

ARTICULO REVISIÓN

LA ESPIRULINA COMO SÚPER ALIMENTO: USOS Y BENEFICIOS

SPIRULINA AS A SUPERFOOD: USES AND BENEFITS

Izaguirre-Pérez Marian Eliza ^{1,2}, Figueroa-Andrade Patricia ^{2,3}, Molina-Noyola Leonardo Daniel ², Ramos Ibarra María Luisa ⁴, Torres-Bugarín Olivia^{2*}.

¹Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del estado (ISSSTE), Hospital Regional Dr. Valentín Gómez Farias. México

²Laboratorio de Evaluación de Genotóxicos. Departamento de Medicina Interna II, Facultad de Medicina. Unidad Académica Ciencias de la Salud. Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG). Av. Patria 1201, Lomas del Valle, 3a. Sección Apartado Postal 1-440, 44100, Guadalajara, Jalisco, México. *Correo electrónico: olviatorres@hotmail.com // olivia.torres@edu.uag.mx
Tel: 3648-8824, ext. 33152 o 33052.

³Escuela de Nutrición, Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG). Laboratorio de Toxicología Genética, Departamento de Salud Pública Salud, División de Ciencias Veterinarias, CUCBA, Universidad de Guadalajara (UDG). Guadalajara, Jalisco, México

⁴Laboratorio de Evaluación de Genotóxicos. Departamento de Medicina Interna II, Facultad de Medicina. Unidad Académica Ciencias de la Salud. Universidad Autónoma de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México

Recibido: 21 de julio de 2022; Aceptado: noviembre 15 de 2022

RESUMEN

La microalga *Arthrospira platensis* comúnmente conocida como Espirulina, es una cianobacteria colonial azul-verdosa considerada como uno de los alimentos más sorprendentes en la actualidad, la cual ha llamado la atención de investigadores y expertos en alimentación humana por su alto contenido de macro y micronutrientes y por sus usos terapéuticos. El objetivo de este trabajo es exponer las razones del porqué el alga espirulina es acertadamente clasificada como un súper alimento. Revisión sistemática de los trabajos publicados en las bases de datos de MEDLINE, EMBASE, Scopus y ProQuest. La búsqueda no se limitó por año de publicación, excluyéndose los artículos con baja evidencia

científica. Términos de búsqueda: *Spirulina*, *Nutritional Potential*, *Superfood*, Usos y beneficios. Se eligieron estudios que demostraron los beneficios de la suplementación de alga espirulina y sus efectos en el estado nutricional.

El alga espirulina contiene cerca del 95% de los nutrientes considerados indispensables para la nutrición humana, lo que la convierte en un alimento ideal, estos nutrientes que van desde proteínas, vitaminas, minerales, ácidos grasos esenciales, aminoácidos, mucopolisacáridos, hidratos de carbono, ácidos nucleicos y antioxidantes, hasta diversos tipos de pigmentos y fito-químicos de gran valor para la nutrición y la salud del ser humano.

Existen estudios que demuestran que el alga espirulina tiene efectos hipolipemiantes con disminución el riesgo aterogénico, también gracias a su alto contenido de ácidos grasos esenciales, es un gran apoyo en el control y/o prevención de enfermedades como obesidad, artritis, alcoholismo, enfermedades neuropsiquiátricas e inflamatorias. El alga espirulina es acertadamente clasificada como un súper alimento, ya que contiene todos los nutrientes para mantener la salud de una forma equilibrada, además es un alimento de uso ancestral, biodisponible y es accesible para la mayoría de la población.

Autor de correspondencia: Torres-Bugarín
Olivia. Correo electrónico:
olivia.torres@edu.uag.mx

Palabras clave: espirulina; usos; beneficio en la salud; superalimento.

ABSTRACT

The microalgae *Arthrospira platensis*, commonly known as *Spirulina*, is a blue-green colonial cyanobacterium considered one of the most amazing foods today, which has drawn the attention of researchers and experts in

human nutrition due to its high content of macro and micro-nutrients and their therapeutic uses. The objective of this work is to expose the reasons why spirulina algae is correctly classified as a superfood. Systematic review of the works published in MEDLINE, EMBASE, Scopus and ProQuest databases. The search was not limited by year of publication, excluding articles with low scientific evidence. Search terms: Spirulina, Nutritional potential, Superfood, Uses and benefits/Nutritional value. Studies that demonstrated the benefits of spirulina algae supplementation and its effects on nutritional status were chosen. Spirulina algae contains about 95% of the nutrients considered essential in human nutrition, which makes it an ideal food, these nutrients ranging from proteins, vitamins, minerals, essential fatty acids, amino acids, mucopolysaccharides, carbohydrates, nucleic acids, antioxidants, even various types of pigments and phytochemicals of significant value for the nutrition and health of the human being. There are studies that show that spirulina algae has lipid-lowering effects with a decrease in atherogenic risk, and also thanks to its high content of essential fatty acids, it is great to help in the control and/or prevention of diseases such as obesity, arthritis, alcoholism, neuropsychiatric and inflammatory diseases. Spirulina algae is rightly classified as a superfood, since it contains all the nutrients to maintain health in a balanced way, it is also a food of ancient use, bioavailable and accessible to most of the population. Financial support was provided by the researcher's own resources.

Keywords: spirulina; uses; health benefit; enriched food.

INTODUCCIÓN

Generalidades. La microalga *Arthrospira platensis* comúnmente conocida como Espirulina, es una cianobacteria colonial azul-verdosa, que se considera una de las

formas de vida más simples y primitivas que existen. Pertenece a la familia Oscillatoriaceae (Kumar *et al.*, 2005), que crece y se multiplica en aguas alcalinas. Su nombre deriva del latín *espiral* o *helix* debido a su configuración física (Romay *et al.*, 2001), su ancho varía entre 3 a 16 milimicrones, es fotosintética, multicelular, filamentosa no ramificada, helicoidal debido a que los filamentos se encuentran en forma de hélice abierta los cuales miden entre 100 y 200 milimicrones (Ramírez-Moreno *et al.*, 2006), la forma helicoidal de los filamentos (tricomas) es característica del género y se mantiene sólo en un medio líquido o medio de cultivo (Ahsan *et al.*, 2008).

La reproducción se efectúa por fisión binaria transversal en la célula individual que se divide en dos después de formarse un tabique transversal que separa los contenidos celulares. Los elementos nutritivos del medio pasan al interior de la célula por un proceso selectivo, los sistemas enzimáticos convierten entonces los compuestos químicos que han sido asimilados en el material protoplasmático específico del organismo particular. Se produce aumento de la sustancia nuclear, a lo que le sigue el alargamiento celular. El contenido de la célula experimenta una reorganización para distribuirse en las dos células formadas al constituirse el tabique transversal o *septum* que se desarrolla por

invaginación de la membrana citoplasmática. Este proceso se lleva a cabo por medio de heterocistos, que producen un nuevo filamento y en otros actúan como células degeneradas (cuerpos reproductores arcaicos) en este último caso, a nivel de ellos se produce la fragmentación del filamento, diferenciándose de las células restantes por su forma, tamaño y color que pueden ser intercalares o terminales (Delucchi *et al.*, 2015). El alga posee una región central, donde se localiza el ácido nucleico (una sola molécula de ADN), una región periférica que contiene las membranas tilacoidales y varias inclusiones o estructura citoplasmáticas, rodeada frecuentemente por una capa de mucílago. Dicha capa no está presente entre las células que forman el tricoma. La pared celular contiene peptidoglucano y su estructura y composición es característica de las bacterias Gram negativas. Las cianófitas filogenéticamente emparentadas con las eubacterias Gram negativas poseen pared celular de cuatro capas dividida por septos, cuya característica es la presencia de poros alrededor del tricoma (Ramírez-Moreno *et al.*, 2006). La capa distintiva está constituida por peptidoglucanos que contienen mureína, sin embargo, realizan fotosíntesis aeróbica con desprendimiento de oxígeno por lo cual

estas algas se asemejan a las algas eucariotas (Gallardo *et al.*, 2010).

En el citoplasma se encuentran las inclusiones (gránulos de polifosfato, glucógeno y cianoficina), los carboxisomas o cuerpos poliédricos, donde está la RBP-carboxilasa (RuBisCO, la principal enzima responsable de la fijación fotosintética de dióxido de carbono) y ribosomas 70S (Pollock *et al.*, 2003). Las inclusiones citoplasmáticas como los gránulos de glucógeno actúan como fuente de carbono y energía, y los gránulos de lípidos que se localizan próximos a la superficie celular se almacenan para la síntesis de la membrana celular. Por su parte las vesículas de gas le confieren su capacidad de flotación y es mediante este mecanismo que regulan sus migraciones diurnas dentro de la columna de agua lo que permite que se mantenga en zonas ideales para la fotosíntesis óptima y recolección de nutrientes adecuados (Hultberg *et al.*, 2017). La superficie del cuerpo de la espirulina es lisa y sin recubrimiento por lo que es fácilmente digerible por los sistemas enzimáticos simples (Ahsan *et al.*, 2008). El color verde-azul oscuro viene de una gama de pigmentos naturales que captan las diferentes frecuencias y colores de los rayos del sol y que protegen al mismo tiempo el alga de las quemaduras y de los radicales libres (Pollock *et al.*, 2003;

Romay *et al.*, 1998). El principal pigmento que contiene la espirulina es la clorofila y varias ficobiliproteínas como pigmentos accesorios (β -caroteno, ficocianina, ficoeritrina y aloficocianina (Gallardo *et al.*, 2010). Esta microalga se encuentra en el suelo, pantanos, agua dulce, agua salobre, agua de mar y aguas termales. El agua salina alcalina ($> 30 \text{ g / l}$) con un pH alto (8,5-11,0) favorece una buena producción de espirulina, especialmente donde hay un alto nivel de radiación solar en la altura en los trópicos. Cuanto mayor sea el pH, mayor es la producción de espirulina (Ahsan *et al.*, 2008). Un pH citoplásmico relativamente alto (4,2 a 8,5) puede explicar la capacidad de este microorganismo a utilizar amoníaco como fuente de nitrógeno. La temperatura mínima a la que el crecimiento de la espirulina tiene lugar es de alrededor de 15°C durante el día. Por la noche, la espirulina puede tolerar temperaturas relativamente bajas. La resistencia de espirulina a los rayos ultravioleta parece ser más bien alta (Ramírez-Moreno *et al.*, 2006; Ahsan *et al.*, 2008; Ayehunie *et al.*, 1998; Desai *et al.*, 2004). Utiliza dióxido de carbono disuelto en el agua de mar como una fuente de nutrientes para su reproducción (Ahsan *et al.*, 2008). Entre las diversas especies, *S. platensis* y *S. maxima* son los únicos dos utilizados como alimento (Desai *et al.*, 2004). El objetivo de

este trabajo es exponer las razones del porqué el alga espirulina es acertadamente clasificada como un súper alimento.

Composición. La espirulina es un alga verde-azul considerada como uno de los alimentos más sorprendentes en la actualidad, la cual ha llamado la atención de investigadores y expertos en alimentación humana por su alto contenido de macro y micro-nutrientes y por sus usos terapéuticos. Contiene cerca del 95% de los nutrientes considerados indispensables en la nutrición humana, lo que la convierte en un alimento ideal para el ser humano. Estos nutrientes que van desde vitaminas, minerales, ácidos grasos esenciales, aminoácidos, hidratos de carbono, ácidos nucleicos, antioxidantes, hasta diversos tipos de pigmentos y fitoquímicos de valor significativo para la nutrición y la salud del ser humano. También es de señalar que no contiene azúcares refinados, grasas saturadas, ni colesterol. Es una fuente rica en proteínas de alta digestibilidad, contiene altos niveles de las vitaminas del complejo B y es un alimento rico en mucopolisacáridos, incluso su contenido nutricional es más alto que otros súperalimentos como la moringa, el cacao y la chía (Salomón, 2009; Pérez et al., 2002), (ver tabla 1).

La comparación del contenido de los alimentos catalogados como súper

alimentos, recuperado y estructurado a partir de los siguientes referentes:

^a Salomón SH. *Historia, nutrición, salud y ecología para generar estrategias de comunicación sobre espirulina (A. maxima): [internet] Universidad Nacional Autónoma de México; 2009. Disponible en: <https://www.algaespirulina.mx/pub/uploads/PDF%20ESPIRULINA/1.pdf> y Pérez LV, Macías Abraham C, Torres Leyva I, Socarrás Ferrer BB, Marsán Suárez V, Sánchez Segura M. Efecto in vitro de la espirulina sobre la respuesta inmune. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia.* 2002;18(2)*

^b Hernández Gómez Alejandra HZA. *Aceptación de moringa en tres alimentos para jóvenes [internet]. Universidad de ciencias y artes de Chiapas; 2017. Disponible en: <https://docplayer.es/89330605-Tesis-profesional-universidad-de-ciencias-y-artes-de-chiapas-licenciado-en-nutriologia-aceptacion-de-moringa-en-tres-alimentos-para-jovenes.html> y Toro-Martínez JJ, Rocha-Roman L. Valoración de las propiedades nutricionales de Moringa oleífera en el departamento de bolívar. *Facultad de Ciencias Naturales y Exactas Revista de Ciencias.*2011;15:23-30.*

Tabla 1: Comparativo de Contenido de los alimentos catalogados como súper alimentos

Nutrimiento	Espirulina ^a 100g (%)	Moringa ^b 100g	Cacao ^c 100g	Chia ^d 100g
Energía (kcal)	340-390	64	456	575
Hidratos de carbono (g)	23 (10-20)	13.4	34.7	10.53
Fibra (g)	3.6 (2)	0.9	8.6	8.6
Proteína (g)	58 (65-71) (18 aa)	6.7 (9 aa)	12	29.2 (15 aa)
Lisina disponible	4.8 (85)			
Grasa total (g)	7.2 (5)	4	46.3	7.69
Ácidos grasos saturados (g)	2.6	-	-	.83
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	0.67	2	-	0.58
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	2.87	2	-	5.92
Colesterol (mg)	-	-	-	-
Alcohol (g)	-	-	-	-
Agua (g)	4.0	75	3.6	
Calcio (mg)	120	0.44	106	714.0
Cobre	-	0.57	-	-
Hierro (mg)	28	0.007	3.6	16.4
Magnesio (mg)	195	0.024	102	2.3
Yodo (ug)	-	-	0	-
Selenio (ug)	7.2	-	-	-
Sodio (mg)	104	-	-	-
Potasio (mg)	136	259	-	700
Fosforo (mg)	110	3.5	537	1067
Zinc (mg)	2.0	0.0255	-	3.7
Caroteno B-caroteno (ug)	342	113	-	-
Vitamina A, Retinol (ug)	57	.38	-	44
Vitamina B1, Tiamina (mg)	23	0.86	0.17-0.24	0.2
Vitamina B2, Riboflavina (mg)	36	3.2	0.14-0.41	0.1
Vitamina B3 Niacina (mg)	28	8.2	1.7	6.1
Vitamina B5 Acido pantoténico (mg)	-	-	1.35	-
Vitamina B6, Piridoxina (mg)	3.6	-	0.9	-
Vitamina B9, Ácido fólico (ug)	90	-	-	-
Vitamina B12, Cianocobalamina (mg)	0.25	-	-	-
Vitamina C, Ac. Ascórbico (mg)	-	51.7	-	1.6
Vitamina D	-	-	-	-
Vitamina E, Tocoferoles (ug)	5.0	-	-	0.5
Flavonoides (mg)	-	-	170	-
Carotenos	290	6.78		

^c Salazar JA, Barros MA. Rendimiento de biomasa y valoración nutrimental de residuos pos cosecha de cacao (*theobroma cacao* L). [internet] Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ciencias Agropecuarias; 2016. Disponible en:

<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23699>

^d Carrillo-Gómez Catherine Scarlett G-CM, Muro-Valverde Mariel, Martínez-Horner Rebeca, Torres-Bugarí Olivia. La chía como súper alimento y sus beneficios en la

salud de la piel. El Residente. 2017;12(1):18-24.

Proteínas. La Espirulina contiene alrededor de 65% de proteínas, proporción que es superior al de otras fuentes proteicas, además carece de celulosa dura en la pared celular, la cual está formada por mucopolisacáridos blandos que le proporcionan una mejor digestibilidad, factor importante en los individuos con malabsorción intestinal (Ramírez-Moreno *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2014).

Lípidos. Los ácidos grasos esenciales se encuentran en proporción mayoritaria dentro de los lípidos constituyentes de la Espirulina, en particular, el ácido gamma linolénico es precursor de las prostaglandinas y en algunas investigaciones se ha encontrado una disminución de este ácido graso y la prostaglandina E en enfermedades degenerativas, esto ha comprobado el efecto benéfico del ácido gamma linolénico en las artritis, la obesidad, el alcoholismo, enfermedades neuropsiquiátricas y en estados inflamatorios crónicos (Dillon *et al.*, 1995; Hernández-Lepe *et al.*, 2015; Torres-Duran *et al.*, 2007).

Minerales. En general, las algas absorben de forma natural oligoelementos lo que facilita su asimilación. Particularmente el selenio, cinc y el cobre son los que forman parte de funciones bioquímicas importantes en la preservación de la

estructura y función de los tejidos en el sistema nervioso (Sánchez *et al.*, 2002). Específicamente el selenio evita la oxidación pues es un componente esencial de la enzima glutatión peroxidasa selenio dependiente, que se encarga de la eliminación de los radicales libre (Hernández-Lepe *et al.*, 2015), por lo que el déficit provoca incremento del estrés oxidativo (Gallardo *et al.*, 2010; Ayehunie *et al.*, 1998; Wu *et al.*, 2005; Karkos *et al.*, 2011). El cinc también ejerce una función antioxidante en los grupos sulfhidrilos y su deficiencia también incrementa las especies reactivas de oxígeno. El cobre, junto con el cinc forma parte de la enzima superóxido dismutasa cinc-cobre dependiente, la cual participa en los mecanismos de defensa antioxidante mediante la conversión del radical superóxido a peróxido de hidrógeno, compuesto que es inactivado por acción del glutatión peroxidasa selenio dependiente (Gallardo *et al.*, 2010; Romay *et al.*, 2003; Pérez-Trueba G *et al.*, 2003; de Jesús *et al.*, 2018).

Vitaminas. La espirulina es uno de los alimentos más ricos en betacarotenos (Provitamina A), que junto con la vitamina E contribuyen de forma importante a sus acciones antioxidantes. Todas las vitaminas del complejo B están presentes en la Espirulina. Se conoce que estas vitaminas, aunque tienen estructuras

químicas diferentes, poseen fuentes dietéticas comunes y sus funciones están estrechamente relacionadas, ya que el déficit de cualquiera de estas afecta el metabolismo de las otras. Con excepción del niacina, sintetizada a partir del triptófano, ninguna de estas vitaminas se produce en el organismo humano, por lo que hay que obtenerlas de fuentes exógenas. Algunas se ingieren en los vegetales, las carnes, o a partir de los microorganismos de la flora intestinal, como es el caso de la B₁₂ (Salomón, 2009; Wu *et al.*, 2005). Dentro de las vitaminas del complejo B, la B₁ es el factor más importante en el metabolismo del sistema nervioso, además del aporte directo de esta vitamina, la espirulina mejora la eficiencia en su absorción por que produce incremento de los *Lactobacilus* (Gallardo *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2014). El ácido fólico y la vitamina B₁₂ (cobalamina) son vitaminas con funciones en la síntesis de nucleótidos purínicos y pirimidínicos, así como en la metilación de la homocisteína para la obtención de metionina. El déficit de ácido fólico y B₁₂ tiene su causa más común en una alimentación insuficiente. Las cobalaminas tienen función de detoxificación en relación con el cianuro, ya que interviene en la síntesis de metionina y de otros aminoácidos azufrados que constituyen la fuente de azufre para la conversión del cianuro en tiocianato.

Cuando existe deficiencia de vitamina B₁₂ pueden aparecer desórdenes polineuropáticos y neuropsiquiátricos. Se ha demostrado que dosis altas de metilcobalamina contribuyen a restaurar el daño axonal de neuropatía periférica inducida por dosis repetidas de acrilamida (Watanabe *et al.*, 1994).

Aminoácidos. La abundante cantidad de metionina presente en la espirulina puede resultar en la mielinización más rápida de los nervios afectados, ya que este aminoácido participa en la formación de colina, precursor de la mielina. La metionina, junto a la cisteína tiene una función importante en la neutralización de los cianuros. Existen evidencias de que la glicina es un tratamiento para el dolor neuropático ya que la liberación por estimulación epidural de la médula espinal disminuye los síntomas (Romay *et al.*, 1998; de Jesús *et al.*, 2018).

Pigmentos. Otro elemento que también se encuentra en se encuentra en altas concentraciones en la espirulina es la ficocianina, pigmento que ejerce efectos antioxidantes y antiinflamatorios (Romay *et al.*, 1998).

Usos y beneficios del alga espirulina. La aplicación en humanos de las propiedades de la espirulina data desde el tiempo de la civilización Azteca en México, donde se utilizaba como fuente de proteínas y vitaminas en humanos, como se mencionó

en la introducción, la espirulina contiene aproximadamente 65% de contenido proteínico, vitaminas del grupo B, pro vitamina A (β -carotenos) entre otras y minerales como el hierro. Además, tiene la propiedad de ser de fácil digestión debido a la ausencia de celulosa en sus paredes (Dillon *et al.*, 1995). Se cuenta con múltiples estudios toxicológicos en los cuales se demuestra la bioseguridad de la espirulina, su utilización como suplemento durante más de 10 años (Wu *et al.*, 2005). Actualmente se cuenta con información basada en evidencias sobre las aplicaciones y beneficios de la espirulina; Por ejemplo, está demostrado que es una fuente natural de vitamina B12, así como, ayuda en el *síndrome de fatiga crónica*, puesto que favorece la producción de energía por su alto contenido de polisacáridos (glucógeno y ramnosa) y grasas esenciales (de fácil absorción), también es de gran apoyo para incrementar la población de lactobacilos intestinales lo que promueve la producción de vitamina B6. Por otra parte, está documentado que esta alga tiene implicaciones en la inmunomodulación ya que posee propiedades antiinflamatorias mediante la inhibición de la liberación de histamina en mastocitos (Kim *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 1998), en pacientes con rinitis alérgica disminuye los niveles de IL-4, también incrementa los niveles de IgA lo que

promueve la inmunidad de las mucosas. Se sabe que la deficiencia de nutrientes induce alteración del sistema inmune como en los linfocitos T, IgA, natural killer y citocinas proinflamatorias, por lo que la espirulina al cubrir deficiencias nutricionales, puede modular el sistema inmune (Pérez *et al.*, 2002).

No se cuenta con estudios *in vivo* que demuestren las propiedades antivirales de esta micro alga, pero estudios *in vitro* demuestran que el extracto acuoso de *Espirulina platensis* inhibe la replicación del VIH tipo 1 en las células de Langerhans, células mononucleares y t-CD4 humanas (Ayehunie *et al.*, 1998), por su parte Hayashi *et al.* (1996), demostraron que la espirulina inhibe la replicación de algunos virus capsulados como el herpes virus simple tipo 1, citomegalovirus, virus del Sarampión, Mixovirus, Influenza tipo A y VIH tipo 1. Esto debido a que en su estructura química se encuentran dos tipos de polisacáridos hidrosolubles llamados "espirulian del calcio" e "immunila" que han mostrado efectos inhibitorios contra algunos virus además de activar el sistema inmune.

Espirulina como agente terapéutico.

Existen estudios que demuestran que el alga espirulina tiene efectos hipolipemiantes, observaron que la administración de espirulina a humanos en dosis de 4.2 g/día durante 8 semanas,

disminuyó la concentración de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y el riesgo aterogénico, aunque no se modificaron las concentraciones de lipoproteína de alta densidad (HDL), resultados apoyados por los realizados por Mani *et al.*, (2000) en pacientes diabéticos (tipo 2) que recibieron espirulina en dosis de 2 g/ día durante 2 meses para observar el efecto a largo plazo de la suplementación con espirulina sobre los niveles de glucosa en sangre, lípidos séricos y hemoglobina glucosada (Hernández-Lepe *et al.*, 2015). En un estudio realizado por Torres-Duran *et al.* (2007), en México D.F. administraron *Espirulina máxima* vía oral (4.5 g/día, por 6 semanas) a una muestra de 36 personas entre 18 y 65 años de edad para evaluar los efectos de esta cianobacteria sobre lípidos séricos, glucosa, aminotransferasas y presión arterial, donde observaron disminución en el colesterol LDL independiente de los valores de triglicéridos, aunque no hubo modificaciones en la aspartato aminotransferasa (AST) ni en la glucosa, además, se encontraron diferencias significativas en la presión arterial sistólica y diastólica (Torres-Duran *et al.*, 2007). Los efectos antioxidantes de esta cianobacteria comprenden una de sus características más estudiadas ya que las especies reactivas del oxígeno en desbalance con

los antioxidantes provocan estrés oxidativo (estado que se caracteriza por un desequilibrio entre la capacidad antioxidante celular y la producción de especies reactivas del oxígeno a las células, lo que conlleva a un deterioro y posterior muerte celular (Wu *et al.*, 2005; Valencia-Aviles *et al.*, 2018). Estas especies reactivas son radicales libres (átomos o grupos de átomos con un electrón desapareado por lo que son muy reactivos y tienden a captar un electrón de moléculas estables con el fin de alcanzar su estabilidad). Estas acciones se dan constantemente en las células, proceso que debe ser controlado mediante diversos mecanismos antioxidantes. Entre los antioxidantes que se ingieren por medio de la dieta destacan las vitaminas y los compuestos fenólicos que neutralizan estas especies radicales (Kim *et al.*, 2014; Suwalsky *et al.*, 2006). Estos protegen al organismo del daño producido por los radicales libres que son el producto de la reacción de agentes oxidantes en el organismo (metabolismo, contaminación ambiental, agentes químicos en los alimentos, ejercicio extenuante, rayos, UV, enfermedad, entre otros) (Valencia-Aviles *et al.*, 2018). Debido a esto es importante contrarrestar el estrés oxidativo y una de las alternativas podría ser esta microalga gracias a sus diversos compuestos antioxidantes (flavonoides, fenoles,

vitaminas C y E, β - caroteno y ficobiliproteínas) a los cuales se le han atribuido varias de las propiedades farmacológicas de la microalga (Desai *et al.*, 2004). Por su parte los flavonoides son pigmentos naturales presentes en plantas, frutas y verduras, así como en la espirulina; para muchos de los seres vivos es necesario obtenerlos mediante la alimentación pues son incapaces de producirlos. Se ha demostrado que los flavonoides poseen propiedades, antiinflamatorias, antitrombóticas, antimicrobianas, antialérgicas, antitumorales, inhibidoras de enzimas y antioxidantes; la cual es considerada como la más importante; dicha propiedad es el resultado de la combinación de su propiedad quelante de hierro y secuestradora de radicales libres que evita la generación de especies reactivas del oxígeno (derivados del O₂ que son más reactivos que éste en su estado basal de triplete (Kim *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 1998), son agentes oxidantes que son fácilmente convertidos a radicales (Suwalsky *et al.*, 2006), además de inhibir a las enzimas involucradas indirectamente en los procesos oxidativos a la vez que estimula la secreción y acción de otras enzimas con actividad antioxidante como la catalasa y la superóxido dismutasa (Pérez-Trueba *et al.*, 2003). Los fenoles son considerados antioxidantes no nutritivos que reducen la

fragilidad y permeabilidad capilar, manteniendo la integridad vascular, además de ser quelantes de iones metálicos y así evitan que estos actúen como catalizadores en las reacciones de formación de radicales libres (Shindo *et al.*, 1994). La Vitamina C también conocida como ácido ascórbico es sintetizada a partir de la glucosa y la galactosa por las plantas y la mayoría de los animales con excepción de los seres humanos, cobayos, algunos primates y murciélagos que carecen de la enzima 1-gluconolactona oxidasa, por lo tanto, son incapaces de biosintetizarla y se ven en la necesidad de obtenerla mediante la dieta. En el organismo el ácido ascórbico actúa como sistema de oxidorreducción bioquímica, favoreciendo la resistencia a infecciones ya que participa en la actividad inmunitaria de los leucocitos, la síntesis del Interferón, el proceso de inflamación y la integridad de las membranas, además de tener acción antioxidante ya que, al reaccionar con especies reactivas del oxígeno como los radicales superóxido e hidroxilo, la vitamina puede prevenir la agresión oxidativa (de Jesús *et al.*, 2018). El tocoferol es el compuesto principal de la vitamina E que tiene diversas funciones metabólicas, entre las cuales la más importante es su rol protector de membranas que evita su oxidación y actúa como estabilizador de la estructura lipídica de los tejidos al proteger

a los lípidos tisulares del ataque de los radicales libres. Otras propiedades atribuidas a la vitamina E son su acción sobre la fagocitosis, su función como mensajero del estado oxidativo de la célula al actuar como transductor capaz de informarlas de su situación y sus efectos sobre la apoptosis ya que se sabe que alfa tocoferol (forma activa de la vitamina E) puede inducir apoptosis directa o indirecta en células tumorales.

El β -caroteno tiene la capacidad de atrapar y reducir nitritos, por esto se disminuye la probabilidad del desarrollo de cáncer de estómago ya que una de sus causas es la presencia del carcinogénico N-nitroso, además el β - caroteno es protector celular y de lipoproteínas circulantes contra el estrés oxidativo.

Las ficobiliproteínas presentes en el alga *Espirulina* se encuentran como pigmentos con potente actividad antioxidante y citoprotector. Se conocen tres mecanismos por los cuales las ficobiliproteínas ejercen su efecto protector, el primero se debe a su capacidad de reducir marcadores oxidativos debido a su estructura química ya que actúa neutralizando a las especies reactivas de oxígeno evitando así el daño oxidativo. El segundo mecanismo se debe a sus propiedades quelantes de metales pesados y el tercero es su capacidad de incrementar la secreción de enzimas antioxidantes en el organismo como son el

superóxido dismutasa, glutatión y glutatión peroxidasa y catalasa (Hernández-Lepe *et al.*, 2015; Pérez-Trueba *et al.*, 2003; Shindo *et al.*, 1994).

La ficocianina; la ficobiliproteína más importante presente en la *espirulina*; es capaz de secuestrar radicales hidroxilos y alcoxilo que son conocidos por su capacidad de atacar lípidos, carbohidratos, proteínas y al ADN e inducir daño en la membrana además de inactivar enzimas y producir modificaciones genéticas que conducen a una serie de eventos patológicos posteriores (Gallardo *et al.*, 2010).

La acción de esta ficobiliproteína da como resultado una disminución en la peroxidación lipídica al secuestrar efectivamente los radicales peróxílicos antes de que puedan atacar a las membranas y otros compuestos, así protegiendo a las células del daño per oxidativo (Romay *et al.*, 2003).

Gracias a la ficocianina contenida en la estructura química de la *espirulina*, esta tiene la capacidad de inhibir a la ciclooxigenasa-2; enzima inducida por estímulos inflamatorios, cuya expresión se aumenta en presencia de α -si nucleína que es una proteína involucrada en el proceso de neurodegeneración en la enfermedad de Parkinson (Sánchez *et al.*, 2002; Romay *et al.*, 2003). Además, se ha encontrado en estudios anteriores que la *espirulina* tiene

acción neuro protectora contra la α -si nucleína, efecto asociado con la reducción de la activación del complejo mayor de histocompatibilidad II (MCH-II) en la

microglía (Karkos *et al.*, 2011; Romay *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

Hoy en día el uso de los súper alimentos “Superfoods” han cobrado gran relevancia debido a la concentración de población en las grandes ciudades, sumado a las condiciones socioeconómicas de cuantiosas familias, e incluso a la búsqueda de mejorar hábitos higiénico-dietéticos de muchos individuos. Esta microalga posee un cuerpo liso y sin recubrimientos, por lo tanto; es de fácil digestión, absorción y biodisponibilidad, posee alto valor nutricional, incluso mayor contenido que la moringa, el caco y la chía (también reconocidas como “superfoods”), esto es gracias a su alta concentración de proteínas (65%), así como de vitaminas (la mejor fuente de B12), ácidos grasos esenciales, minerales (hierro, calcio, selenio y cinc, entre otros) y pigmentos. Además, se reconoce como un potente antioxidante, agente antiinflamatorio y antimicrobiano, por todo esto es que ha cobrado gran importancia no solo en la

industria de los alimentos sino también en farmacéutica y cosmética. El uso de la espirulina se aconseja, por no poseer recubrimiento, en la prevención y tratamiento de la malabsorción intestinal. Por otro lado, gracias a su alto contenido de ácidos grasos esenciales, es un gran apoyo en el control y/o prevención de enfermedades como la hiperlipidemia, obesidad, artritis, alcoholismo, enfermedades neuropsiquiátricas e inflamatorias. Además, por su alto contenido de antioxidantes se utiliza como citoprotector. Con todo lo anteriormente expuesto, el alga espirulina es acertadamente clasificada como un súper alimento, ya que contiene todos los nutrientes para mantener la salud de una forma equilibrada, además es un alimento de uso ancestral, biodisponible para América y Europa, siendo accesible para la mayoría de la población.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA:

IPME: Creación del trabajo, búsqueda de literatura, redacción del primer borrador y

revisión crítica de esta y las versiones finales del documento

FAP: Búsqueda de literatura y creación de figuras

MNLD: Ayuda para la redacción del primer manuscrito, búsqueda de literatura.

RIML: Recolección de datos e interpretación de referencias.

TBO: Revisión del manuscrito final.

FINANCIAMIENTO:

El apoyo económico fue proporcionado por los recursos del investigador propio. No existe ningún vínculo o acuerdo de financiación entre los

autores e industria farmacéutica o compañías que puedan estar interesadas en la publicación de este artículo.

CONFLICTOS DE INTERÉS:

Los autores expresan que no existen conflictos de interés al redactar el manuscrito.

Los autores declaran que el trabajo no ha sido publicado previamente

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayehunie S, Belay A, Baba TW, Ruprecht RM. Inhibition of HIV-1 replication by an aqueous extract of *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*). (1998). *Journal of acquired immune deficiency syndromes and human retrovirology*. 18(1):7-12

De Jesús LCL, Soares RP, Moreira VR, Pontes RL, Castelo-Branco PV, Pereira SRF. Genistein and Ascorbic Acid reduce oxidative stress-derived DNA damage induced by antileishmanial meglumine antimoniate. (2018). *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 62(9):e00456-18

Delucchi L, Fraga M, Perelmuter K, Cella CD, Zunino P. Effect of native

Lactobacillus murinus LbP2 administration on total fecal IgA in healthy dogs. (2014). *Canadian journal of veterinary research*. 78(2):153-155.

Desai K, Sivakami S. Spirulina: the wonder food of the 21st century. (2004). *Asia-Pacific Biotech News*. 08(23):1298-1302

Dillon JC, Phuc AP, Dubacq JP. Nutritional value of the alga *Spirulina*. (1995). *World review of nutrition and dietetics*. 77:32-46

Gallardo CA, Cano E, López GE, Blas V, Olvera R, Franco M, et al. Las ficobiliproteínas de *Spirulina maxima* y *Pseudanabaena tenuis* protegen contra el

- daño hepático y el estrés oxidativo ocasionado por el Hg²⁺. (2010). *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 41(2):30-35.
- Hernández-Lepe MA, Wall-Medrano A, Juárez-Oropeza MA, Ramos-Jiménez A, Hernández-Torres RP. Spirulina y su efecto hipolipemiante y antioxidante en humanos: una revisión sistemática. (2015). *Nutrición Hospitalaria*. 32(2):494-500
- Hultberg M, Lind O, Birgersson G, Asp H. Use of the effluent from biogas production for cultivation of Spirulina. (2017). *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 40(4):625-631.
- Karkos PD, Leong SC, Karkos CD, Sivaji N, Assimakopoulos DA. Spirulina in clinical practice: evidence-based human applications. (2011). *Evidence-based complementary and alternative medicine*. 2011:531053
- Kim DS, Um YR, Ma JY. Flavonoid content, free radical scavenging and increase in xanthine oxidase inhibitory activity in Galgeun-tang following fermentation with *Lactobacillus plantarum*. (2014). *Molecular medicine reports*. 10(5):2689-2693
- Kim HM, Shin HY, Lee EH. Morphological alterations in rat peritoneal mast cells by stem cell factor. (1998). *Immunology*. 94(2):242-246.
- Hayashi K, Hayashi T, Kojima I. A natural sulfated polysaccharide, calcium spirulan, isolated from *Spirulina platensis*: in vitro and ex vivo evaluation of anti-herpes simplex virus and anti-human immunodeficiency virus activities. (1996). *AIDS research and human retroviruses*. 12(15):1463-1471
- Kumar S, Kumar M, Kumar A. Spirulina fusiformis: A Food Supplement against Mercury Induced Hepatic Toxicity. (2005). *Journal of Health Science*. 51(4):424-430
- M. Ahsan B. Habib MP, Tim C. Huntington, Mohammad R. Hasan. 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. 10342008. (2008) Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i0424e.pdf>.
- Pérez LV, Macías Abraham C, Torres Leyva I, Socarrás Ferrer BB, Marsán Suárez V, Sánchez Segura M. Efecto in vitro de la espirulina sobre la respuesta inmune. (2002). *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*. 18(2)
- Perez-Trueba G, Ramos-Guanche C, Martinez-Sanchez B, Marquez-

- Hernandez I, Giuliani A, Martinez-Sanchez G. Protective effect of gossypitrin on carbon tetrachloride-induced in vivo hepatotoxicity. (2003). *Redox report : communications in free radical research*. 8(4):215-221
- Pollock SV, Colombo SL, Prout DL, Godfrey AC, Moroney JV. Rubisco Activase Is Required for Optimal Photosynthesis in the Green Alga *Chlamydomonas reinhardtii* in a Low-CO₂ Atmosphere. (2003). *Plant Physiology*. 133(4):1854-1861
- Ramírez- Moreno L, Olvera-Ramírez R. Uso tradicional y actual de spirulina sp. (*Arthrospira* sp.). (2006). *Interciencia*. 31(9):657-663
- Romay C, Armesto J, Ramirez D, Gonzalez R, Ledon N, Garcia I. Antioxidant and anti-inflammatory properties of C-phycoerythrin from blue-green algae. (1998). *Inflammation research*. 47(1):36-41
- Romay C, Delgado R, Ramírez D, González R, Rojas A. Effects of phycoerythrin extract on tumor necrosis factor- α and nitrite levels in serum of mice treated with endotoxin. (2001). *Arzneimittel-Forschung*. 51(9):733-736
- Romay C, Gonzalez R, Ledon N, Ramirez D, Rimbau V. C-phycoerythrin: a biliprotein with antioxidant, anti-inflammatory and neuroprotective effects. (2003). *Current protein & peptide science*. 4(3):207-216
- Salomón SH. Historia, nutrición, salud y ecología para generar estrategias de comunicación sobre espirulina (A. maxima): Universidad Nacional Autónoma de México; (2009) . Disponible en:
<https://www.algaespirulina.mx/pub/uploads/PDF%20ESPIRULINA/1.pdf>
- Sánchez N, Bu M, León N, Pérez-Saad H. Fundamentos de una posible acción beneficiosa de la *Spirulina platensis* en las neuropatías periféricas. (2002). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 7(3):144-145
- Suwalsky M, Orellana P, Avello M, Villena F, Sotomayor CP. Human erythrocytes are affected in vitro by extracts of *Ugni molinae* leaves. (2006). *Food and chemical toxicology*. 44(8):1393-1398
- Shindo Y, Witt E, Han D, Packer L. Dose-response effects of acute ultraviolet irradiation on antioxidants and molecular markers of oxidation in murine epidermis and dermis. (1994). *The Journal of investigative dermatology*. 102(4):470-475.
- Torres-Duran PV, Ferreira-Hermosillo A, Juárez-Oropeza MA. Antihyperlipemic and antihypertensive effects of *Spirulina*

maxima in an open sample of Mexican population: a preliminary report. (2007).
Lipids in health and disease. 33(6):1-8

Valencia-Aviles E, Garcia-Perez ME, Garnica-Romo MG, Figueroa-Cardenas JD, Melendez-Herrera E, Salgado-Garciglia R, et al. Antioxidant Properties of Polyphenolic Extracts from *Quercus Laurina*, *Quercus Crassifolia*, and *Quercus Scytophylla* Bark. (2018).
Antioxidants. 7(7):81-92

Watanabe M, Chen CY, Levin DE. *Saccharomyces cerevisiae* PKC1 encodes a protein kinase C (PKC) homolog with a substrate specificity similar to that of mammalian PKC. (1994).
The Journal of biological chemistry. 269(24):16829-16836

Wu LC, Ho JA, Shieh MC, Lu IW. Antioxidant and antiproliferative activities of *Spirulina* and *Chlorella* water extracts. (2005).
Journal of agricultural and food chemistry. 53(10):4207-4212