

INTERCIENCIA

Revista de Ciencia y Tecnología de América

Interciencia

Asociación Interciencia

interciencia@ivic.ve

ISSN (Versión impresa): 0378-1844

VENEZUELA

2006

Liliana Ramírez Moreno / Roxana Olvera Ramírez

USO TRADICIONAL Y ACTUAL DE SPIRULINA SP. (ARTHROSPIRA SP.)

Interciencia, septiembre, año/vol. 31, número 009

Asociación Interciencia

Caracas, Venezuela

pp. 657-663

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México

re²alyc
LA MEMORIA CIENTÍFICA EN LÍNEA
<http://redalyc.uaemex.mx>

USO TRADICIONAL Y ACTUAL DE *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.)

LILIANA RAMÍREZ-MORENO y ROXANA OLVERA-RAMÍREZ

RESUMEN

Spirulina sp. (*Arthrospira* sp.) es una cianobacteria filamentosa no diferenciada, habitante de lagos alcalinos, que se cultiva para consumo humano debido a su contenido nutricional. En México, el consumo de esta cianobacteria se remonta a tiempos prehispánicos, cuando era conocida como tecuitlatl, siendo conocida como dihé por las tribus nativas de la región del lago de Chad, en África. En los últimos años se le han atribuido diversos efectos positivos en el tratamiento de al-

gunos tipos de alergias, anemia, cáncer, enfermedades virales y cardiovasculares. Muchas de sus propiedades son consecuencia de la presencia de pigmentos como las ficobiliproteínas y los carotenoides, así como de otros compuestos como polisacáridos, ácidos grasos (destacando el ácido gama linoleico), proteínas, vitaminas y minerales. Las propiedades y aplicaciones de este organismo hacen de él un alimento "promotor de la salud" o "nutracéutico".

El término "Spirulina" ha sido ampliamente utilizado para referirse indistintamente a dos géneros, *Arthrospira* Stizenberger 1852 y *Spirulina* Turpin 1829, así como a dos especies de cianobacterias, *S. platensis* Geitler 1932 y *S. maxima* Geitler 1925, las que tienen importancia económica, ya que son cultivadas y vendidas para elaborar una gran cantidad de productos a los que se les atribuyen propiedades nutritivas y de prevención de la salud. Sin embargo, desde 1989 se ha reconocido que estos dos géneros son distintos (Tabla I) y que en realidad estas especies (Tabla II) pertenecen al género *Arthrospira* (Tomaselli, 1997; Vonshak y Tomaselli, 2000; Sánchez *et al.*, 2003; Antenna, 2005).

Arthrospira maxima Setchell et Gardner 1917 (sin. *Spirulina maxima* Geitler 1932, *S. geitleri* De

Toni 1935 u *Oscillatoria pseudoplatensis* Bourrelly 1970) y *A. platensis* (Nordst.) Gomont 1892 (sin. *S. platensis* Geitler 1925, *S. jenneri* var. *platensis* Nordstedt 1884 u *O. platensis* Bourrelly 1970), así como el resto de la especies pertenecientes al género *Arthrospira* (Tomaselli, 1997), son cianobacterias filamentosas, no diferenciadas (Rippka *et al.*, 1979), multicelulares, cuyas células cilíndricas tienen un ancho de 3 a 12µm y a veces llega a 16µm; sus tricomas (filamentos) tienen un patrón de arreglo en forma de hélice abierta y llegan a medir 100-200µm (Antenna, 2005) o hasta 500µm (Sánchez *et al.*, 2003); la inclinación de una vuelta de la hélice (*helix pitch*) generalmente varía de 10 a 70µm y el diámetro de la misma mide de 20 a 100µm. Estas dos últimas características dependen en gran medida de las condiciones ambientales y de crecimiento.

La reproducción se lleva a cabo por fisión binaria transversal. El alargamiento del tricoma se debe a numerosas divisiones transversales de las células del mismo. La multiplicación ocurre solo por fragmentación y la fragmentación del tricoma es intracelular, involucrando la destrucción de la célula intercalar (Vonshak y Tomaselli, 2000).

Las células de *Arthrospira*, al igual que las de otras cianobacterias (Figura 1a), poseen una membrana plasmática rodeada por una pared celular multiestratificada, Gram-negativa, caracterizada (Tabla I) por tener una fila de poros alrededor del tricoma; además estas se encuentran separadas por septos que son visibles al microscopio de luz (Sánchez *et al.*, 2003; Vonshak y Tomaselli, 2000). La pared está envuelta por una cápsula o vaina compuesta de polisacáridos (Fay, 1983).

PALABRAS CLAVE / *Arthrospira* sp. / Biotecnología de Microalgas / Cianobacterias / *Spirulina* sp. /

Recibido: 23/11/2005. Modificado: 03/08/2006. Aceptado: 07/08/2006.

Liliana Ramírez-Moreno. **Biólogo, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB), Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Becaria del Programa Institucional de Formación de Investigadores, IPN, México.**

Roxana Olvera-Ramírez. **Doctor en Ciencias en Ecología, ENCB-IPN, México. Profesor-Investigador, ENCB-IPN, México. Dirección: Laboratorio de Fisiología Vegetal, Depto. Botánica, IPN. Prolongación Carpio esq. Plan de Ayala S/N, Col. Santo Tomás, México, D. F. 11340, México. e-mail: rolvera_2000@yahoo.com.mx**

Otros componentes celulares son las inclusiones citoplásmicas tales como los gránulos de glucógeno, depositados principalmente en el citoplasma que se encuentra entre las membranas tilacoidales y que sirven como fuentes de carbono y de energía; los gránulos de lípidos, localizados cerca de la superficie celular y que almacenan los lípidos utilizados para la síntesis de la membrana; los gránulos de cianoficina, constituidos por un polipéptido compuesto de dos aminoácidos (arginina y ácido aspártico), que funcionan en la conversión del nitrógeno; los cuerpos de polifosfato y los carboxisomas, que almacenan la ribulosa 1,5-bifosfato carboxilasa (RUBISCO), enzima que cataliza la unión del CO₂ a la ribulosa 1,5-bifosfato en el ciclo de Calvin (Fay, 1983).

Las vesículas de gas (Figura 1b) presentes en *Arthrospira* se localizan en los espacios intertilacoidales y les confieren la capacidad de flotar. Mediante este mecanismo se regulan las migraciones diurnas dentro de la columna de agua permitiendo que estos organismos se mantengan en aquellas zonas en donde la fotosíntesis es óptima y la cantidad de nutrientes es adecuada (Fay, 1983).

La mayoría de las especies del género *Arthrospira* se han encontrado habitando cuerpos de agua alcalinos, donde crecen de forma masiva; sin embargo, algunas se encuentran presentes en cuerpos de agua dulce como ríos, manantiales y estanques, y aunque no hay reportes para el ambiente marino, con un adecuado suplemento de HCO₃, Na y K en conjunto con pH y salinidad adecuados, las especies de *Arthrospira* pueden ser altamente productivas en agua de mar (Vonshak y Tomaselli, 2000).

Como producto de los análisis que se han hecho sobre la composición bioquímica de *Arthrospira*, se ha determinado que contiene proteínas, vitaminas, ácidos grasos, minerales, carbohidratos, ácidos nucleicos y pigmentos (Tabla III).

Antecedentes históricos sobre su uso

Los antiguos habitantes de Tenochtitlán, hoy Ciudad de México, lograron mantener sana a una numerosa población a través de una dieta equilibrada, basada en el maíz, que representaba un 80% de la dieta diaria (Paniagua-Michael *et al.*, 2004), frijol, calabaza, jitomate, chile, chayote, jícama, cebolla, chía y amaranto. Estos alimentos provenían de los cultivos que cre-

TABLA I
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS QUE SEPARAN A LOS GÉNEROS
Arthrospira STIZENBERGER 1852 Y *Spirulina* TURPIN 1829

Carácter	<i>Arthrospira</i>	<i>Spirulina</i>
Diámetro del tricoma	2,5-16µm	0,5-5µm
Tipo de hélice	hélice abierta	hélice cerrada
Septos	visibles al microscopio de luz	invisibles al microscopio de luz
Patrón de los poros de la pared celular	una fila alrededor del tricoma	varias filas en la parte cóncava de la hélice
Tipo de fragmentación	intracelular (necridio)	intercelular
Cuerpos cilíndricos	presentes	ausentes
Fotosíntesis anoxigénica	ausente	presente en algunas cepas
C-ficoeritrina	no encontrada	presente en algunas cepas
Ácido γ-linoleico (GLA)	presente	ausente

Modificado de Vonshak y Tomaselli (2000).

cían en tierra firme y de una gran variedad de productos como la hueva de mosco o “el alga espirulina” (Barros y Buenrostro, 1999) que provenían del conjunto lacustre del Valle de México.

De acuerdo con la crónica de Francisco Hernández y la de Fray Toribio de Benavente, en algunos sitios del vaso del lago del Valle de México, en cierta época del año, los aztecas colectaban una especie de lodo muy fino de color azul, al cual le daban el nombre de *tecuittlatl*, nombre náhuatl que significa “excremento de piedra”, término que probablemente se sustituyó por el de “cocolín”, como se le conoce actualmente (Ortega *et al.*, 1994), hasta que sus acales o canoas se llenaban. Sobre la tierra o la arena de las cercanías, lo ponían a secar

al sol y una vez seco le daban forma de tortas pequeñas y lo ponían sobre hierbas frescas. El *tecuittlatl* tiene un sabor a queso y cierto olor a cieno; los aztecas lo comían en cantidades pequeñas con tortillas y también lo utilizaban para condimentar el maíz en lugar de la sal (Mondragón, 1984).

TABLA II
ESPECIES DEL GÉNERO *Arthrospira*
STIZENBERGER 1852

Especies	Primera descripción
<i>A. fusiformis</i>	Estepa siberiana, Rusia, Lago Tunatan
<i>A. gomontiana</i>	América del Norte, agua estancada
<i>A. indica</i>	Madurai, India, estanque natural
<i>A. jenneri</i>	Europa, agua estancada
<i>A. khannae</i>	Rangoon, Myanmar, estanque natural
<i>A. massartii</i>	Luxemburgo, agua de manantial
<i>A. maxima</i>	Oakland, California, poza salina
<i>A. platensis</i>	Montevideo, Uruguay, agua estancada
<i>A. spirulinoides</i>	Lahore, Pakistán, agua de lluvia estancada
<i>A. tenuis</i>	Bengala, India, estanque artificial

Modificado de Vonshak y Tomaselli (2000).

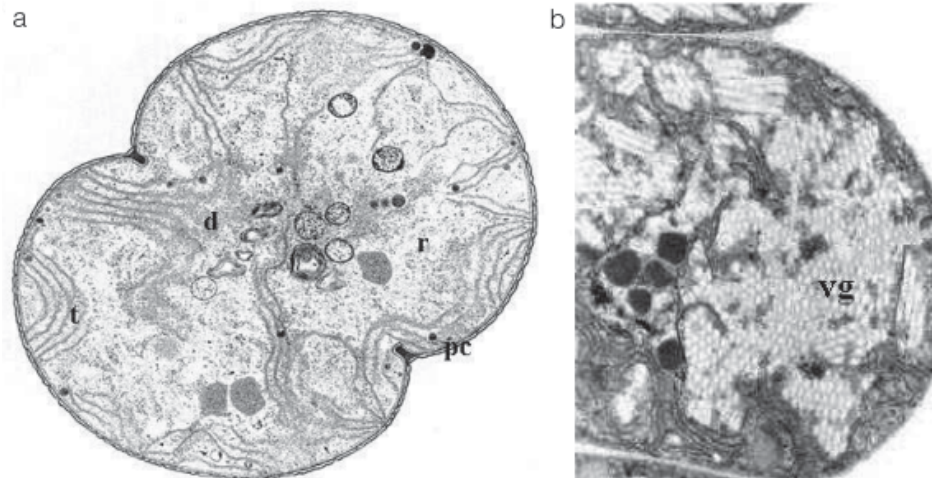


Figura 1. Estructura celular. a: fibrillas de DNA, donde pc: pared celular, t: sistema de membranas tilacoidales, y r: ribosomas. Microfotografía modificada de University of Hawaii (2005). b: vesículas de gas (vg). Microfotografía modificada de Universität Hamburg (2005).

TABLE III
COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA DE
Arthrospira

Compuesto	Contenido (%)
Proteínas	50-70*
Leucina	5,9-6,5
Valina	7,5
Isoleucina	6,8
Lisina	2,6-3,3
Fenilalanina	2,6-3,3
Metionina	1,3-2,0
Triptófano	1,0-1,6
Tirosina	2,6-3,3
Ácido glutámico	7,3-9,5
Ácido aspártico	5,2-6,0
Cisteína	0,5-0,7
Vitaminas	
Provitamina A	0,11-0,2
Tiamina B ₁	3-4 mg
Riboflavina B ₂	2,5-3,5mg
Niacina B ₃	0,014
Vitamina B ₆	0,5-0,7mg
Cobalamina B ₁₂	0,15-0,25mg
Vitamina E	5-7mg
Vitamina K	2,2mg
Ácido fólico	4-5mg
Ácido pantoténico	0,5-0,8mg
Biotina	5µg
Ácidos grasos	3-6,5*
Ácido mirístico	0,23
Ácido palmítico	44,6-54,1
Ácido palmitoleico	1,26
Ácido γ-linoleico (GLA)	8-32
Ácido linoleico	11-31
Ácido oleico	1-15,5
Otros	20,88
Minerales	7*
Potasio	1-14
Sodio	0,45-0,5
Fósforo	0,3-0,7
Calcio	0,1-0,4
Magnesio	0,1-0,2
Fierro	0,03-0,05
Manganeso	0,005
Zinc	0,003
Cobre	0,0012
Cromo	0,28mg
Carbohidratos	15-20 *
Glicerol	7,4
Glucosa	7,5
Ramnosa	17,1
Fucosa	3,3
Ribosa	8,1
Xilosa	4,5
Manosa	1,9
Galactosa	8,2
D-Glucosamina	2,12
No identificados	2,6
Pigmentos	6*
Clorofila a	0,8-1,5
Carotenoides	0,648
β-caroteno	15
Equinenona	11-13
b-criptoxantina	6-8
3'-hidroxiequinenona	7-11
Zeaxantina	25
Diatoxantina	5
Cantaxantina	5
Mixoxantofila	13-17
Oscillaxantina	3-5
No identificados	3-4
Ficocianina	16-20

* % en base al peso seco de la biomasa. Modificado de Cohen (1997), Sasson (1997) y Sánchez et al. (2003).

Por su parte, López de Gomara (Sahagún, 1938) explica que los campesinos comen "...un tipo de tierra; pues con la ayuda de redes de malla muy menuda, abarren, en cierto tiempo del año, una cosa molida que se cría sobre el agua de las lagunas de Méjico, y se cuaja, que ni es yerba ni tierra, sino como cieno. Hay de ello mucho y cogen mucho, y en eras, como quien hace sal, lo vacían, y allí se cuaja y seca. Hácenlo tortas como ladrillos, y no sólo las venden en el mercado, más llévanlas también a otros fuera de la ciudad y lejos. Comen esto como nosotros el queso, y así tiene un saborcillo de sal, que con chilmoli es sabroso. Dicen que a este cebo viene tantas aves a la laguna, que muchas veces por invierno la cubren por algunas partes". Sahagún (1938) precisa que "Unas urronas que se crían sobre el agua, que se llaman tecuitlatl, son de un color azul claro; después que está bien espeso y grueso cógenlo, tiéndenlo en el suelo sobre ceniza y después hacen unas tortas de ello, y tostadas las comen".

A su vez Soustelle (1985) en su obra *La Vida Cotidiana de los Aztecas Antes de la Conquista Española* menciona que "los pobres y los campesinos de los bordes de la laguna recogían sobre el agua misma una sustancia flotante *tecuitlatl* un poco parecido al queso, y que exprimían para hacer pan".

En la revista de la Sociedad Lineana de Bordeaux se publicó en 1940 la investigación realizada por el ficólogo francés Dangeard sobre una sustancia llamada *dihé*, consumida por el pueblo de Kanem (Henrikson, 1994; Abdulqader et al., 2000); 25 años más tarde al botánico Léonard, miembro de la expedición belga que recorrió el Sahara desde el Atlántico hasta el Mar Rojo, le llama la atención la abundancia de una microalga fácil de cosechar con una red bajo la forma de un puré y propone que esta alga es una especie vecina o de la misma especie que la que se vende en galletas en la región del Lago de Chad. Estas galletas o bizcochos fueron analizados y se descubrió que esencialmente contenían a la cianobacteria *S. platensis* (*A. platensis*) y que en efecto era el mismo organismo que el de las muestras colectadas por Léonard (Paniagua-Michael et al., 2004).

En 1976, Delpuech y sus colaboradores de la Oficina de Investigación Científica y Tecnológica Ultramarina de París (ORSTOM, por sus siglas en francés), llevaron a cabo una investigación sobre la importancia nu-

tricional y económica del *dihé* para las poblaciones de Kanem y Lac en Chad, y en 1991 Delisle y colaboradores hicieron mención sobre el consumo de *Spirulina* por los Kanembous en un estudio sobre el consumo y valor nutricional de la comida casera en los valles de Chad (Abdulqader et al., 2000).

Por lo anterior es claro que los Kanembous, habitantes de Kanem, del norte de Chad, consumen y venden desde hace mucho tiempo esta cianobacteria en forma de estos bizcochos que reciben el nombre de *dihé* ("madre de la salsa"; Spiral Spring, 2005) y representan la fuente de la que obtienen la mayor cantidad de proteína.

Las mujeres kanembou, provenientes de diferentes villorios, son las responsables de cosechar la *Spirulina*, lo que realizan mayormente en la época de lluvias, de Junio a Septiembre, y en invierno, en Diciembre y Enero (Abdulqader et al., 2000; Mondragón 1984; Paniagua-Michael et al., 2004). Ellas se reúnen sobre la ribera y esperan a que la líder, una anciana, les asigne un lugar en la fila dependiendo de que villorio provengan. Tan pronto como la líder entra al agua la cosecha comienza y la *Spirulina* es recolectada en cestas de mimbre. Dejan escurrir el agua sobre cántaros de barro y en una zona arenosa vecina, donde las mujeres forman a mano un tipo de palanganas planas, el puré de *Spirulina* se vierte cuidadosamente dejando que el agua se filtre y que se seque al sol. Después la torta resultante es cortada en trozos pequeños a manera de cuadros, los cuales se terminan de secar una vez que las mujeres regresan a sus villorios y los colocan sobre esteras bajo el sol. El *dihé* se desmenuza para preparar la *souce*, una especie de caldo al que le agregan grasa de res, cebolla frita, pimientos, gramíneas silvestres y pescado o lengua de vaca acompañada de albón-digas de mijo (Abdulqader et al., 2000; Cifuentes-Lemus et al., 2005).

Poco tiempo después del redescubrimiento del *dihé*, Clément y sus colaboradores del Instituto Francés del Petróleo (IFP), que buscaban el preciado combustible en África Central, se interesaron en el aprovechamiento de esta cianobacteria pues como observaron los científicos belgas, los Kanembous son personas con buen estado físico, sanos, altos y sobre todo, grandes corredores (Cifuentes-Lemus et al., 2005; Spiral Spring, 2005).

Actualmente los Kanembous siguen utilizando la *Spirulina* como fuente de alimento; sin embargo,

en México, después de la conquista el uso del *tecuitlatl* cayó en el olvido, siendo hasta 1967 que se le volvió a poner atención cuando en los tanques de evaporación de la industria Sosa Texcoco, S.A. (Spiral Spring, 1991) se observó que esta cianobacteria crecía en grandes cantidades. Haciendo esfuerzos con el IFP, llevaron a cabo estudios y experimentos encaminados al aprovechamiento industrial del *tecuitlatl*, el cual se identificó como *Spirulina maxima* (*Arthrospira maxima*). Como producto de estas investigaciones instalaron una planta de procesamiento en las orillas del Caracol del Lago de Texcoco, con una producción cercana a las 500 toneladas de *Spirulina* seca al año (Sasson, 1997). Desgraciadamente la empresa Sosa Texcoco cerró sus puertas y la producción de *Spirulina* fue abandonada (Spiral Spring, 1991).

Cabe señalar que de forma natural, las principales poblaciones de *Spirulina* spp. (*Arthrospira* spp.) también crecen en otros lagos en África, particularmente en Kenia, Etiopía, Egipto, Sudán, Argelia, Congo, Zaire y Zambia, así como en Asia tropical y subtropical (India, Myanmar, Pakistán, Sri Lanka, China, Tailandia y Rusia), en América (Perú, Uruguay, California) y en Europa (España, Francia, Hungría y Azerbaiján), que como el antiguo Lago del Valle de México y las lagunas de Kanem en Chad, son cuerpos de agua poco profundos que están ubicados sobre depósitos de bicarbonato de sodio, con un pH alcalino y una salinidad elevada (Vonshak y Tomaselli, 2000; Cifuentes-Lemus *et al.*, 2005).

Importancia y aplicación actual

El valor de *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.) radica precisamente en la gran variedad de macronutrientes y micronutrientes que contiene, algunos de los cuales no pueden ser sintetizados por el organismo humano, así como en algunas de sus propiedades, tales como incrementar los niveles de energía, reducir el estrés premenstrual, incrementar el rendimiento de atletas, mejorar el apetito y ofrecer protección antioxidante.

Esta cianobacteria es fuente rica en proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerales y otros nutrientes, por lo que uno de sus principales usos es como suplemento alimenticio, ya sea en polvo, encapsulado, en tabletas, como sustituto de harina (en diferentes sabores), en pastas para sopa, botanas, salsas, barras de granola, golosinas o bebidas instantáneas de frutas o vegeta-

les (Sasson, 1997; Laboratorios Almar, 2004; Henrikson, 2005).

En los países en desarrollo, la desnutrición representa un grave problema, por lo que la producción de fuentes alternativas de alimento es de suma importancia (Mondragón, 1984). La *Spirulina* representa una de esas alternativas, pues además de sus propiedades nutritivas, su cultivo tiene pocas dificultades ya que crece en aguas altamente alcalinas y por ello la probabilidad de contaminación con otros microorganismos es limitada; su pared celular es delgada, formada por mucopolímeros y polisacáridos, y no posee celulosa, lo que facilita su digestión, en contraposición a las algas verdes como *Chlorella* sp. Al cosecharla no se requieren de grandes esfuerzos y, finalmente, estudios de toxicidad revelan que es inocua (Chamorro y Salazar-Jacobo, 1995; Chamorro *et al.*, 1996) pudiéndose utilizar como suplemento alimenticio para animales y humanos (Laboratorios Almar, 2004).

Actualmente se le emplea cada vez más como fuente de pigmentos naturales, vitaminas y ácidos grasos, así como para la obtención de aditivos utilizados en fórmulas farmacéuticas y alimentos (Robledo, 1997). En acuicultura se utiliza como alimento para moluscos, microcrustáceos (*Artemia* sp.) y sobre todo para peces, ya que ayuda a mantener sana su piel e intensifica la coloración de la misma, además de incrementar las tasas de crecimiento, supervivencia y fertilidad. En algunos países se utiliza como alimento para aves de ornato, para gatos y perros, especialmente para las hembras con crías, y como tónico para caballos, vacas y sementales (Henrikson, 2005).

Por otro lado, en los últimos años se han hecho diferentes estudios acerca de los efectos que *Spirulina* tiene sobre algunos roedores y en el humano. Algunos de estos efectos son la inmuno-regulación, efectos antioxidantes, anticancerígenos, antivirales, antitóxicos y contra la hiperlipidemia y la hiperglicemia (Belay, 2002). Se ha comprobado a nivel experimental, *in vivo* e *in vitro*, su efectividad en el tratamiento de algunos tipos de alergias, anemia y leucemia (Liu *et al.*, 2000), en otros tipos de cáncer, en reducción de hepatotoxicidad, en enfermedades virales y cardiovasculares, diabetes, obesidad, inmunodeficiencia y procesos inflamatorios, entre otros (Chamorro *et al.*, 2002). Por lo anterior es considerada como un promotor de la salud o nutraceutico (Alvárez-Morales *et al.*, 2002; Alanís-Guzmán, 2003; Fá-

bregas, 2003; Salvador y Cruz-Guillén, 2005).

Varias de las propiedades antes mencionadas se deben a algunos de los constituyentes de *Spirulina*, entre los que destacan los ácidos grasos poliinsaturados ω -3 y ω -6, el β -caroteno, α -tocoferol, ficocianina, compuestos fenólicos y un complejo aislado recientemente, el Ca-Spirulan (Ca-SP) que tiene actividad antiviral (Chamorro *et al.*, 2002).

Metabolitos de interés biotecnológico

Carotenoides y β -caroteno

Los carotenoides son un grupo de pigmentos naturales solubles en lípidos. Son los responsables de una amplia variedad de colores vistosos en la naturaleza, los más conspicuos siendo el amarillo, el naranja y el rojo (Olvera-Ramírez *et al.*, 2003).

El β -caroteno es un constituyente común de la fracción carotenoide de la *Spirulina* y de otras algas, estando en mayor concentración en las algas verdes. Este compuesto incrementa la respuesta inmune en animales y en los seres humanos y en los animales es convertido en retinol (vitamina A), por lo que también se le conoce como provitamina A (Spiral Spring, 2005). La protección contra el cáncer ha sido atribuida a su actividad antioxidante, siendo uno de los principales carotenoides implicados en el sistema de defensa contra los radicales libres (Chamorro *et al.*, 2002).

Estudios epidemiológicos han demostrado una correlación entre el incremento en el consumo de carotenos y la reducción de enfermedades coronarias y cierto tipo de cáncer, y un incremento en la resistencia a infecciones virales, bacterianas, fúngicas y parasitarias (Olvera-Ramírez *et al.*, 2003). Chamorro *et al.* (2002) informan una posible acción hepatoprotectora.

El β -caroteno se utiliza ampliamente como colorante en alimentos. Como mencionan Cañizares *et al.* (1998), la *Spirulina* posee un alto contenido de pigmentos (2,9-4,3g de carotenoides por kg de peso seco). Es un aditivo muy popular, no tóxico, de uso en mantequilla, helados, jugo de naranja, dulces, margarina, quesos, aceites de mesa, productos de panificación, sopas, postres, alimentos dietéticos, etc. Ello es debido a que tiene mayor solubilidad y disponibilidad que los colorantes sintéticos, además de que su costo oscila entre 114 y 160 USD por 25mg (Sigma-Aldrich, 2005).

En los alimentos para aves el β -caroteno puede utilizarse con ventaja para lograr la coloración naranja o amarilla de los productos (huevos y carne), necesaria en algunos países para ser aceptados por el consumidor (Cañizares *et al.*, 1998).

Ficobiliproteínas

Las ficobiliproteínas son macromoléculas componentes del aparato fotosintético de las cianobacterias y consisten de proteínas unidas covalentemente a las ficobilinas. Las ficobiliproteínas se dividen en tres grupos: ficoeritrina (PE), ficocianina (PC) y aloficocianina (AP). Estas moléculas están arregladas en partículas llamadas ficobilisomas (Apt y Behrens, 1999; Fay, 1983; Olvera-Ramírez *et al.*, 2003).

Chamorro *et al.* (2002) reportan las siguientes propiedades farmacológicas para la ficocianina: actividad antioxidante, debida a la presencia de su grupo cromóforo la ficocianobili-

na (Hirata *et al.*, 1999), inhibiendo la frecuencia de micronúcleos en células meióticas de *Tradescantia* sp.; actividad hepatoprotectora en ratas; disminución significativa de edemas en ratones y resultados positivos en el tratamiento de la colitis.

Otra aplicación que se le da a las ficobiliproteínas, por su coloración y solubilidad en agua, es como colorante natural. Fue comercializada en 1980 bajo el nombre de Lina Blue-A (Dainippon, 2005), producto utilizado en la industria de alimentos para dar color a helados, gomas de mascar, bebidas y productos lácteos, y en la industria cosmética como pigmentos naturales (Sasson, 1997; Henrikson, 2005). También se emplean en inmunosayos, ya que pueden formar conjugados estables con anticuerpos, y en microscopia de fluorescencia es útil para diagnósticos e investigación biomédica, presentando ventajas con respecto a los marcadores fluorescentes tradicionales (Kronick, 1986; Glazer, 1994; Apt y Behrens, 1999).

El precio de las ficobiliproteínas varía de 3,25 a 17 USD por mg liofilizado de estos pigmentos (Cyanotech, 2005). En otras presentaciones (con una concentración de 4mg/ml) pueden costar entre 174 USD por 0,5ml y 328 USD por 250 μ l, dependiendo de la calidad y pureza de los pigmentos (Invitrogen, 2005).

Exopolisacáridos (EPS)

Muchas cianobacterias, incluyendo a la *Spirulina*, poseen estructuras superficiales adicionales tales como vainas, cápsulas o mucílago disperso, compuestos principalmente de polisacáridos y que durante el crecimiento de las células en cultivos estacionarios son liberados al medio provocando que éste se vuelva más viscoso. Estos polisacáridos solubles en el medio son fácilmente recuperables, por lo que se han sugerido diferentes aplicaciones en biomedicina y en la industria cosmética y de alimentos, como agentes emulsificantes, estabilizantes o espesantes (De Philippis y Vincenzini, 1998).

Particularmente, de *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.) se ha aislado el polisacárido sulfatado llamado Ca-SP, que inhibe la replicación del VIH, *Herpes simplex*, citomegalovirus humano, virus de la influenza A, papearas y sarampión (Kozlenko y Henson, 1998; Chamorro *et al.*, 2002). También, desde 1992 los japoneses han producido continuamente los exopolisacáridos de esta cianobacteria como sustitutos del agar-agar (De Philippis y Vincenzini, 1998).

Lípidos

El contenido de lípidos presente en la *Spirulina* oscila entre un 6 y 13%, del cual la mitad son ácidos grasos. De los ácidos grasos presentes los que se encuentran en mayor proporción son los ácidos palmítico, g-linoleico (GLA), linoleico y oleico, pero el que más importancia tiene es el GLA, un ácido graso insaturado, esencial, que rara vez está presente en la dieta diaria. Entre las fuentes que contienen GLA, *Spirulina* sp. es la que lo contiene en mayor concentración (Cohen, 1997).

El GLA es precursor de algunas prostaglandinas y reduce en cierta medida la cantidad de colesterol en sangre (Sánchez *et al.*, 2003) por lo que representa una alternativa en el manejo de enfermedades cardiovasculares y en el control de peso. Ha sido utiliza-

TABLA IV
PRINCIPALES COMPAÑÍAS PRODUCTORAS DE *Spirulina*

Compañía	País	Producción total		Productos
		Periodo	ton	
Ballapur Industries Ltd. Spirulina Farm	India	1994-1995	25	95% polvo de <i>Spirulina</i> 5% comprimidos
		1995-1996	85	
Cyanotech Corp.	EEUU	1995	250	Spirulina Pacifica™, con alto contenido de proteínas y β -caroteno. Ficobiliproteínas, pigmentos fluorescentes utilizados en diagnósticos inmunológicos.
		1996	300	
Earthrise Farms	EEUU	1995	360	<i>Spirulina</i> pulverizada, tabletas, alimentos formulados y colorante azul (Lina Blue).
		1996	400	
		2002	450	
Myanmar Microalga Biotechnol. Project.	Myanmar	1995	32	Principalmente comprimidos de <i>Spirulina</i> que se venden localmente.
		1996	40	
Siam Algae Co. Ltd. Dainippon Ink & Chemicals Inc.	Tailandia	1995	125	<i>Spirulina</i> pulverizada, tabletas, alimentos formulados y colorante azul (Lina Blue).
		1996	130	
		2002	135	
Wuhan Micro-alga Biotechnology Co.	China	1995	25	Polvo, comprimidos y cápsulas de <i>Spirulina</i> , alimento formulado para consumo humano, para moluscos y crustáceos.
Neotech Food Co., Ltd	Tailandia	1995	30	<i>Spirulina</i> en polvo, 30% para consumo humano y 70% para animales.
		1996	40	
Nan Pao Resins Chemical Co., Ltd	Taiwan	1995	70	Polvo de <i>Spirulina</i> y comprimidos para consumo humano.
		1996	80	
		2000	150	
Hainan-DIC Microalgae Co., Ltd	India	2002	330	<i>Spirulina</i> pulverizada, tabletas, alimentos formulados y colorante azul (Lina Blue).
Genix	Cuba	2001	100	Suplementos nutricionales y cosméticos.
Solarium Biotechnology	Chile	2000	4,5	<i>Spirulina</i> fresca, seca y pulverizada.
		2001	28,6	
		2002	13	

Modificado de Vonshak (1997) y Sánchez *et al.* (2003).

do en el tratamiento del eczema atópico y para aliviar los síntomas del síndrome premenstrual. Se piensa que tiene efectos positivos en el Parkinson y la esclerosis múltiple (Cohen, 1997), así como en el crecimiento celular, en la síntesis de la membrana celular (Sasson, 1997).

Proteínas, vitaminas y minerales

El alto contenido de proteínas de *Spirulina sp.* hace de ésta un alimento altamente nutritivo, además de que contiene aminoácidos esenciales y su aminograma es muy similar al de la yema de huevo, que es considerado el aminograma tipo por la FAO (Mondragón, 1984). A lo anterior se puede agregar que las proteínas presentes en esta cianobacteria son de fácil digestión y metabolización, ayudando con esto al tratamiento de la desnutrición.

En cuanto a vitaminas se refiere, cabe destacar que la *Spirulina* es una fuente rica en ellas, sobre todo en provitamina A y vitamina B₁₂, la primera importante en la prevención de enfermedades oculares y la segunda de gran valor para el tratamiento de la anemia perniciosa (Sánchez *et al.*, 2003).

Por último, uno de los minerales al cual se le ha prestado más atención y que se encuentra en la *Spirulina* es el hierro, es necesario en el tratamiento de la anemia hipoférrica ya que este se absorbe 60% más que el sulfato ferroso y otros complementos (Sánchez *et al.*, 2003).

Compañías productoras

Las principales compañías productoras de *Spirulina sp.* (*Arthrospira sp.*), se localizan en el continente asiático (Tabla IV), donde el cultivo de esta cianobacteria se lleva a cabo de manera intensiva dentro de estanques artificiales. La producción que oscila entre 13 y 450 toneladas de biomasa al año. En general, la biomasa se deshidrata y pulveriza para fabricar comprimidos o encapsulados que se venden como suplementos alimenticios (Vonshak, 1997; Sánchez *et al.*, 2003).

REFERENCIAS

Abdulqader G, Barsanti L, Tredici MR (2000) Harvest of *Arthrospira platensis* from Lake Kossorom (Chad) and its household usage among the Kanembu. *J. Appl. Phycol.* 12: 493-498.

Alanis-Guzmán MG (2003) *Alimentos funcionales*. www.uanl.mx/publicaciones/respyn/especiales/ee-4-2003/01.pdf.

Alvárez-Morales A, González-Martínez BE, Jiménez-Salas Z (2002) Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. *RESPYN* 3(3). www.uanl.mx/publicaciones/respyn/iii/3/ensayos/alimentos_funcionales.html.

Antenna Technologies (2005) *Spirulina: some scientific foundations*. www.antenna.ch.

Apt KE, Behrens PW (1999) Commercial developments in microalgal biotechnology. *J. Phycol.* 35: 215-226.

Barros C, Buenrostro M (1999) La alimentación prehispánica en la obra de Sahagún. *Arqueología Mexicana* 6: 38-45.

Belay A (2002) The Potential Application of *Spirulina (Arthrospira)* as a Nutritional and Therapeutic Supplement in Health Management. *JANA* 5: 27-48.

Cañizares R, Ríos E, Olvera R, Ponce T, Márquez F (1998) Fuentes Microbianas de Pigmentos. *Rev. Lat-Amer. Microbiol.* 40: 87-107.

Chamorro G, Salazar-Jacobo M (1995) Toxicología de la *Spirulina*. *Tecnología de alimentos* 30: 13-14.

Chamorro G, Salazar M, Favila L, Bourges H (1996) Farmacología y toxicología del alga *Spirulina*. Resumen. *Rev. Invest. Clin.* 48: 389-399.

Chamorro G, Salazar M, Gomes de Lima-Araujo K, Pereira dos Santos C, Ceballos G, Fabila-Castillo L (2002) Actualización en la farmacología de *Spirulina (Arthrospira)*, un alimento no convencional. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 52: 232-240.

Cifuentes-Lemus JL, Torres-García P, Frías MM (2005) IX. Algas. http://omega.ilce.edu.mx/3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/087/htm/sec_27.htm.

Cohen Z (1997) The chemicals of *Spirulina*. En *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology and biotechnology*. Taylor & Francis. Londres, RU. pp. 175-203.

Cyanotech (2005) *Phycobiliprotein-Price list and order information*. Cyanotech Corporation. www.phycobiliprotein.com/price.html.

Dainippon (2005) *DIC's Spirulina, a symbol of high quality*. Dainippon Ink & Chemicals. www.dic.co.jp/eng/products/1ina/1ina02.html.

De Philippis R, Vincenzini M (1998) Exocellular polysaccharides from cyanobacteria and their possible applications. *FEMS Microbiol. Rev.* 22: 151-175.

Fábregas J (2003) *Aplicaciones de los alimentos funcionales*. www.genes.org/06_NEWS/docs7/fabregas201103.pdf.

Fay P (1983) *The blue-greens (Cyanophyta-Cyanobacteria)*. Arnold. Londres, UK. 88 pp.

Glazer AN (1994) Phycobiliproteins - a family of valuable, widely used fluorophores. *J. Appl. Phycol.* 6: 105-112.

Henrikson R (1994) *Microalga Spirulina, superalimento del futuro*. Urano. Barcelona, España. pp. 30-33.

Henrikson R (2005) *Earth Food Spirulina*. http://www.spirulinaresource.com/earthfood.html.

Hirata T, Tanaka M, Ooike M, Tsunomura T, Sakaguchi M (1999) Antioxidant activities of phycocyanobilin prepared from *Spirulina platensis*. 8th Int. Conf. Appl. Algal. Abstracts. Pp. 253.

Invitrogen (2005) http://probes.invitrogen.com/handbook/sections/0604.html.

Kozlenko R, Henson RH (1998) *Latest Scientific Research on Spirulina: Effects on the AIDS Virus, Cancer and the Immune System*. www.spirulina.com/SPLNews96.html.

Kronick MN (1986) The use of phycobiliproteins as fluorescent labels in immunoassay. *J. Immunol. Meth.* 92: 1-13.

Laboratorios Almar (2004) *Productos: Spirulina*. Laboratorios Almar. www.geocites.com/labalmar/spirulina.html#9.

Liu Y, Xu L, Cheng N, Lin L, Zhang C (2000) *Spirulina platensis & Leukemia*. http://www.gd-1.com/research2.htm.

Mondragón BMA (1984) Cultivo y uso del alga tecuitlatl (*Spirulina maxima*), estudio recapitulativo. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 49 pp.

Olvera-Ramírez R, Ríos-Leal E, Vicente-García V (2003) *Manual de Técnicas para el Cultivo y Extracción de Bioproductos a Partir de Microalgas*. ENCB-IPN. México. 69 pp.

Ortega MM, Godínez JL, Garduño SG, Oliva MG (1994) *Ficología de México: algas continentales*. AGT. México. 221 pp.

Paniagua-Michael J, Dujardin E, Sironval C (2004) *Crónica Azteca: El tecuitlatl, concentrado de algas espirulinas fuente de proteínas comestibles del pueblo de los Aztecas*. www.spiralspring.com/h_Textos/Cronica%20azteca.pdf.

Rippka R, Deruelles J, Waterbury JB, Herdman M, Stanier RY (1979) Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *J. Gen. Microbiol.* 111: 1-61.

Robledo D (1997) Las algas y la biodiversidad. *Biodiversitas* 13: 2-4.

Sahagún B de (1938) *Historia general de las cosas de Nueva España*. Vol. 3 lib. XI. Ed. Robredo. México. pp 196 y 372.

Salvador TF, Cruz-Guillén D (2005) *Nutraceuticos*. http://comunidad.uach.mx/fsalvado/NUTRACEUTICOS.doc.

Sánchez M, Bernal-Castillo J, Roza C, Rodríguez I (2003) *Spirulina (Arthrospira): an edible microorganism. A review*. www.javeriana.edu.co/universitas_scientiarum/vol8n1/J_bernal.htm.

Sasson A (1997) Cultivation of *Spirulina*. En *Microalgal biotechnologies: recent developments and prospects for developing countries*. 2nd Asia-Pacific Marine Biotechnol. Conf. / 3rd Asia-Pacific Conf. Algal Biotechnol. Phuket, Tailandia. pp 11-31.

Sigma (2005) Sigma-Aldrich Catalogue. www.sigma-aldrich.com.

Soustelle J (1985) *La vie quotidienne des Aztèques à la veille de la conquête espagnole*. Hachette. París, Francia. 332 pp.

- Spiral Spring (1991) *SOSA Texcoco, S.A. de C.V.* www.spiralsspring.com/h_Textos/Sosa%20Tex%20Historico.pdf.
- Spiral Spring (2005) *¿Qué es?: Historia.* http://spiralspring.com/b_QueEs/frHistotria.html.
- Tomaselli L (1997) Morphology, Ultrastructure and Taxonomy of *Arthrospira (Spirulina) maxima* and *Arthrospira (Spirulina) platensis*. En *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology and biotechnology.* Taylor & Francis. Londres, RU. pp. 1-15.
- Universität Hamburg (2005) *Cyanobacteria.* Department für Biologie. Universität Hamburg. www.biologie.uni-hamburg.de/bonline/library/webb/BOT311/Cyanobacteria.html.
- University of Hawaii (2005) *Division Cyanophyta: Kingdom Monera.* University of Hawaii at Manoa. www.botany.hawaii.edu/faculty/webb/BOT201/BOT201/Algae/Cyanophyta%20lecture%20notes.htm.
- Vonshak A (1997) Appendix V. The Main Commercial Producers of *Spirulina*. En *Spirulina platensis (Arthrospira): physiology, cell-biology and biotechnology.* Taylor & Francis. Londres, RU. pp. 221-226
- Vonshak A, Tomaselli L (2000) *Arthrospira (Spirulina): Systematics and Ecophysiology.* En *The Ecology of Cyanobacteria.* Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Holanda. pp. 505-522.

TRADITIONAL AND PRESENT USE OF *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.)

Liliana Ramírez-Moreno and Roxana Olvera-Ramírez

SUMMARY

Spirulina sp. (*Arthrospira* sp.) is a non-differentiated filamentous cyanobacteria common in alkaline lakes and is cultivated for food because of its high nutritional value. In Mexico, it has been used as food since Prehispanic times, when it was known as tecuitlatl. At present time, this cyanobacteria was described in Africa, native tribes from the Chad Lake region have consumed and called it dihé. In recent years, many properties it was attributed

to it for the treatment of allergies, anemia, cancer, virus and cardiovascular diseases. Many of its properties could be attributed to the presence of pigments like phycobiliproteins and carotenoids, as well as other compounds such as polysaccharides, fatty acids (specially gamma linoleic acid), proteins, vitamins and minerals. The properties and applications of this organism make of it a functional food or nutraceutical.

USO TRADICIONAL E ATUAL DE *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.)

Liliana Ramírez-Moreno e Roxana Olvera-Ramírez

RESUMO

Spirulina sp. (*Arthrospira* sp.) é uma cianobactéria filamentososa não diferenciada, habitante de lagos alcalinos, que se cultiva para consumo humano devido ao seu conteúdo nutricional. No México, o consumo de esta cianobactéria se remonta a tempos pré-hispânicos, quando era conhecida como tecuitlatl, sendo conhecida como dihé pelas tribus nativas da região do lago de Chad, na África. Nos últimos anos lhe têm sido atribuído diversos efeitos positivos no tratamento de alguns

tipos de alergias, anemia, câncer, enfermidades virais e cardiovasculares. Muitas de suas propriedades são consequência da presença de pigmentos como as ficobiliproteínas e os carotenóides, assim como de outros compostos como polissacarídeos, ácidos graxos (destacando o ácido gama-linoléico), proteínas, vitaminas e minerais. As propriedades e aplicações de este organismo fazem dele um alimento «promotor da saúde» o «nutracêutico».