

Rol ecológico de las cianobacterias y su presencia en los ríos Torola, Titihuapa y Jiboa de El Salvador.

Estrada H., Rosa María

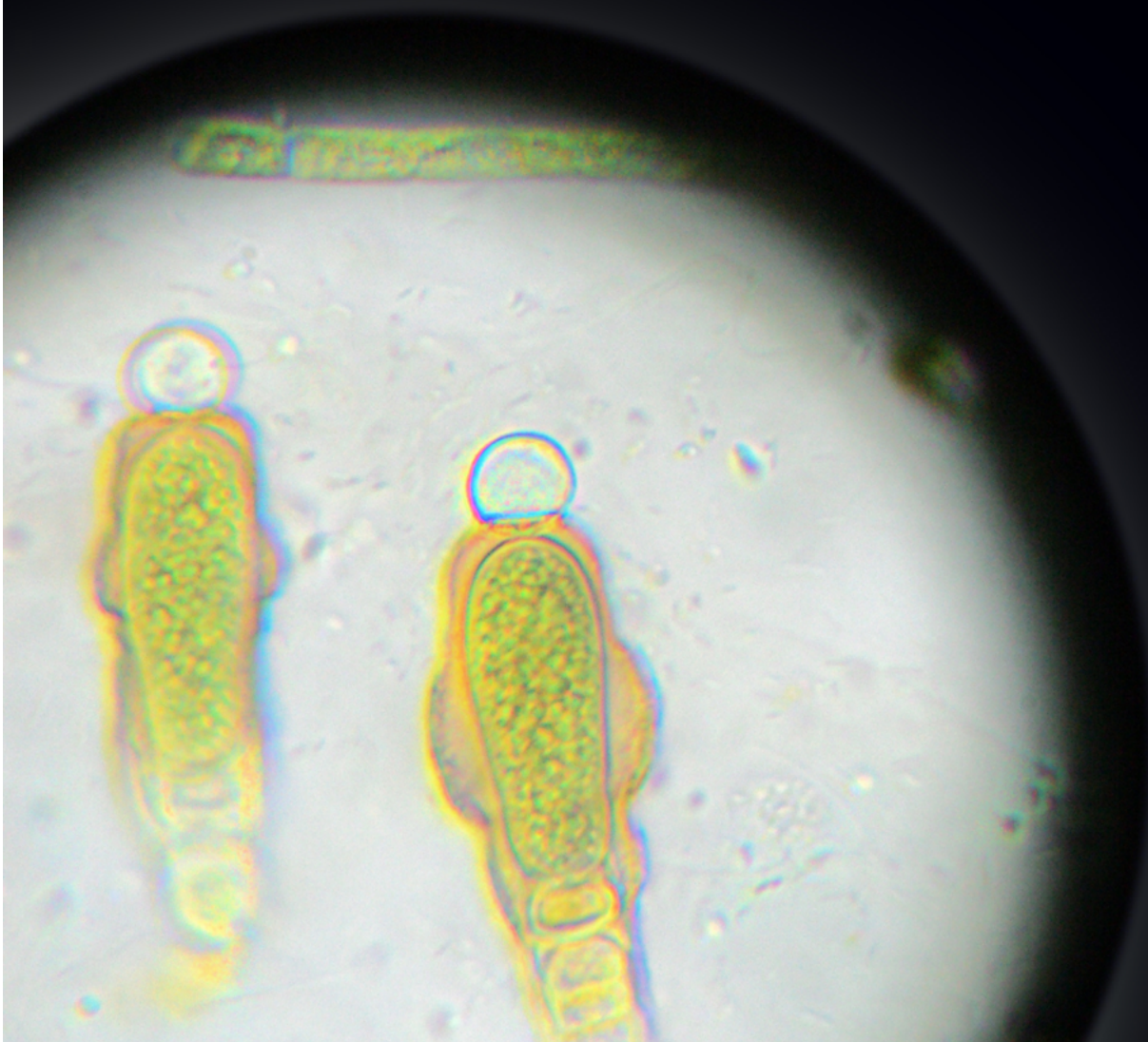
Bióloga Investigadora Asociada a la Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador

E-mail: rosamariaestradah@gmail.com

Menjívar, Rodolfo Fernando

Investigador y Director de la Escuela de Biología, Facultad de Ciencias
Naturales y Matemáticas, Universidad de El Salvador

rfmenjivar@hotmail.com



Resumen

Las Cianobacterias consideradas un grupo entre los organismos procarióticos y eucarióticos fotosintetizadores, deben su nombre a los pigmentos que sintetizan y que les confieren el color característico azul-verdoso. Estas son consideradas de gran utilidad como indicadores de cambios en las condiciones ambientales asociadas a elevadas concentraciones de fosfatos, amonio y altas temperaturas. En la actualidad presentan una amplia distribución ecológica, encontrándose en ambientes muy variados, tanto terrestres como marítimos, incluso en los más extremos. En este artículo se reportan las cianobacterias por su importancia en los ecosistemas y su distribución en algunos ríos de El Salvador. Se registraron 6 géneros de cianobacterias distribuidas de la siguiente manera: río Torola (*Nostocopsis lobatus*), río Titihuapa (*Oscillatoria*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Gloeotrichia* cf. *echinulata*) y río Jiboa (*Oscillatoria*, *Nostoc*, *Chroococcus*).

Palabras clave: cianobacterias, cianotoxinas, ríos, Torola, Titihuapa, Jiboa, El Salvador.

Introducción

Uno de los factores más importantes para la evolución y continuidad de la vida en la tierra es el agua. En ella habitan muchos organismos entre ellos los unicelulares, responsables del cambio más drástico que ha sufrido la evolución de la vida en la tierra: las cianobacterias o algas azul-verdosas. Dentro del Reino Bacteria existe el Phylum Cyanobacterias consideradas un grupo entre los organismos procarióticos y eucarióticos fotosintetizadores, Su nombre se debe a la capacidad de sintetizar los pigmentos de ficobilina y ficocianina que en alta concentración le confiere el color característico azul-verdoso (Ramírez et al., 2004).

Según la teoría evolucionista el inicio de la vida se originó con el apareamiento de los organismos unicelulares, incluyendo a las bacterias que son uno de los grupos más antiguos que existen sobre la tierra desde hace aproximadamente unos 3,500 millones de años. Estos son organismos procariotas unicelulares. Por no poseer un núcleo definido, el material genético se encuentra disperso en toda la célula, se reproducen por división celular sencilla.

Es común que algunas personas asocien a las bacterias en general con enfermedades, lugares o sitios contaminados, posiblemente por la falta de información y/o formación en el área académica. A nivel mercadológico se potencia el concepto de que todas las bacterias son nocivas, para proponer tal o cual producto eficaz como bactericida como supuesta protección del ser humano y otros seres vivos de interés económico. Sin embargo no todas las

bacterias producen enfermedades, ni se encuentran únicamente en lugares en descomposición, han convivido con el ser humano desde siempre. Las bacterias se encuentran en todos los ambientes, interviniendo como transformadores de la materia orgánica, para que pueda ser utilizada de nuevo en los ecosistemas, ejemplo de esto es su intervención en los ciclos del carbono, nitrógeno, azufre muy necesarios para el enriquecimiento de los suelos y el medio ambiente en general. Sin esta actividad de transformación por la vía bacteriana, la vida que conocemos actualmente no sería posible.

Tienen una gran importancia en la transformación de los alimentos, por ejemplo al elaborar vinagre, que se logra por la descomposición que realiza *Acetobacter acetii* y en la preparación del yogurt en la que intervienen los lactobacilos.

También se encuentran sobre y dentro del cuerpo (piel, boca, garganta, estómago, intestinos, entre otros) de muchos seres vivos, incluyendo al ser humano, ayudando a digerir los alimentos, recubriendo las paredes intestinales, proporcionando nutrientes, como por ejemplo la vitamina K que nuestro cuerpo no puede fabricar, y evitando infecciones causadas por otras bacterias u organismos. Estas comunidades de bacterias y otros microorganismos que viven en nuestro cuerpo reciben el nombre de microflora o microbiota.

En este artículo se pretende dar a conocer las cianobacterias por su importancia en los ecosistemas y su distribución en algunos cuerpos de agua en El Salvador.

Importancia

Las cianobacterias son organismos antiguos que se caracterizan por conjugar el proceso de la fotosíntesis oxigénica con una estructura celular típicamente bacteriana. Al ser responsables de la primera acumulación de oxígeno en la atmósfera, las cianobacterias han sido de enorme relevancia en la evolución de la vida en el planeta tierra.

En la actualidad presentan una amplia distribución ecológica, encontrándose en ambientes muy variados, tanto terrestres como marítimos, incluso en los más extremos, siendo la fotoautotofía, con fijación de CO², su principal forma de vida, contribuyendo así a la productividad primaria global de la Tierra. Son parte de los pocos organismos del fitoplancton que tienen representantes de tres niveles de organización: unicelular, colonial y filamentoso. Como componentes del fitoplancton, son reconocidas por ser indicadoras de cambios en las condiciones ambientales asociadas a elevadas concentraciones de fosfatos y amonio y altas temperaturas (Smith & Smith, 2001, Paerl & Huisman, 2009 citados por Dobal Amador *et al.*, 2011).

Muchas cianobacterias son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico, por tanto, son capaces de hacerlo en condiciones de aerobiós. Ciertas cianobacterias son consideradas las mayores fijadoras de N para amplias zonas oceánicas contribuyendo de forma importante a la formación de cantidades altas de nitrógeno fijado, lo cual se logra a través del ciclo del nitrógeno, por medio del cual el nitrógeno gaseoso se transforma en amoníaco o nitratos en estos procesos las cianobacterias tienen un rol importante.

El sistema bacteriológico de Rippka y col (1979) divide a las cianobacterias en cinco secciones en función de la organización y el modo de división que presentan los diferentes organismos, estas secciones son:

a) **Sección I** (Orden Chroococcales en el sistema botánico). Engloba las cianobacterias unicelulares que se multiplican por fisión binaria o gemación. Las células tienen forma esférica, cilíndrica u ovalada, Ej. *Synechocystis*.

b) **Sección II** (Orden Pleurocapsales en el sistema botánico). Agrupa a las cianobacterias unicelulares que pueden formar colonias y que se multiplican por fisión múltiple, dando lugar a células hijas de menor tamaño llamadas baeocitos, Ej. *Dermocarpella*.

c) **Sección III** (Orden Oscillatoriales en el sistema botánico). Incluye cianobacterias filamentosas sin heterocistos que se dividen en un único plano. La multiplicación se produce por rotura de filamentos y en algunos géneros también mediante la germinación de acinetos o la formación de hormogonios, Ej. *Oscillatoria* (Fig.1).

d) **Sección IV** (Orden Nostocales en el sistema botánico). Dentro de esta sección nos encontramos a las cianobacterias filamentosas con heterocistos, que se dividen en un solo plano y se reproducen mediante rotura de tricomas, formación de hormogonios o germinación de acinetos, Ej. *Anabaena*, *Nostoc*

e) **Sección V** (Orden Stigonematales en el sistema botánico). Formadas por las cianobacterias filamentosas con heterocistos en las que la división celular se realiza en dos planos, dando lugar a tricomas ramificados. La reproducción se realiza como en las dos secciones anteriores, Ej. *Mastigocladus*.

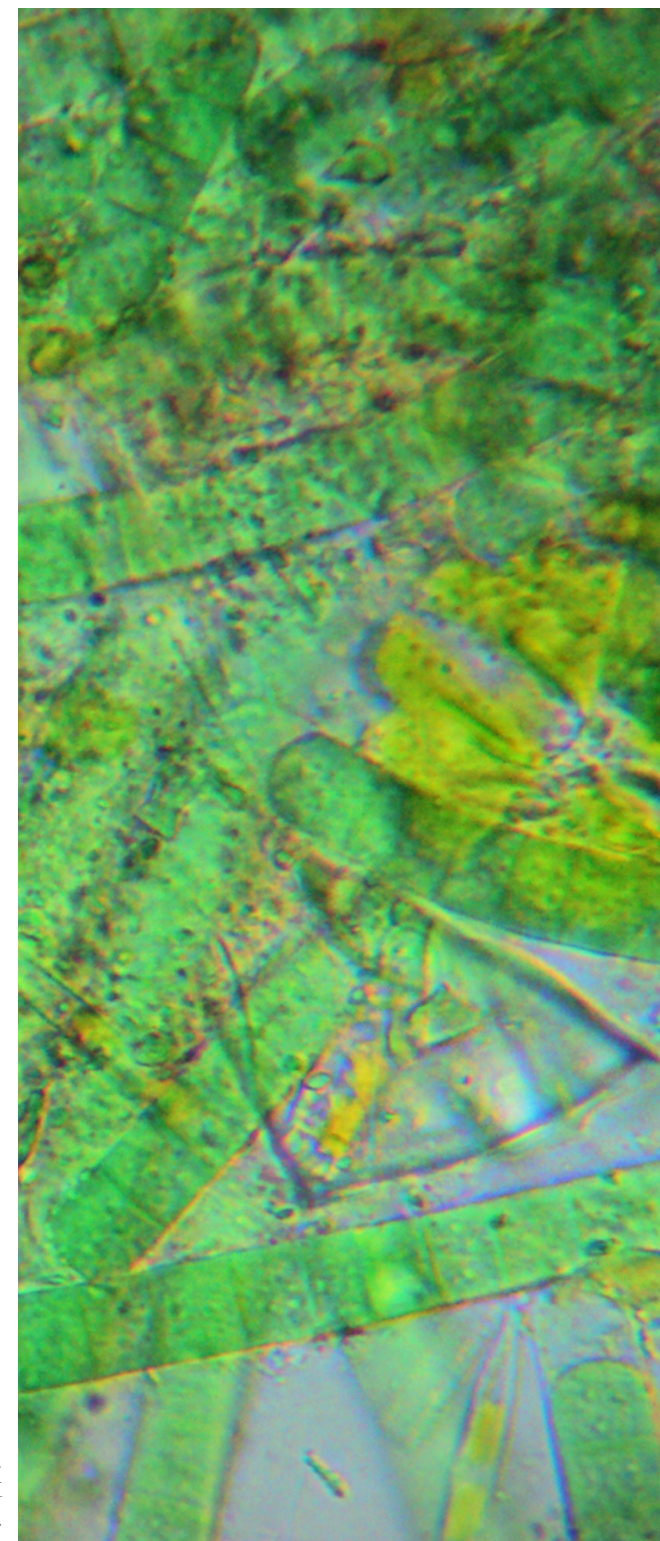


Fig. 1 Cianofita *Oscillatoria* sp.
Vista 40X

Fotografía: Estrada H., Rosa María.

Ecología

Las cianobacterias se han encontrado desde los polos hasta los desiertos más cálidos. Esto es debido a la gran plasticidad ecológica que presentan (Whitton y Potts 2000). Este grupo puede llegar a dominar el plancton de lagos y océanos tropicales; también son características de otros ecosistemas acuáticos como ríos, fuentes termales, etc. Junto con estos ecosistemas acuáticos, también es posible encontrar cianobacterias adaptadas a ambientes terrestres, llegando a ser muy abundantes en suelos tropicales y en suelos saturados de agua por ejemplo en jardines encharcados.

Las cianobacterias que viven en el medio acuático se pueden clasificar ecológicamente en dos grupos: planctónicas y bentónicas. Las primeras se caracterizan por vivir libremente en la superficie o en la columna de agua, mientras que las segundas viven en el fondo o asociadas a un sustrato.

Las cianobacterias juegan un rol muy importante como colonizadores primarios ya que incorporan materia orgánica al suelo y previenen la erosión. Así mismo son la población dominante en ambientes inhóspitos como cráteres volcánicos, fuentes termales, charcas y lagos alpinos o polares y sistemas lacustres y fluviales altamente contaminados (por vertidos orgánicos o inorgánicos) (Gibson y Smith 1982). Gracias a la capacidad fijadora de N_2 que presentan algunas cianobacterias, son a menudo los únicos habitantes de aguas extremadamente deficientes en nitrógeno.

En los ambientes terrestres, las cianobacterias son una parte importante de la microflora. Predominan en los ambientes microaerobios y próximos al pH neutro de los suelos de arrozales anegados (Roger y Kolasooriya 1980). En los suelos polares de la tundra las cianobacterias abundan con un papel importante como productores primarios e incorporadores de N_2 atmosférico (Oliver y Ganf 2000). Las rocas de la Antártida son otro medio extremo en el que aparecen

las cianobacterias, así como en zonas desérticas junto a líquenes y algas.

Hay que destacar que las cianobacterias son capaces de formar relaciones simbióticas con gran cantidad de organismos: hongos, algas verdes, diatomeas, musgos, angiospermas, protozoos, etc (Whitton y Potts 2000). En estas asociaciones la cianobacteria excreta amonio para el hospedador, excepto en las asociaciones con hongos (líquenes) en las que aporta glucosa. El hospedador, a cambio le proporciona un sustrato donde desarrollarse y los metabolitos necesarios para el crecimiento. Las cianobacterias simbióticas tienen mayor actividad nitrogenada y mayor porcentaje de heterocistos que las de vida libre y bajos niveles de glutamina sintetizan enzimas necesarias para la incorporación del amonio a los aminoácidos.

Las colonias de cianobacterias pueden apreciarse a simple vista como manchas incrustadas en la superficie húmeda de las rocas en forma de almohadillas macroscópicas, capas viscosas o masas gelatinosas (Fig. 2), con su color característico verde azulado, pardo o negras como lo describe Ramírez *et al.* (2004). Estas colonias se pueden encontrar dispersas en el cuerpo de agua o agrupadas en sitios restringidos de acuerdo a las condiciones ambientales. Pueden presentar floraciones en condiciones ambientales favorables, siendo influenciadas por factores como la temperatura (18-20°C), condiciones de luz-energía, cantidades de fósforo, nitrógeno atmosférico y pH en un rango de 6.4-8.5. Existen excepciones en cada especie de acuerdo a los requerimientos ecológicos, algunas pueden desarrollarse con pH que oscile entre los 4.0 y 4.5, como lo mencionan Whitton (1992) citado por Z. Branco (2001) y Ramírez *et al.* (2004).



Fig. 2 Colonia de cianobacteria *Nostochopsis lobatus*. Fotografía: Estrada H., Rosa María.

Toxicidad

Las floraciones de cianobacterias pueden generar sustancias tóxicas que establecen la importancia como un problema ambiental con repercusiones sobre la salud (Ramírez *et al.*, 2004). Los compuestos tóxicos producidos por las cianobacterias son químicamente diversos (Cuadro 1), así que la clasificación de los diferentes tipos de toxinas se ha realizado en función del efecto que producen sobre los órganos de los animales y el ser humano. Según esta clasificación, existen 5 clases de toxinas producidas por las cianobacterias:

Hepatotoxinas: Son el tipo de cianotoxinas más común (Sivonen y Jones 1999). Se han encontrado dos familias de compuestos que presentan efectos tóxicos directamente sobre el hígado, estas son las microcistinas y nodularinas, que son péptidos de pequeño tamaño, 7 aminoácidos en el caso de la

microcistina, y 5 en el caso de las nodularinas que poseen varios aminoácidos raros (Dawson 1998). Las microcistinas se pueden encontrar en cianobacterias como *Microcystis aeruginosa* (Fig. 3).

Neurotoxinas: Químicamente se han encontrado tres grandes grupos de toxinas producidas por las cianobacterias y que son capaces de mostrar efectos tóxicos a nivel neuronal o en la interacción entre las neuronas y el músculo. Estas son: Anatoxina-a, anatoxina-a (s) y saxitoxinas. Las dos últimas se encuentran entre las sustancias más neurotóxicas conocidas. Sin embargo, se tiene evidencia que en los lagos y ríos no son tan frecuentes como las microcistinas (Chorus *et al.*, sf). La anatoxina-a y anatoxina-a (s) son producidas por cianobacterias, mientras que la anatoxina-a (s) y saxitoxinas también son producidas por los dinoflagelados (mareas rojas) (Devlin *et al.*, 1977; Matsunaga *et al.*, 1989 y Sivonen y Jones 1999).

Citotoxinas: Dentro de este grupo encontramos un único tipo de toxinas las cilindrospermopsinas, las cuales son especialmente peligrosas porque los síntomas clínicos sólo se manifiestan varios días después de la exposición, por lo que la causa y efecto con frecuencia serán difícil de relacionar (Chorus *et al.*, sf). Estas toxinas fueron definidas en un primer momento como hepatotoxina, pero estudios posteriores han mostrado que son capaces de causar daños en múltiples órganos y sistemas: hígado, riñones, corazón, estomago, glándulas adrenales, sistema vascular y linfático (Falconer y Humpage 2006).

Dermatotoxinas: Se encuentran entre las toxinas menos estudiadas, sus efectos se han visto sobre todo asociados a cianobacterias marinas, y se conoce muy poco de su modo de actuación y para su toxicidad se han definido dos grupos químicamente diferentes: aplisiatoxinas y lingbiatoxinas. Tienen efectos inflamatorios y son potentes promotores de tumores y activadores de la protein kinasa C (Sivonen y Jones 1999).

Endotoxinas (LPS): los lipopolisacáridos (LPS), compuestos que son producidos por todas las cianobacterias, puesto que los LPS, son constituyentes de las paredes celulares de las bacterias Gram negativas. Dadas las similitudes entre las bacterias Gram negativas y las cianobacterias, todas las especies de cianobacterias presentan LPS, aunque hasta el momento todos los LPS estudiados presentan una toxicidad muy inferior al de otras bacterias Gram negativas como las que presenta el género *Salmonella* (Sivonen y Jones 1999).

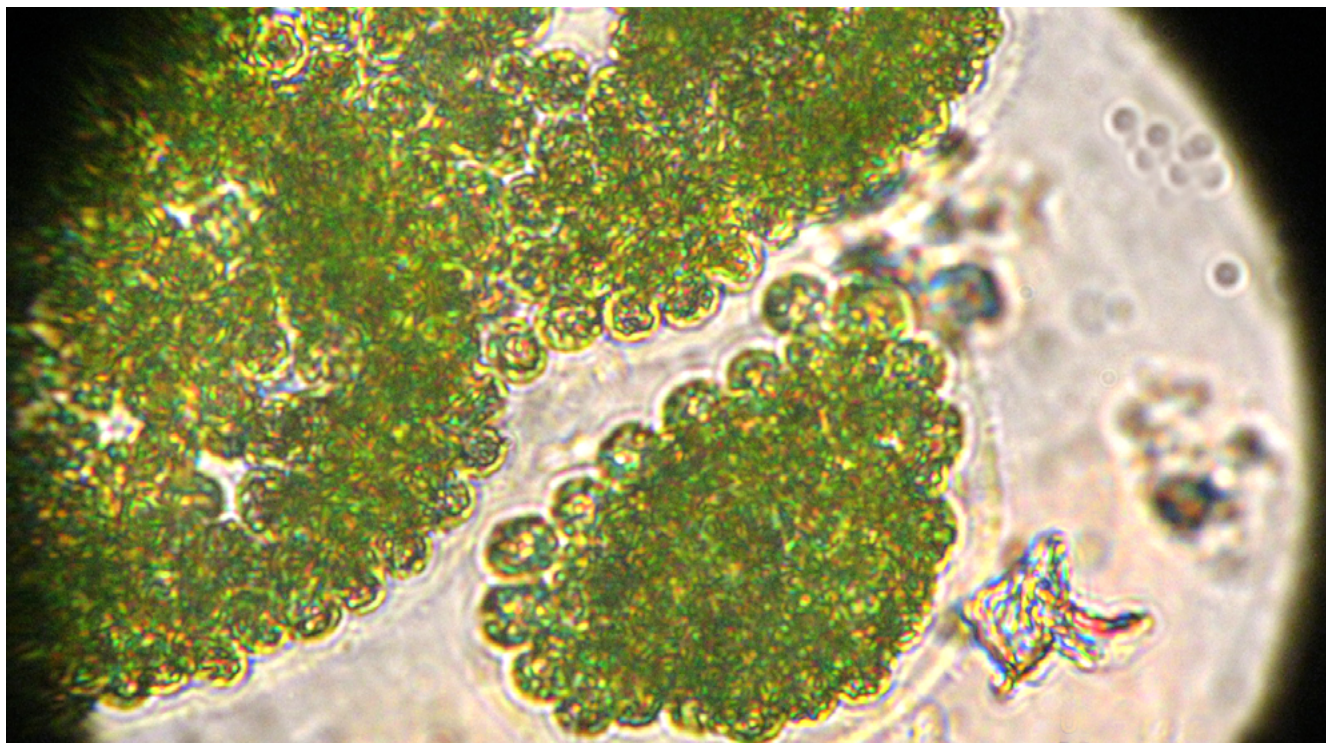


Fig. 3 *Microcystis aeruginosa*

Vista 10X

Fotografía: Menjívar, Rodolfo Fernando

Géneros	Tipo de toxina producida	Mecanismo de toxicidad
<i>Anabaena</i>	Microcistinas, anatoxina-a , anatoxina-a (s), saxitoxinas y cilindropermopsina	Bloquean: -La proteína y fosfatasas por enlace covalente y causan hemorragia del hígado; puede ocurrir daño acumulativo. -La despolarización post-sináptica. -La acetilcolinesterasa. -Los canales de sodio.
<i>Anabaenopsis</i>	Microcistinas	Bloquean la proteína y fosfatasas por enlace covalente y causan hemorragia del hígado; puede ocurrir daño acumulativo
<i>Aphanizomenon</i>	Anatoxina-a, saxitoxinas, y cilindropermopsina	Bloquean: -La despolarización post-sináptica. -Los canales de sodio.
<i>Cylindropermopsis</i>	Saxitoxinas y cilindropermopsina	Bloquean: -Los canales de sodio. -La síntesis proteica; toxicidad acumulativa sustancial.
<i>Hapalosiphon</i>	Microcistinas	Bloquean la proteína y fosfatasas por enlace covalente y causan hemorragia del hígado; puede ocurrir daño acumulativo.
<i>Lyngbya</i>	Saxitoxinas, Lingbiatoxina-a y Apliatoxina	Bloquean los canales de sodio.
<i>Microcystis Nodularia</i>	Microcistinas Nodularinas	Bloquean la proteína y fosfatasas por enlace covalente y causan hemorragia del hígado; puede ocurrir daño acumulativo.
<i>Nostoc</i>	Microcistinas	Bloquean la proteína y fosfatasas por enlace covalente y causan hemorragia del hígado; puede ocurrir daño acumulativo.
<i>Oscillatoria</i>	Microcistinas, Anatoxina-a, Lingbiatoxina-a y Apliatoxina	Bloquean: -La proteína y fosfatasas por enlace covalente y causan hemorragia del hígado; puede ocurrir daño acumulativo. -La despolarización post-sináptica.
<i>Phormidium</i>	Anatoxina-a	Bloquea la despolarización post-sináptica
<i>Planktothrix</i>	Microcistinas y Saxitoxina	Bloquean la proteína y fosfatasas por enlace covalente y causan hemorragia del hígado; puede ocurrir daño acumulativo.
<i>Raphidiopsis</i>	Anatoxina-a y cilindropermopsina	Bloquean: -La despolarización post-sináptica -La síntesis proteica; toxicidad acumulativa sustancial.
<i>Schizothrix</i>	Lingbiatoxina-a y Apliatoxina	Bloquean los canales de sodio.
<i>Synechocystis</i>	Microcistinas	Bloquean la proteína y fosfatasas por enlace covalente y causan hemorragia del hígado; puede ocurrir daño acumulativo.
<i>Umezakia</i>	Anatoxina-a y cilindropermopsina	Bloquean: -La despolarización post-sináptica -La síntesis proteica; toxicidad acumulativa sustancial.
<i>Woronichinia</i>	Microcistinas	Bloquean la proteína y fosfatasas por enlace covalente y causan hemorragia del hígado; puede ocurrir daño acumulativo.

Los dos factores principales que han demostrado afectar el aumento o disminución en la producción de toxinas son la temperatura y la luz. La temperatura óptima para la producción de toxinas es entre los 20 y 25°C, lo que sugiere que las cianobacterias son más tóxicas durante períodos de temperaturas cálidas y en áreas tropicales. La intensidad de la luz, es un factor importante en la producción de *Microcystis aeruginosa*. La toxicidad de esta cianobacteria aumenta, con un leve incremento de la intensidad de la luz, en 40 microeinstein/m² por segundo por tanto, la toxicidad decrece cuanto más profunda se encuentre la cianobacteria en el agua.

Existen cuatro formas principales de exposición de estas toxinas en los seres humanos: por ingestión oral, por contacto epidérmico y una forma de entrar en contacto poco probable pero que ha ocurrido que es la inyección intraperitoneal (Azevedo *et al.*, 2002) y por inhalación que está muy limitada a las exposiciones relacionadas con los deportes acuáticos (Cuadro 2).

El consumo de agua conteniendo cianobacterias influyen en el funcionamiento del cerebro, por lo que la ingesta de algunas especies de cianobacterias, puede provocar un estado de letargo o adormecimiento siendo más afectados los animales que utilizan de abrevadero las zonas que presentan grandes poblaciones de cianobacterias, los más comunes son los bovinos y equinos. El grado de toxicidad para otros organismos como aves, peces, algas y otras bacterias depende del grado de concentración lo que puede provocar la muerte tanto para la especie que ingiera la cianobacteria directamente, como para quien utilice a esta como alimento.

Cuadro 1. Géneros cianobacterianos potencialmente productores de toxinas. Extraído de (Codd *et al.*, 2005a). (Fuente: Carrasco Gata, D, 2007), readaptado y actualizado de Chorus *et al.*, (sf).

La mayoría de especies y cepas toxígenicas pertenecen a géneros filamentosos multicelulares: *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Aphanizomenon* y *Cylindrospermopsis* (Ramírez *et al.*, 2004). Una de las cianobacterias unicelulares que causa la mayoría de problemas de toxicidad es *Microcystis* causando un desequilibrio ecológico en el ambiente limnológico y en la salud humana (Espinoza Navarrete *et al.*, 2013).

Presencia de cianobacterias en El Salvador

En El Salvador se han reportado presencia de cianobacterias en el lago de Ilopango en 1993 (Rodríguez Canales, 1993) y Lago de Coatepeque en el 2012 (Espinoza-Navarrete *et al.*, 2013). Rodríguez Canales (1993), realizó en el Lago de Ilopango un estudio de dinámica poblacional de las cianobacterias durante la época seca y lluviosa en la cual se encontraron los siguientes géneros: *Oscillatoria*, *Microcystis* y *Anabaena*.

En septiembre de 2012 investigadores de Laboratorio de Toxinas Marinas de la Universidad de El Salvador (LABTOX-UES), monitorearon el fenómeno natural aparecido en el Lago de Coatepeque, Santa Ana, El Salvador, el cual causó un inusual color turquesa en el espejo de agua, y generó alarma entre la población. Los investigadores identificaron la cianobacteria *Microcystis aeruginosa* como la causante de la coloración turquesa en el espejo de agua (Espinoza-Navarrete *et al.*, 2013)

Cuadro 2. Algunos casos de intoxicación por cianobacterias en diferentes lugares del planeta.

Casos de intoxicación reportados en seres vivos		
Caso	Lugar y fecha	Especie de cianobacteria
Un afloramiento masivo de una cianobacteria en los ríos Ohio y Potomac causó enfermedades a 5000 – 8000 personas abastecidas de agua potable proveniente de estos ríos. El tratamiento de agua potable por precipitación, filtración y cloración no fue suficiente para eliminar las toxinas (Tisdale 1931, cit. Por WHO, 2003).	Estados Unidos, 1931.	<i>Microcystis</i>
Choque endotóxico de 23 pacientes de diálisis, se atribuye a un afloramiento de cianobacterias en un reservorio de agua potable (Hindman et al. 1975, cit. Por Chorus <i>et al.</i> , sf).	Estados Unidos, Washington D. C. 1975.	Sd.
El combate del afloramiento de una cianobacteria en un reservorio de agua potable en Palm Island con sulfato de cobre, lo cual conllevó a la liberación de toxinas de las células en el agua y por lo tanto, causó enfermedades graves (con hospitalización) a 141 personas abastecidas de este reservorio (Falconer 1993 y 1994, cit. Por WHO, 2003).	Australia, 1979	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>
Cerca de Malmö: el uso ilegal de agua de río no tratada en una fábrica de azúcar condujo a una conexión cruzada accidental con el abastecimiento de agua potable para un número incierto de horas. El agua del río estaba densamente poblada con una cianobacteria, y las muestras tomadas pocos días antes y pocos días después del incidente mostraron que estas cianobacterias contenían microcistinas. Un total de 121 de 304 habitantes del pueblo (así como algunos perros y gatos) se enfermaron con vómitos, diarrea, retortijones musculares, náuseas (Cronberg et al. 1997, cit. Por Chorus <i>et al.</i> , sf.)	Suecia, 1994	<i>Planktothrix agardhii</i>
Entre 10 a 20 soldados se enfermaron después de nadar y remar en canoa en el agua con un afloramiento significativo de una cianobacteria; dos de ellos contrajeron neumonía grave atribuida a la inhalación de una toxina de <i>Microcystis</i> y requirieron hospitalización y terapia intensiva (Turner et al. 1990, cit. Por Chorus <i>et al.</i> , sf.).	Inglaterra, 1989	<i>Microcystis spp</i>
Un total de 131 pacientes de diálisis estaban expuestos a microcistinas con el agua usada para la diálisis; 56 de ellos murieron. Al menos 44 de estas víctimas mostraron los típicos síntomas asociados con microcistina, ahora denominado "Síndrome de Caruaru", y el contenido de microcistina en el hígado correspondió al de los animales de laboratorio que habían recibido una dosis letal de microcistina (Carmichael, 1996; Jochimsen et al. 1998, cit. Por Chorus <i>et al.</i> , sf.).	Brasil, Caruaru, 1996	Sd.
Mortandad de 800 aves acuáticas fueron reportadas en el refugio, fue hasta el 2001 cuando se determinó la causa.	Parque Nacional de Doñana (S España), desde 1973.	<i>Microcystis aeruginosa</i>
Mortandad de aves acuáticas en la laguna pantanosa Lucio de las Piedras, este evento permitió analizar la causa de la muerte de las aves. (Mateos-Sanz, 2009)	Parque Nacional de Doñana (S España), Julio de 2001.	<i>Microcystis aeruginosa</i>
Mortandad de peces y aves, que acabó en agosto tras afectar a más de 5.500 aves de 47 especies distintas, entre las que se encontraban especies en peligro de extinción como <i>Marmaronetta angustirostris</i> y <i>Oxyura leucocephala</i> . Las necropsias de los cadáveres de las aves mostraron petequias y hemorragias intrahepáticas. (Costas y López-Rodas, 2006?)	Parque Nacional de Doñana (S España), Julio de 2004.	<i>Microcystis aeruginosa</i>
Veinte toneladas de peces murieron en solo 3 días en el caño del Guadamar. El agua presentaba una coloración azul-verdosa Esta es la primera vez que se reporta en Europa una mortandad de peces producida por saxitoxina en aguas dulces. (Costas y López-Rodas, 2006?)	Parque Nacional de Doñana (S España), Junio de 2005.	<i>Anabaena circinalis</i>

Sd.: Sin datos

Presencia de cianobacterias en los ríos Torola, Titihuapa y Jiboa, El Salvador

A continuación se reportan los primeros registros de colonias de cianobacterias en ríos Torola, Titihuapa y Jiboa, las cuales fueron fotografiadas *in situ* y posteriormente recolectadas para su identificación a nivel de laboratorio.

Río Torola, nace 10 km al norte del municipio el Lislique, departamento de La Unión, El Salvador, de la confluencia del río Lajitas y la quebrada Manzucupagua, posee una longitud de 102 km y desemboca en el río Lempa. El sitio donde se encontró la colonia de cianobacterias está situado en las aguas abajo del Puente Torola, Cantón la Joya, municipio de Meanguera, departamento de Morazán (Fig. 4 y 5) El sitio presenta un sustrato arenoso con abundantes rocas de tamaño pequeño a grandes, las rocas presentan abundante periphyton, la velocidad del agua es lenta, los vientos que existía en el sitio provocaba pequeñas corrientes moderadas en la superficie del río, el ancho del caudal en este sitio es de 46 m. En esta parte del río Torola se observó que es utilizado para abrevadero de ganado, (Fig. 6), recreación y usos domésticos como el lavado de ropa. En este sitio se encontró una colonia de cianobacterias en la ribera del río, adherida a una roca, la cual fue recolectada colocando un frasco de boca ancha cerca de ella, no hubo necesidad de aplicar presión para removerla ya que el efecto de vacío provocado por el frasco hizo que la colonia se deslizara hacia dentro del frasco, al cual se le añadió agua del río y la etiqueta con los datos de ubicación y fecha de recolecta



Fig. 4 Mapa de ubicación del sitio de recolecta, río Torola.



Fig. 5 Río Torola, aguas abajo del puente Torola.
 Fotografía: Estrada H., Rosa María



Fig. 6 Ganado abrevando en el río Torola.
Fotografía: Carlos Estrada Faggioli.

Río Titihuapa, nace de la confluencia de los ríos El Pezote, El Chiquito y Santa Cruz. Posee una longitud de 50.36 km y las aguas de este desembocan en el Embalse de la Presa 5 de Noviembre. Las colonias de cianobacterias fueron encontradas en los sitios denominados como 1 y 2 (Fig. 7).

El sitio 1 se encuentra en el catón Amatitán, municipio de San Esteban Catarina, departamento de San Vicente cuya elevación es de 192 msnm, en el lugar se observa un sustrato arenoso y abundantes rocas medianas a grandes, solo algunas presentaban periphyton (Fig. 8a). La velocidad del agua es lenta y dentro del río existe una abundancia de algas acuáticas, el ancho de este sitio es de 28 m. En el sitio 1 las colonias de cianobacterias no se podían apreciar a simple vista, al caminar dentro del río entre las algas acuáticas y agitarlas salieron a flote pequeñas colonias de cianobacterias aproximadamente de 2 cm cada una, por lo cual se comenzó a realizar la búsqueda de estas, removiendo las algas. Se recolectaron 4 colonias de cianobacterias, que fueron depositadas en un frasco que contenía el agua del río.

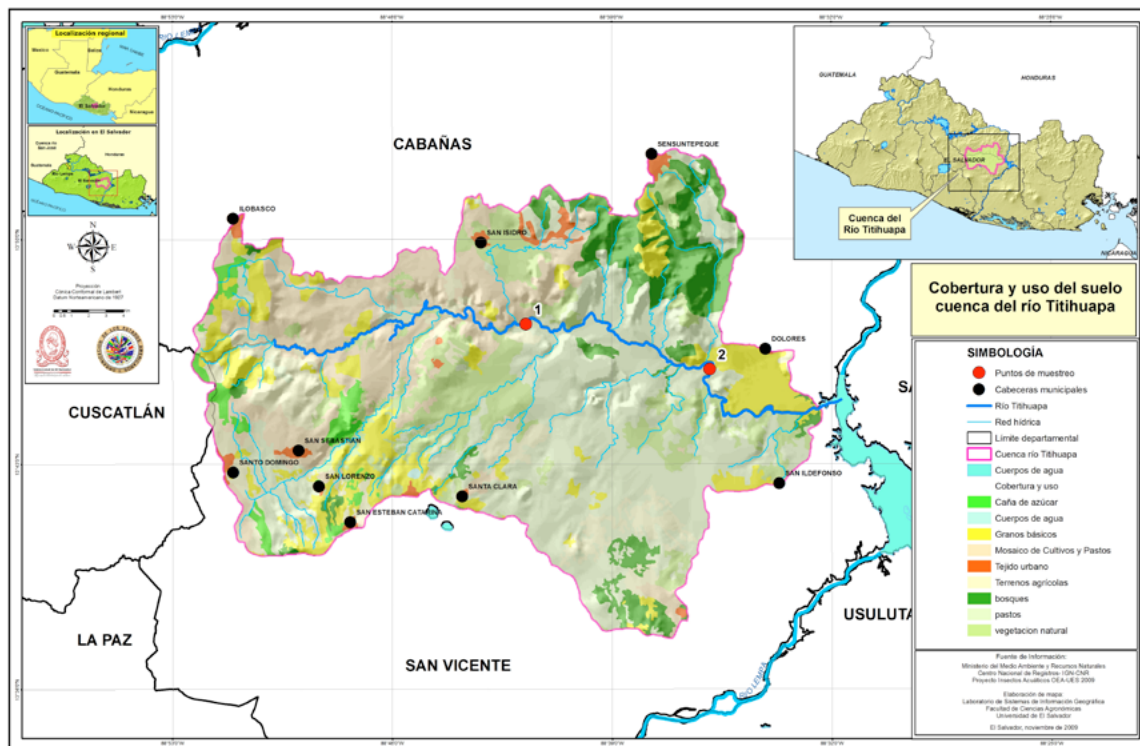


Fig. 7 Mapa de ubicación de los sitios de recolecta, río Titihuapa.



Fig.8 Sitios de recolecta río Titihuapa a) Sitio 1 Catón Amatitán, municipio de San Esteban Catarina, departamento de San Vicente; b) Sitio 2 caserío El Jiote, Cantón Caña Fístula, municipio de Dolores, departamento de Cabañas.
Fotografías: Carlos Estrada Faggioli.

El sitio 2 del río Titihuapa está ubicado en caserío El Jiote, Cantón Caña Fístula, municipio de Dolores, departamento de Cabañas, con una elevación de 54 msnm, presentando un sustrato endurecido, donde las rocas son de gran tamaño, y por la topografía del terreno se forman pozas y pequeños rápidos, las rocas presentan abundante periphyton, y dentro de las aguas del río se nota la presencia de algas acuáticas (Fig. 8b). La velocidad del agua es moderada, el ancho del caudal es de 12 m.

En este sitio la recolecta de las colonias de cianobacterias fue más sencilla, ya que se encontraban a simple vista, atrapadas en pequeñas pozas de 20cms de profundidad., donde formaban un masa de tipo gelatinosa, para lo cual con una cuchara se recolectaron y posteriormente se depositaron en un frasco plástico con agua del río.

Río Jiboa, nace en el municipio de San Rafael Cedros, departamento de Cuscatlán, El Salvador. Posee una longitud de 62.96 km y sus aguas desembocan en el océano pacífico. La velocidad del agua es lenta, el ancho del caudal es de 10.5 mts.

El sitio donde se encontró la colonia de cianobacterias está situado en el cantón Zacatales, municipio de Paraíso de Osorio, departamento de la Paz (Fig. 9), este sitio presenta un sustrato endurecido, donde las rocas son de gran tamaño y presentan abundante periphyton, y dentro de las aguas del río se nota la presencia de plantas acuáticas (Fig. 10). Las colonias de cianobacterias se encontraron a la orilla del río, las cuales fueron recolectadas con una cuchara en un frasco conteniendo agua del río.

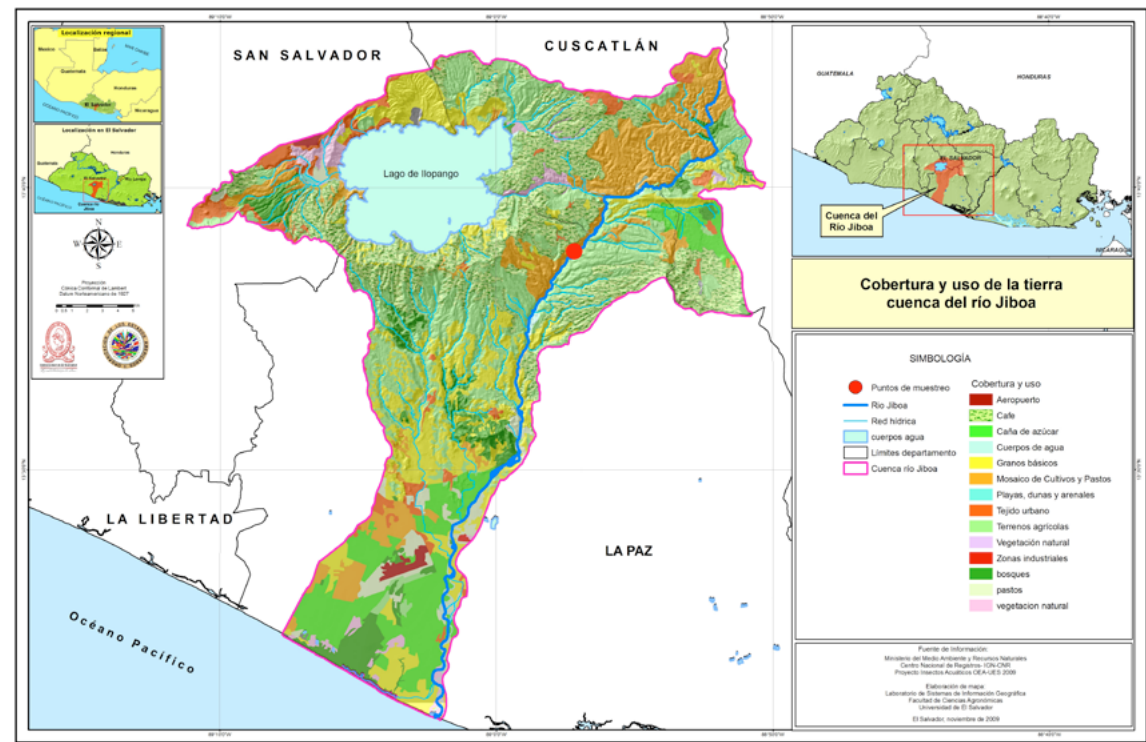


Fig. 9 Mapa de ubicación del sitio de recolecta, río Jiboa.



Fig. 10 Río Jiboa, cantón Zacatales, municipio de Paraíso de Osorio, departamento de la Paz. Fotografía: Estrada H., Rosa María

Identificación de las colonias

Cada una de las muestras recolectadas se transfirió por separado a una caja petri para su identificación. La toma de fotografías se realizó inicialmente con el microscopio estereoscópico a una magnitud de 8x (Fig.11). Posteriormente se desarrollaron preparaciones temporales de las muestras de colonias de cianobacterias, por la consistencia gelatinosa de las colonias de cianobacterias, se maceró un pequeño trozo de esta con agua del río que contenía la muestra, posteriormente se tomó con un gotero una muestra de la preparación para realizar la preparación temporal.

De cada una de las muestras se realizaron 3 preparaciones temporales, las cuales fueron observadas y fotografiadas a 4X, 10X y 40X, para la clasificación del tipo de cianobacterias.

Resultados

De las muestras recolectadas y procesadas se registraron 6 géneros de cianobacterias de acuerdo a los sitios de recolecta (Cuadro 3).

Cuadro 3. Presencia de cianobacterias en los sitios de recolecta en El Salvador.

Sitio de recolecta	Tipo de cianobacterias identificadas
Río Torola	<i>Nostochopsis lobatus</i>
Río Titihuapa, Sitio No. 1	<i>Oscillatoria</i>
Río Titihuapa, Sitio No. 2	<i>Nostoc</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Gloeotrichia cf. echinulata</i>
Río Jiboa	<i>Oscillatoria</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Chroococcus</i>

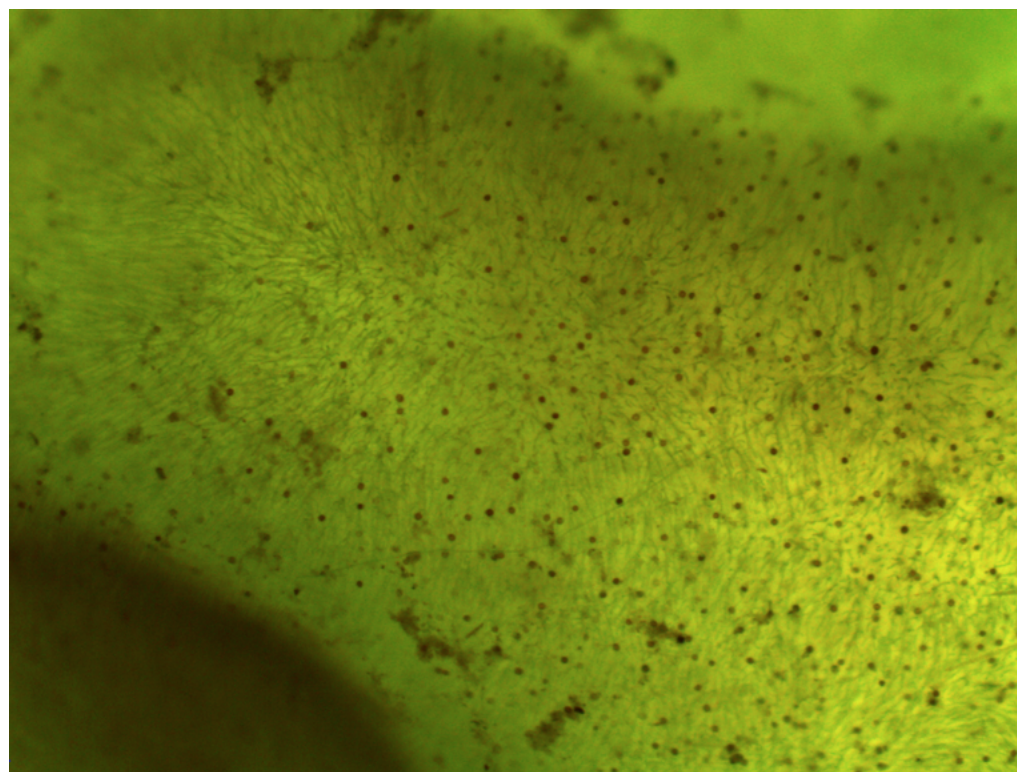


Fig.11 *Nostochopsis lobatus* Fotografiado en microscopio estereoscópico a una magnitud de 8X
Fotografía: Carlos Estrada Faggioli

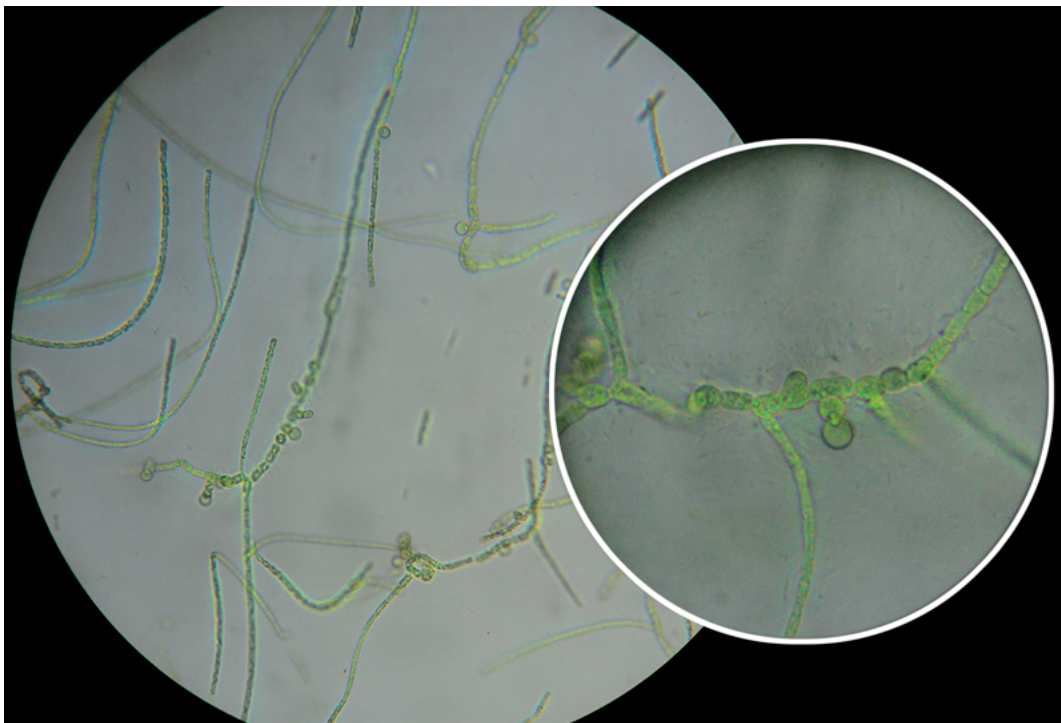


Fig. 12 *Nostochopsis lobatus*, a la izquierda vista 10X y a la derecha vista a 40X

Orden: Nostocales

Familia: Hapalosiphonaceae

Género: *Nostochopsis*

Especie: *lobatus*

Fotografías: Estrada H., Rosa María

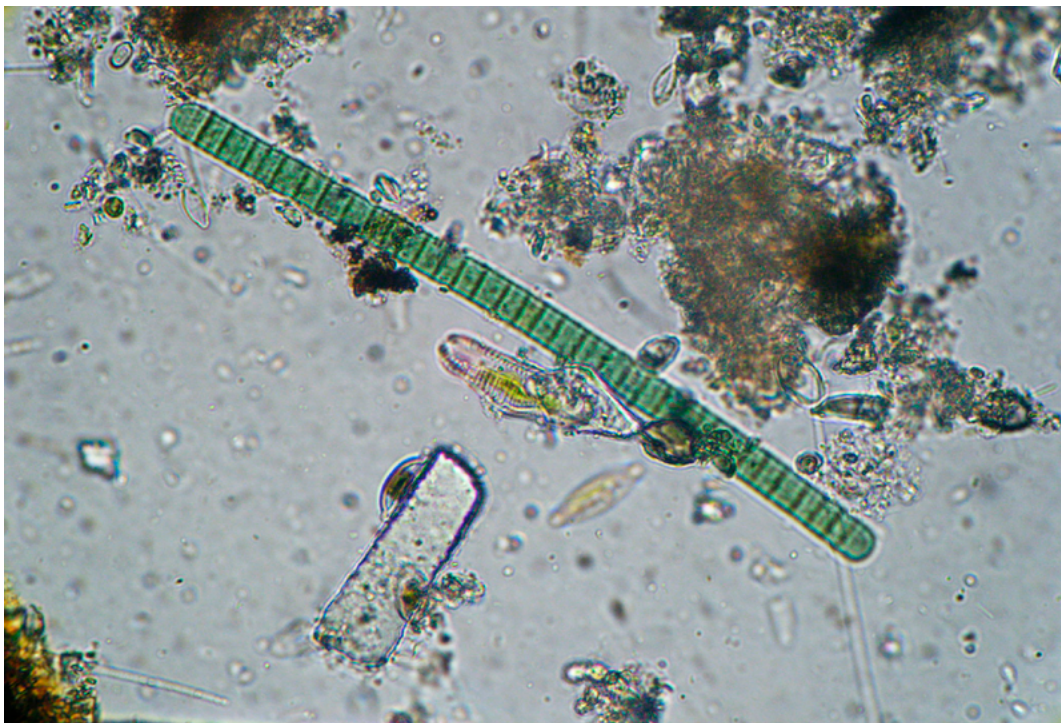


Fig. 13 *Oscillatoria* sp. vista a 40X

Orden: Oscillatoriales

Familia: *Oscillatoriaceae*

Género: *Oscillatoria*

Fotografía: Menjívar, Rodolfo Fernando

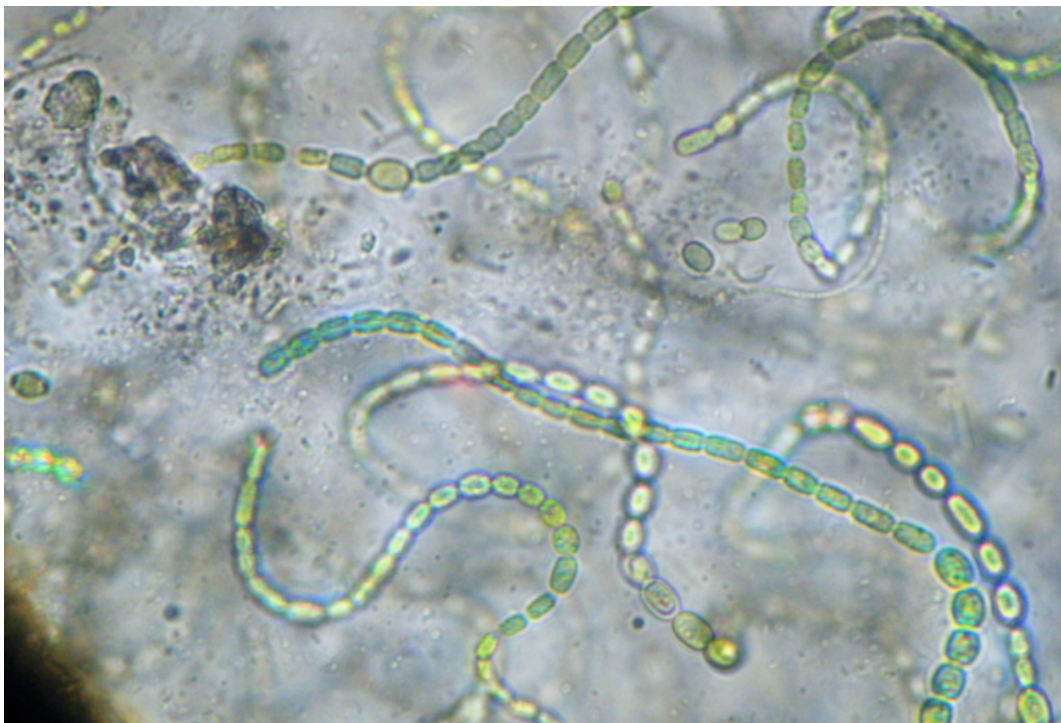


Fig. 14 *Anabaena* sp. vista a 40X

Orden: Nostocales

Familia: Nostocaceae

Género: *Anabaena*

Fotografía: Menjívar, Rodolfo Fernando



Fig. 15 *Nostoc* sp. vista a 40X

Orden: Nostocales

Familia: Hapalosiphonaceae

Género: *Nostoc*

Fotografía: Menjívar, Rodolfo Fernando

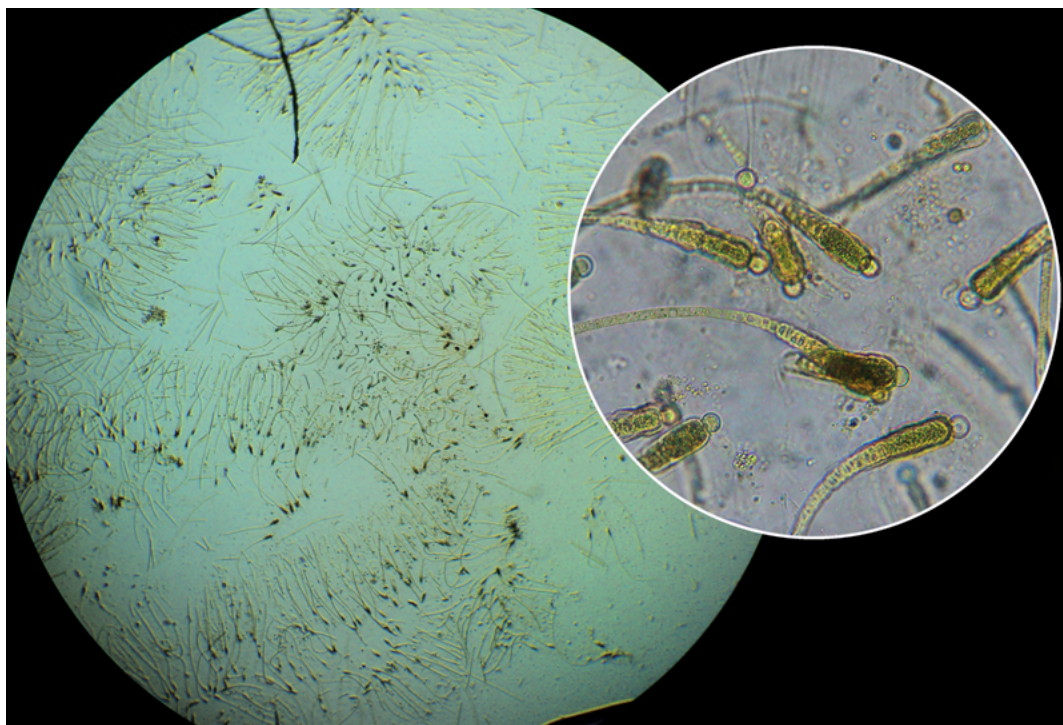


Fig. 16 Fotografía *Gloeotrichia* cf. *echinulata*, a la izquierda vista a 4X y a la derecha vista a 40X

Orden: Nosotocales

Familia: Rivulariaceae

Género: *Gloeotrichia*

Especie: *echinulata*

Fotografías: Estrada H., Rosa María



Fig. 17 *Chroococcus* sp. vista a 40X

Orden: Chroococcales

Familia: Chroococcaceae

Género: *Chroococcus*

Fotografía: Menjívar, Rodolfo Fernando

Discusión de resultados

En los sitios de recolecta de las cianobacterias se observó que las colonias de estas se encuentran dispersas y no forman natas o cúmulos en las orillas del río. No por eso se debe descartar que estas puedan formar colonias más grandes, al contar con las condiciones idóneas para su desarrollo y multiplicación. Pueden extenderse a otras locaciones del río o ser desplazadas por las condiciones ambientales como el viento y las fuertes corrientes de agua provocadas por las lluvias. Ya que según Chorus *et al.* (sf.), existen algunos casos en que los vientos livianos conducen las colonias a las costas y bahías de sotavento, donde forman natas, en casos extremos, estas aglomeraciones pueden tornarse muy densas e incluso, adquirir una consistencia gelatinosa, con mayor frecuencia, se ven como rayas o natas viscosas que incluso pueden asemejarse a la pintura o jalea verde-azulada, esta situación puede cambiar rápidamente, incluso en horas.

En las cianobacterias desde el punto de vista de salud pública, el rol de las cianotoxinas es un tema de mucha importancia a nivel mundial, se desconoce los cambios de toxicidad entre las especies de cada cepa, ya que muchas especies de cianobacterias pueden sintetizar una gran variedad de toxinas que son capaces de causar la muerte en seres humanos, por lo cual en El Salvador se debe investigar integralmente las cianobacterias en cuerpos de agua, tal como lo sugiere Espinoza Navarrete *et al.*, 2013.

En El Salvador los estudios de cianobacterias en los cuerpos de agua son escasos, se desconoce sobre las posibles especies existentes, el grado de concentración de las toxinas que presentan y el tamaño de las poblaciones de cianobacterias que se pueden encontrar no solo en los cuerpos de agua lénticos, lóticos y marinos sino también en las cañerías de transporte de agua y en los sitios de recreación. En otros países se cuenta con mucha información acerca

de las cianobacterias y sus efectos perjudiciales en la salud, aunque todavía no se ha determinado que todas las especies de cianobacterias producen tales efectos.

Bibliografía

- Braga, M.N. s.a.** Tóxicos de origen bacteriano – Microcistinas. Disponible en: <http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/ciano/cianobacterias.html>
- Carrasco Gata, D. 2007.** Cianobacterias Planctónicas y Cianotoxinas en embalses españoles (Memoria presentada para optar al Grado de Doctor en Ciencias Biológicas). Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Disponible en: http://cianotoxinas.unizar.es/bibliografia/6/Carrasco_D.pdf
- Chorus, I; Falconer, IR; Salas, HJ y Bartram, J. sf.** RIESGOS A LA SALUD CAUSADOS POR CIANOBACTERIAS Y ALGAS DE AGUA DULCE EN AGUAS RECREACIONALES. sl. Consultado 7 may 2013. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org>
- Costas, E y López-Rodas, V. 2006?** CIANOBACTERIAS TÓXICAS Y MORTANDADES MASIVAS EN EL PARQUE NACIONAL DE DOÑANA: RED DE ALERTA TEMPRANA Y ESTRATEGIAS DE GESTIÓN. España. Consultado 7 may 2013. Disponible en <http://www.magrama.gob.es>
- Dobal Amador, V; Loza Álvarez, S y Lugiyo Gallardo, GM. 2011.** Potencialidades de las cianobacterias planctónicas como bioindicadores de estrés ambiental en ecosistemas costeros. No. 9. Ciudad Habana, Cuba. Consultado 7 may 2013. Disponible en <http://oceanologia.redciencia.cu>
- Espinoza Navarrete, JJ; Amaya Monterrosa, OA; Rivera Torres, WE; Ruiz Rodríguez, GA y Escobar Muñoz, JD. 2013.** “Intensa proliferación de Cianobacterias en el Lago de Coatepeque, Santa Ana; ensayos de toxinas paralizantes y organismos causantes”, San Salvador, SV. Bioma 1(4): 43-46.

Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2013. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; consultado 13 May 2013. Disponible en <http://www.algaebase.org>

Mateos-Sanz, MA; Carrera, D; López-Rodas, V y Costas, E. 2009. TOXIC CYANOBACTERIA AND WILDLIFE CONSERVATION: PROPOSAL OF A PROCEDURE TO DEMONSTRATE WATERBIRD MASS MORTALITIES BY MYCROCYSTIN. Universidad Complutense de Madrid, ES. 6 p. Consultado 5 may 2013. Disponible en <http://www.biolveg.uma.es>

Moreno Ruiz, JL. 2000. ORGANISMOS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA Y DE LA CONTAMINACIÓN (BIOINDICADORES). G de la Lanza Espino, S Hernández Pulido y JL Carbajal Pérez. México. Plaza y Valdéz, S. A. de C. V. p.55.

Ramírez, P; Martínez, E; Martínez, M D; Eslava, C. 2004. Microbiología ambiental. I Rosas, A Cravioto y E Ezcurra. México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. p.83-101.

Rodríguez Canales, JA. 1993. Dinámica poblacional de cianochlorontas en las áreas de “Cutemana” y “Asino” del lago de Ilopango. Tesis Licenciatura. Universidad de El Salvador. 76 p.

World Health Organization (WHO). 2003. Guidelines for safe recreational water environments: Coastal and fresh waters. Vol.1. Geneva, Suiza. Consultado 12 may 2013. Disponible en <http://whqlibdoc.who.int/publications/2003/9241545801.pdf>

Z. Branco LE; Necchi, Ojr y Z. Branco, CC. 2001. Ecological distribution of Cyanophyceae in lotic ecosystems of São Paulo State. V.24, n.1. São Paulo, BR. p.99-108. Consultado 10 may 2013. Disponible en <http://www.scielo.br>