruidos	<i>Spirulina platensis</i> 2-8 %	Lucas et al. (2018); Tańska et al. (2017)
Confitería	Chocolate blanco	<i>Spirulina platensis</i> 4 %	Özbal et al. (2022)
	Alimento en polvo con sabor a chocolate	<i>Spirulina</i> 750 mg/100 g	Santos et al. (2016)
Otros	Salsa funcional	<i>Spirulina platensis</i> 4 %	Almeida et al. (2021)
	Sopa deshidratada	<i>Spirulina platensis</i> 15 %	Los et al. (2018)
	Fideos secos	<i>Spirulina platensis</i>	Agustini et al. (2017)
	Geles con polímeros	<i>Spirulina platensis</i> 0-11 %	Batista et al. (2011)
	Kéfir vegetariano	<i>Spirulina maxima</i> 0.75-0.1 %	Sözeri-Atik et al. (2021)
		<i>Spirulina platensis</i> 0.25-0.5 %	

Tabla 2. Aplicación de *Limnospira* en diferentes productos alimenticios.



to viable de *Lactobacillus casei*, al mismo tiempo que mantenía texturas más suaves (Golmakani et al. 2019). Además, la inclusión de *Spirulina* LEB 18 en la leche chocolatada mejoró el contenido proteico del producto y mantuvo cinco aminoácidos favorables para la salud (Oliveira et al. 2021). Finalmente, una bebida enriquecida con un 3 % de microcápsulas de *S. maxima* demostró atributos funcionales y potente propiedad antioxidante (Mostafa Mohammed et al. 2024).

La investigación en la producción de productos cárnicos saludables se enfoca en la incorporación y evaluación del impacto de las proteínas de cianobacterias como la espirulina. El objetivo principal es mejorar las propiedades nutricionales, como el enriquecimiento proteico y el perfil de aminoácidos, así como se analizar los cambios en las propiedades fisicoquímicas de estos productos (Grahl et al. 2018; Marti-Quijal et al. 2018; Marti-Quijal et al. 2019^a; Marti-Quijal et al. 2019^b; Parniakov et al. 2018; Thirumdas et al. 2018; Žugčić et al. 2018).

Nuevas tendencias en el procesamiento de bebidas se centran en la creación de productos de origen vegetal que incorporan compuestos beneficiosos para la salud, como vitaminas, ácidos grasos y minerales (Lafarga 2019). Un ejemplo de ello es la suplementación con *Spirulina* al 2.2 % en un batido verde,

que ha demostrado mantener el contenido más alto de vitamina B12 a lo largo de una vida útil de 17 días (Castillejo et al. 2018). Al mismo tiempo, la sustitución del 10 % de espirulina en un néctar de dátil no solo mejoró la calidad nutricional en términos de ácidos grasos saturados e insaturados en un 44.1 y 55.7 %, respectivamente, sino que también fue bien aceptada desde el punto de vista sensorial (Aljobair et al. 2021).

Otros nuevos productos de consumo práctico, más saludables y con diversas texturas, formas y sabores, son los extruidos que incluyen *Spirulina* sp. LEB 18, conocidos por su potencial antioxidante (da Silva et al. 2021^b), alto valor nutricional y aceptación sensorial (Lucas et al. 2018). El desarrollo de snacks enriquecidos no solo ofrece estos beneficios, sino que también combina versatilidad y comodidad en su producción. La utilización de *Limnospira* también se ha investigado en otros productos alimenticios enriquecidos con potencial antioxidante y nutricional, como chocolates, salsas, fideos y geles (Agustini et al. 2017; Almeida et al. 2021; Batista et al. 2011; Los et al. 2018; Özbal et al. 2022). La adición de *S. platensis* al kéfir vegano fortificado resultó en una mejora significativa tanto en el potencial prebiótico como en la calidad bioactiva del producto (Sözeri-Atik et al. 2021).

3

CONCLUSIONES

Las cianobacterias representan nuevas fuentes potenciales de macro y micronutrientes. Gracias a su alto contenido proteico y distribución equilibrada de aminoácidos esenciales, se abren posibilidades para la elaboración de diversos productos alimenticios, generando interés tanto en consumidores como en la industria dedicada a la innovación de productos. Investigaciones diversas han confirmado que la inclusión de cianobacterias en sistemas alimentarios mejora las propiedades nutricionales, funcionales, antioxidantes y la vida útil de los productos finales, consolidándose como una opción prometedora para mejorar la calidad de la producción alimentaria. Aunque en la actualidad existen pocos productos disponibles comercialmente, se espera que la colaboración entre la industria y la investigación en este ámbito conduzca a la introducción de una amplia variedad de nuevos alimentos en el mercado.

4

AGRADECIMIENTOS

Colegio de Postgraduados – Campus Córdoba y a la Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable LGAC-2.



Agustini TW, Ma'ruf WF, Widayat, Wibowo B.A, Hadiyanto (2017) Study on the effect of different concentration of *Spirulina platensis* paste added into dried noodle to its quality characteristics. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 55, 012068. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/55/1/012068>

Aljobair MO, Albaridi NA, Alkuraieef AN, AlKehayez NM (2021) Physicochemical properties, nutritional value, and sensory attributes of a nectar developed using date palm puree and *Spirulina*. International Journal of Food Properties, 24(1), 845-858. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1938604>

Almeida LMR, Cruz LF da S, Machado BAS, Nunes IL, Costa JAV, Ferreira EdeS, Lemos PVF, Druzian JI, Souza CO de (2021) Effect of the addition of *Spirulina* sp. Biomass on the development and characterization of functional food. Algal Research, 58, 102387. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102387>

Barkallah M, Dammak M, Louati I, Hentati F, Hadrich B, Mechichi T, Ayadi MA, Fendri I, Attia H, Abdelkafi S (2017) Effect of *Spirulina platensis* fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage. LWT, 84, 323-330. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.071>

Batista AP, Niccolai A, Fradinho P, Fragoso S, Bursic I, Rodolfi L, Biondi N, Tredici MR, Sousa I, Raymundo A (2017) Microalgae biomass as an alternative ingredient in cookies: sensory, physical and chemical properties, antioxidant activity and in vitro digestibility. Algal Res 26:161-171. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.07.017>

Batista AP, Nunes MC, Raymundo A, Gouveia L, Sousa I, Cordobés F, Guerrero A, Franco JM (2011) Microalgae biomass interaction in biopolymer gelled systems. Food Hydrocolloids, 25(4), 817-825. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.018>

Becker EW (2013) Microalgae for human and animal nutrition. En A. Richmond and Q. Hu (Eds.), Handbook of Microalgal Culture (1a ed., pp. 461-503). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118567166.ch25>

Castillejo N, Martínez-Hernández GB, Goffi V, Gómez PA, Aguayo E, Artés F, Artés-Hernández F (2018) Natural vitamin B12 and fucose supplementation of green smoothies with edible algae and related quality changes during their shelf life. Journal of the Science of Food and Agriculture, 98(6), 2411-2421. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8733>

da Silva PC, Toledo T, Brião V, Bertolin TE, Costa JAV (2021b) Development of extruded snacks enriched by bioactive peptides from microalga *Spirulina* sp. LEB 18. Food Bioscience, 42, 101031. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101031>

da Silva SP, do Valle AF, 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>

de Jesus CS, da Silva UL, Costa SS, Miranda AL, de Moraes EG, de Moraes MG, Costa JAV, Nunes IL, de Souza FE, Druzian JI (2018) Outdoor pilot-scale cultivation of *Spirulina* sp. LEB-18 in different geographic locations for evaluating its growth and chemical composition. Bioresource Technology, 256, 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.149>

de Oliveira TTB, Miranda Dos Reis I, Bastos De Souza M, Da Silva Bispo E, Fonseca Maciel L, Druzian JI, Lordelo Guimarães Tavares PP, De Oliveira Cerqueira A, Dos Santos Boa Morte E, Abreu Glória MB, Lima Deus V, Radomille De Santana LR (2021) Microencapsulation of *Spirulina* sp. LEB-18 and its incorporation in chocolate milk: Properties and functional potential. LWT, 148, 111674. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111674>

FDA (2016) Food and Drug Administration. Inventory of generally regard as Safe notices. <https://www.cfsanappsexternal.fda.gov/scripts/fdcc/?set=GRASNotices> Consultado el 21 de diciembre de 2023.

Gohara-Beirigo AK, Matsudo MC, Cezare-Gomes EA, Carvalho JCMD, Danesi E D. G (2022) Microalgae trends toward functional staple food incorporation: Sustainable alternative for human health improvement. Trends in Food Science & Technology, 125, 185-199. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.030>

Golmakani MT, Soleimanian-Zad S, Alavi N, Nazari E, Eskandari MH (2019) Effect of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) powder on probiotic bacteriologically acidified feta-type cheese. Journal of Applied Phycology, 31(2), 1085-1094. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1611-2>

Grahl S, Strack M, Weinrich R, Mörlein D (2018) Consumer-oriented product development: The conceptualization of novel food products based on spirulina (*Arthrospira platensis*) and resulting consumer expectations. Journal of Food Quality, 2018, e1919482. <https://doi.org/10.1155/2018/1919482>

Habib MAB, Pariv M, Huntington TC, Hasan MR (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). Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome.

Hafsa YA, Amel D, Samia S, Sidahmed S (2014) Evaluation of nutritional and sensory properties of bread enriched with *Spirulina*. Ann Food Sci Technol 15:270-275.

Jorfi R, Mustafa S, Che-Man YB, Mat-Hashim DB, Sazili AQ, Farjam AS, Nateghi L, Kashiani P (2012) Differentiation of pork from beef, chicken, mutton and chevon according to their primary amino acids content for halal authentication. African Journal of Biotechnology, 11(32), 8160-8166. <https://doi.org/10.5897/AJB11.3777>

Khosravi-Darani K, Gholami Z, Gouveia L (2017) Effect of *Arthrospira platensis* on the shelf life, sensorial and rheological properties of strudel. Rom. Biotechnol. Lett. 22, 12250-12258.

Lafarga T (2019) Effect of microalgal biomass incorporation into foods: Nutritional and sensorial attributes of the end products. Algal Research, 41, 101566. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101566>

Lafarga T, Acién-Fernández FG, Castellari M, Villaró S, Bobo G, Aguiló-Aguayo I. (2019) Effect of microalgae incorporation on the physicochemical, nutritional, and sensorial properties of an innovative broccoli soup. LWT, 111, 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.037>

López-Rodríguez A, Mayorga J, Flaig D, Fuentes G, Hernández V, Gómez PI (2023) Genetic characterization and assessment of the biotechnological potential of strains belonging to the genus *Arthrospira/Limnospira* (*Cyanophyceae*) deposited in different culture collections. Algal Research, 73, 103164. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103164>

Los PR, Simões DRS, de Leone R S, Bolanho BC, Crdoso T, Danesi EDG (2018) Viability of peach palm by-product, *Spirulina platensis*, and spinach for the enrichment of dehydrated soup. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 53(11), 1259-1267. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018001100008>

Lucas BF, de Moraes MG, Santos TD, Costa JAV (2018) *Spirulina* for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations. LWT, 90, 270-276. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.032>

Lupatini ALM, Souza LESD, Colla LM, Costa JAV, Sehn E, Bittencourt PRS, Moraes Flores ÉLD, Canan C, Colla E (2019) 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>

Marti-Quijal FJ, Zamuz S, Galvez F, Roohinejad S, Tiwari BK, Gómez B, Barba FJ, Lorenzo JM (2018) Replacement of soy protein with other legumes or algae in turkey breast formulation: Changes in physicochemical and technological properties. Journal of Food Processing and Preservation, 42(12), e13845. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13845>

Marti-Quijal FJ, Zamuz S, Tomašević I, Gómez B, Rocchetti G, Lucini L, Remize F, Barba FJ, Lorenzo JM (2019a) Influence of different sources of vegetable, whey and microalgae proteins on the physicochemical properties and amino acid profile of fresh pork sausages. LWT, 110, 316-323. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.097>

Marti-Quijal FJ, Zamuz S, Tomašević I, Rocchetti G, Lucini L, Marszałek K, Barba FJ, Lorenzo JM (2019b) A chemometric approach to evaluate the impact of pulses, *Chlorella* and *Spirulina* on proximate composition, amino acid, and physicochemical properties of turkey burgers. Journal of the Science of Food and Agriculture, 99(7), 3672-3680. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9595>

Mostafa Mohammed D, El-Messery TM, Baranenko DA, Hashim MA, Tyutkov N, Marrez DA, Elmessery WM, El-Said MM (2024) Effect of *Spirulina maxima* microcapsules to mitigate testicular toxicity induced by cadmium in rats: Optimization of in vitro release behavior in the milk beverage. Journal of Functional Foods, 112, 105938. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105938>

Niccolai A, Venturi M, Galli V, Pini N, Rodolfi L, Biondi N, D'Ottavio M, Batista AP, Raymundo A, Granchi L, Tredici MR (2019) Development of new microalgae-based sourdough "crostini": Functional effects of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) addition. Scientific Reports, 9(1), 19433. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55840-1>.

Onacik-Gür S, Zbikowska A, Majewska B (2017) Effect of *Spirulina* (*Spirulina platensis*) addition on textural and quality properties of cookies. Ital. J. Food Sci. 30, 1-12. <https://doi.org/10.14674/IJFS-702>

Özbal B, Çelekli A, Gün D, Bozkurt H (2022) Effect of *Arthrospira platensis* incorporation on nutritional and sensory attributes of white chocolate. International Journal of Gastronomy and Food Science, 28, 100544. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100544>.

Parniakov O, Toepfl S, Barba FJ, Granato D, Zamuz S, Galvez F, Lorenzo JM (2018) Impact of the soy protein replacement by legumes and algae based proteins on the quality of chicken rotti. Journal of Food Science and Technology, 55(7), 2552-2559. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3175-1>

Rodríguez-Zúñiga D, Méndez-Zavala A, Solís-Quiroz O, Morales-Oyervides L, Montañez-Saénz JC, Benavente-Valdés JR (2024) Chapter 1 — Biology and composition of microalgae and cyanobacteria. T Lafarga, G Acién (Eds.), Sustainable Industrial Processes Based on Microalgae (pp. 1-22). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19213-5.00001-7>

Santos TD, Freitas BCBD, Moreira JB, Zanfonato K, Costa JAV (2016) Development of powdered food with the addition of *Spirulina* for food supplementation of the elderly population. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 37, 216-220. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.016>

Sözeri-Atik D, Gürbüz B, Bölük E, Palabiyik İ (2021) Development of vegan kefir fortified with *Spirulina platensis*. Food Bioscience, 42, 101050. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101050>

Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A (2006) Commercial applications of microalgae. Journal of Bioscience and Bioengineering, 101(2), 87-96. <https://doi.org/10.1263/jbb.101.87>

Tańska M, Konopka I, Ruszkowska M (2017) Sensory, physico-chemical and water sorption properties of corn extrudates enriched with *Spirulina*. Plant Foods Hum. Nutr. 72, 250-257. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0628-z>

Thirumdas R, Brnčić M, Brnčić SR, Barba FJ, Gálvez F, Zamuz S, Lacomba R, Lorenzo JM (2018) Evaluating the impact of vegetal and microalgae protein sources on proximate composition, amino acid profile, and physicochemical properties of fermented Spanish "chorizo" sausages. Journal of Food Processing and Preservation, 42(11), e13817. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13817>

Uribe-Wandurraga ZN, Igual M, García-Segovia P, Martínez-Monzó J (2019) Effect of microalgae addition on mineral content, colour and mechanical properties of breadsticks. Food & Function, 10(8), 4685-4692. <https://doi.org/10.1039/C9FO00286C>

Uribe-Wandurraga ZN, Igual M, Reino-Moyón J, García-Segovia P, Martínez-Monzó J (2021) Effect of microalgae (*Arthrospira platensis* and *Chlorella vulgaris*) addition on 3d printed cookies. Food Biophysics, 16(1), 27-39. <https://doi.org/10.1007/s11483-020-09642-y>

Žugčić T, Abdelkebir R, Barba FJ, Rezek-Jambrak A, Gálvez F, Zamuz S, Granato D, Lorenzo JM (2018) Effects of pulses and microalgal proteins on quality traits of beef patties. Journal of Food Science and Technology, 55(11), 4544-4553. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3390-9>

