

## Primer registro de un florecimiento algal en la laguna “La Salina” en Bajos de Coyula (Oaxaca)

Ma. Nieves Trujillo Tapia<sup>1</sup>, Berenice Méndez Cruz<sup>2</sup>, Víctor A. Cervantes Urieta<sup>3</sup> & Eustacio Ramírez Fuentes<sup>4\*</sup>

### Resumen

“La Salina” es una laguna costera ubicada en la comunidad de Bajos de Coyula, Oaxaca; se encuentra dentro del sitio RAMSAR 1321, su saneamiento y restauración constituyen prioridades para la conservación del patrimonio natural del Estado de Oaxaca. En febrero del 2016, en “La Salina” se presentó un cambio de coloración del agua; por lo anterior, a petición de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y del Parque Nacional Huatulco, miembros del grupo de Biotecnología Ambiental de la UMAR, acudieron al sitio para establecer la posible causa que provocó el cambio de color. Se tomaron muestras del agua para analizar la concentración de nutrientes, los parámetros físico-químicos y microbiológicos; así como el análisis fitoplanctónico. Con base en los resultados obtenidos, el género de cianobacteria *Synechocystis* sp. presentó la mayor densidad celular  $1.4 \times 10^5$  células  $\text{mL}^{-1}$ , y aunado a la elevada salinidad del agua con 35 ups, así como a la baja concentración de amonio, nitratos y fósforo (0.55, 8.6 y  $15.78 \mu\text{M}$ , respectivamente), consideramos que la ciano-

### Abstract

“La Salina” is a coastal lagoon located in the community of Bajos de Coyula, Oaxaca, is part of the RAMSAR 1321 site, its sanitation and restoration are priorities for the conservation of the natural heritage of the State of Oaxaca. In February 2016, a change in water coloring in “La Salina” was presented. At the request of the National Commission of Natural Protected Areas and the Huatulco National Park, members of Environmental Biotechnology group of the UMAR, visited the site to observe the natural phenomenon and establish the possible cause of the color change. Samples were taken from the water to analyze the nutrient concentration, the physico-chemical and microbiological parameters, as well as the phytoplankton analysis. Based on the results obtained, the cyanobacterial genus *Synechocystis* sp. presented the highest cellular density  $1.4 \times 10^5$  cells  $\text{mL}^{-1}$ , and added to the high salinity of the water with 35 ups, as well as the low concentration of ammonium, nitrates and phosphorus (0.55, 8.6 and  $15.78 \mu\text{M}$ , respectively), we consider that the cyanobacteria *Synechocystis* sp,

<sup>1</sup> Instituto de Ecología, Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, 70902, Pochutla, Oaxaca.

<sup>2</sup> Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, 70902, Pochutla, Oaxaca, México.

<sup>3</sup> Licenciatura en Ciencias Ambientales. Laboratorio de Biotecnología e Impacto Ambiental, Escuela Superior de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Cayaco-Puerto Marqués Ejido Llano Largo 56, 57 y 58, Acapulco, Guerrero, México.

<sup>4</sup> Instituto de Recursos, Laboratorio de Biotecnología Ambiental, Universidad del Mar, Universidad del Mar campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, 70902, Pochutla, Oaxaca, México.

\*Autor para correspondencia: eustacio@angel.umar.mx (ERF)

bacteria *Synechocystis* sp. es la responsable del cambio de coloración del agua. El reporte da a conocer las condiciones ambientales en las cuales el florecimiento algal tuvo lugar y provocó el cambio de color del agua; con ello, pretendemos despertar el interés de investigadores, autoridades, comuneros y dependencias de gobierno para implementar un programa multidisciplinario de investigación de "La Salina".

**Palabras clave:** florecimiento, cianobacteria, *Synechocystis* sp., salinidad, nutrientes, monitoreo.

is responsible for the change in water color. The report is the first record and discloses the environmental conditions in which the algal bloom took place and caused the water color change; with this, we intend to awaken the interest of researchers, authorities, community members, government agencies, to implement a multidisciplinary research program of "La Salina".

**Key words:** blooms, cyanobacteria, *Synechocystis* sp., salinity, nutrients, monitoring.

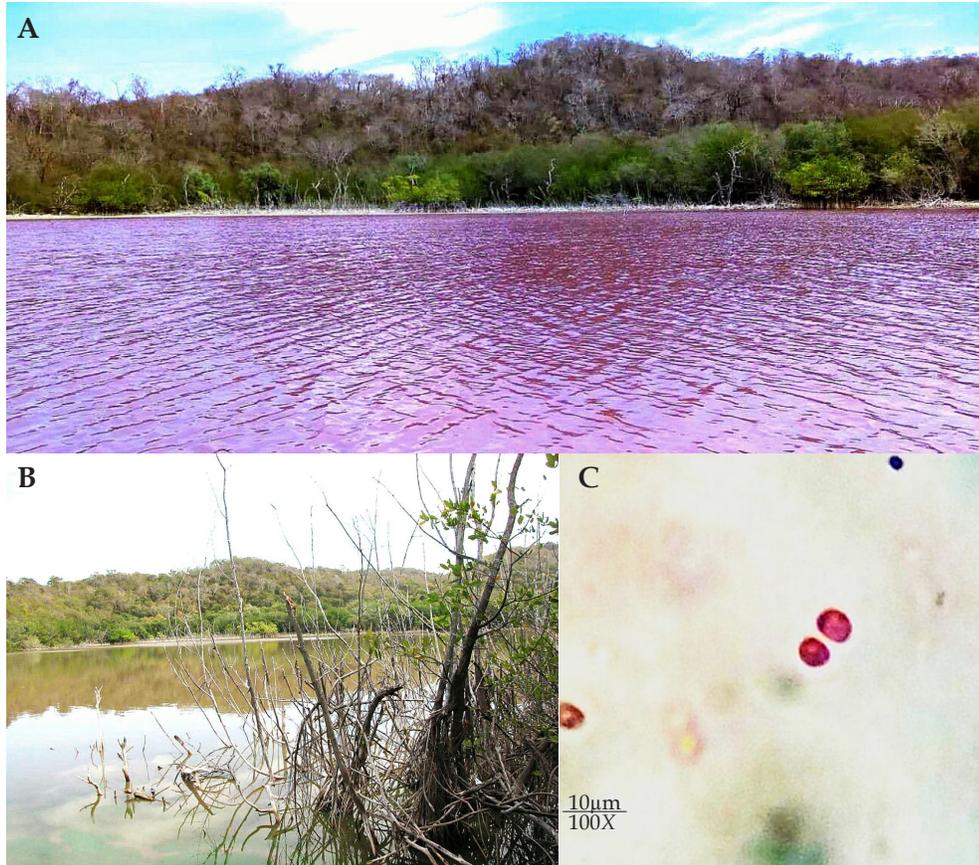
## Introducción

"La Salina" es una laguna costera perteneciente a la comunidad de Bajos de Coyula, Oaxaca, con una ubicación de 15°41'52.58"N, 96°17'26.31"O; cuenta con una superficie total de 131.6 ha, de las cuales 79.1 ha corresponden al bosque de manglar (rojo, blanco, negro y botoncillo), a la selva mediana caducifolia y subcaducifolia; 52.5 ha del cuerpo de agua. "La Salina" forma parte del sitio Ramsar 1321 "Cuencas y corales de la zona costera de Huatulco", su saneamiento y restauración constituyen prioridades para la conservación del patrimonio natural del Estado de Oaxaca (CONANP 2015).

En el mes de febrero de 2016 se reportó un cambio en la coloración del agua de "La Salina", ésta se tornó rosa cuando normalmente no lo es (Figuras 1A y 1B). Por tal motivo, a petición de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y del Parque Nacional Huatulco (PNH), miembros del grupo de Biotecnología Ambiental de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Mar (UMAR), se trasladaron al sitio para tomar muestras de agua de "La Salina". El muestreo consistió en seleccionar cinco puntos de muestreo: tres en el cuerpo de la laguna y dos en la orilla. La muestra de agua para la determinación de nutrientes se depositó en botes de polietileno de 1 L, previamente lavados y desinfectados; para el análisis microbiológico (coliformes fecales) se tomó muestra de

agua en frascos de vidrio de 200 mL, estériles. Ambos tipos de muestras se colocaron inmediatamente en hielo y se llevaron al laboratorio de Biotecnología de Ingeniería Ambiental para los análisis correspondientes. *In situ* se registró la temperatura y parámetros químicos del agua: pH, saturación de oxígeno disuelto (OD) y sólidos totales, con un medidor multiparamétrico (Hanna instruments HI 9829), el cual fue previamente calibrado según la recomendación del fabricante; la salinidad se midió con un refractómetro de campo (sperscientific REF 212).

Para la determinación de nutrientes se emplearon las siguientes técnicas: los nitratos, por el método de reducción por columnas Cd-Cu, y el amonio por el método de azul de indofenol (Keeney & Nelson 1972); para el fósforo, se utilizó el método del ácido ascórbico-molibdato (Murphy & Riley 1962). La determinación de coliformes fue por el método del Número Más Probable (NMP /100 ml), con base en el método de prueba CCAYAC-M-004 (SSA 2006). Por último, se realizaron un análisis fitoplanctónico cualitativo y cuantitativo: para el análisis cualitativo se tomaron en cuenta las características morfológicas de las especies más abundantes, realizando una búsqueda en Algaebase.org, y en literatura especializada para la identificación (Alonso *et al.* 2008, Gárate-Lizárraga *et al.* 2001); el análisis cuantitativo se llevó a cabo mediante conteos directos en cámara de Neubauer y poder determinar la densidad



**Figura 1.** A) Coloración rosa en la laguna “La Salina”, Bajos de Coyula, Oaxaca; durante el florecimiento en el mes de febrero 2016. B) Coloración natural de la laguna “La Salina”, Bajos de Coyula, Oaxaca; en el mes de octubre 2015. C) Cianobacteria *Synechocystis* sp. causante del florecimiento. Fotos: (A y B: ERF); (C: VACU).

celular de la posible especie algal causante del florecimiento con base en lo propuesto por Karlson *et al.* (2010).

De acuerdo con los resultados del análisis de nutrientes en “La Salina”, la concentración de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y fósforo (P) disponible fue en promedio 0.55, 8.6 y 15.78  $\mu\text{M}$  (respectivamente); los valores son bajos comparados a los reportados por De la Lanza *et al.* (2008) y González-Sansón *et al.* (2014), con un valor promedio de  $\text{NH}_4^+$  124.6  $\mu\text{M}$  y 27.4  $\mu\text{M}$  para el P, en la laguna de Tres Palos (Guerrero), y 33.4  $\mu\text{M}$  para  $\text{NO}_3^-$  en la laguna Barra de Navidad (Jalisco), ambas clasificadas como lagunas costeras eutrofizadas.

Los valores obtenidos *in situ* de los parámetros químicos del agua (Tabla I), cabe

destacar que el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto (OD) en toda la laguna es muy bajo; las variaciones que se registraron fueron debido a la profundidad y hora del día en que se tomó la lectura. El valor más alto de saturación de OD (16.5%) fue cinco veces menos del valor promedio reportado para lagunas de Yucatán, de aproximadamente 92% (Álvarez-Góngora & Herrera-Silveira 2006). La baja concentración de oxígeno en el agua (Hipoxia) provoca la muerte de peces y genera problemas en la cadena trófica, incluyendo a los pescadores de la comunidad, al disminuir su fuente de alimento y de ingresos. Con respecto a la temperatura del agua, ésta osciló entre los 22 y 31°C y varió de acuerdo a la hora del día y la profundidad de la columna de agua. El pH del agua fue medianamente

alcalino (7.5-8.5) en todas las muestras y gracias a su capacidad tampón (de amortiguación o regulación) es considerado un valor normal en aguas naturales (Leyva 2001). La salinidad en la laguna fue de 35 unidades prácticas de salinidad (ups), de acuerdo a Carricker (1967) -tomado de [http://www.coastalwiki.org/wiki/Estuarine\\_ecosystems-](http://www.coastalwiki.org/wiki/Estuarine_ecosystems-), se clasifica como euhalina. Varona-Cordero & Gutiérrez-Mendieta (2003) reportaron en el sistema lagunar de Carretas-Pereyra y Chantuto-Panzacola (Chiapas) valores cercanos con 28 y 25 ups (respectivamente) en la temporada seca de noviembre-abril. La alta concentración de sales (35 ups) se debió a que "La Salina" tiene una boca barra que permaneció cerrada durante 5 años (comunicación personal de Eugenio Villanueva), sin intercambio con el agua de mar, aunado a la escasa profundidad (Tabla I) y alta temperatura (31°C), favoreció un rápido calentamiento y evaporación de la columna de agua.

Con respecto al análisis microbiológico, en las muestras de agua, se comprobó la presencia de coliformes; sin embargo, la

concentración de <3 NMP/100 mL de agua se encuentra muy por debajo del Límite Máximo Permisible (1000-2000 NMP /100 mL) para aguas costeras (SEMARNAP-INE 2000). Si bien, la determinación de coliformes en el agua no está relacionada directamente con el cambio de color del agua, es un análisis de rutina para establecer criterios de calidad del agua.

Por otro lado, el análisis fitoplanctónico demostró la presencia de tres clases algales en la laguna "La Salina": la clase Cyanophyceae presentó la mayor densidad celular con  $1.4 \times 10^5$  células mL<sup>-1</sup> representada por un solo género correspondiente a *Synechocystis* sp. (Figura 1C); la segunda clase algal presente fue para las Bacillariophyceae, representado por los géneros *Navicula* sp. y *Amphora* sp. con una densidad celular total de  $8 \times 10^3$  células mL<sup>-1</sup>; la tercer clase presente fue la Chlorophyceae del género *Dunaliella* sp. con una densidad de  $3 \times 10^3$  células mL<sup>-1</sup>. Los resultados anteriores pueden ayudar a conocer la probable causa en la alteración del color en el cuerpo de agua de "La Salina", ya que la alta densidad celular de

**Tabla I.** Registro de los parámetros físico-químicos de muestras de agua de la laguna "La Salina" en Bajos de Coyula, Oaxaca.

Muestra	Salinidad (ups)	pH	OD (%)	Temp. (°C)	Prof. (m)	Hora
<b>24 de febrero 2016</b>						
1a	35*	7.94	< 8.5%	31.98	0.5	15:15
2a		8.17	4.1%	31.16	<0.3	15:45
<b>27 de febrero 2016</b>						
1b	35*	7.58	7.2%	24.59	<0.3	9:55
2b		7.87	8.3%	25.79	<0.3	10:45
3b		8.18	16.1%	24.55	0.5	11:15
5b		8.37	16.5%	22.75	2	12:05
6b		8.21	3.4%	22.56	1	12:15
7b		8.07	5.3%	24.85	1	12:25

\* valor registrado para la laguna, OD= oxígeno disuelto, Temp.= temperatura, Prof.= profundidad. Las letras a y b únicamente se refieren al día de muestreo.

la cianobacteria *Synechocystis* sp. fue la mayor representada entre clases; aunado a esto, se ha reportado que este género de cianobacteria produce carotenoides, principalmente  $\beta$ -carotenos ante un estrés salino y otros factores abióticos como la irradiación lumínica, temperatura, adaptación cromática y limitación de nutrientes; los  $\beta$ -carotenos se convierten en astaxantina a través de  $\beta$ -caroteno oxigenasa (CRTO) y  $\beta$ -caroteno hidroxilasa (CRTR-B), por ello, la pigmentación se acumula en vesículas lipídicas fuera del cloroplasto (Grünwald *et al.* 2001, Paliwal *et al.* 2017), lo cual puede explicar el fenómeno de coloración rosada del agua de la laguna “La Salina”.

Con este primer reporte pretendemos dar a conocer las condiciones ambientales en las que se encuentra “La Salina” y podamos despertar el interés de los investigadores, comuneros, autoridades municipales, organizaciones civiles, dependencias del gobierno y comunidad en general para poner atención a este cuerpo de agua y no esperar a que nuevamente se presente un fenómeno natural para que llame nuestra atención. Desafortunadamente se carece de registros de la flora y fauna acuática presentes en “La Salina”, así como de las características físico-químicas del agua en meses y años anteriores. Es necesaria y prioritaria la investigación multidisciplinaria que incluya aspectos ecológicos, biológicos, ambientales, hidrológicos, sociales, entre otros, y se pueda implementar un programa de monitoreo en el lugar.

### Agradecimientos

Al Sr. Filogonio del Comisariado Ejidal de Bajos de Coyula y Sr. Ricardo Blas V., presidente de la cooperativa Binnizado, por el apoyo con la lancha y el acceso a la laguna; a Eustacio Ramírez Trujillo (ERT) por las fotografías, a Carmine Fusaro y Margarita Mejía, por el apoyo para la toma de muestras y análisis en el laboratorio (respectivamente). A dos revisores anónimos, por sus acertadas observaciones, las cuales contribuyeron a mejorar el manuscrito.

### Referencias

- Alonso-Rodríguez, R., D. Hernández-Becerril & I. Gárate-Lizárraga. 2008. Catálogo de microalgas de las lagunas costeras de Sinaloa. Instituto del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 198 p.
- Álvarez-Góngora, C. & J. A. Herrera-Silveira. 2006. Variations of phytoplankton community structure related to water quality trends in a tropical karstic coastal zone. *Marine Pollution Bulletin*. 52: 48-60.
- CONANP. 2015. Manglares de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.
- De la Lanza-Espino, G., J. Durán, J. L. Moreno-Ruíz & S. Hernández-Pulido. 2008. Análisis químico-biológico para determinar el estatus trófico de la Laguna de Tres palos, Guerrero, México. *Hidrobiología*. 18(1): 21-30.
- Gárate-Lizárraga, I., G. Verdugo Díaz & D. A. Siqueiros-Beltrones. 2001. Variations in phytoplankton assemblages during 1988-1989 in a subtropical lagoon system on the west coast of México. *Oceánides*, 16(1):1-16.
- González-Sansón G., Aguilar-Betancourt C., Kosonoy-Aceves D., Lucano-Ramírez G., Ruiz-Ramírez S., Flores-Ortega J.R., Hinojosa-Larios A. & Silva-Bátiz F. de A. 2014. Composición por especies y tallas de los peces en la laguna Barra de Navidad, Pacífico central mexicano. *Rev. Biol. Trop.* 62(1): 129-144.
- Grünwald, K., J. Hirschberg & C. Hagen. 2001. Ketocarotenid biosynthesis outside of plastidis in the cellular green alga *Haematococcus pluvialis*. *J. Biol Chem.* 276:6023-6029.
- <http://www.algaebase.org/> . Consultada el 04-marzo-2018.
- [http://www.coastalwiki.org/wiki/Estuarine\\_ecosystems](http://www.coastalwiki.org/wiki/Estuarine_ecosystems). Consultada el 18-abril-2018
- Instituto Nacional de Ecología, Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. 2000. La calidad del agua en los ecosistemas costeros de México. 407 pp
- Karlson, B., C. Cusack & E. Bresnan. 2010. Microscopic and molecular methods for quantitative Phytoplankton analysis. UNESCO
- Keeney, D. R. & D. W. Nelson. 1982. Nitrogen-Inorganic forms. In: *Methods of Soil Analysis part 2: Chemical and microbiological properties*, Page A.L., Miller R. H., Keeney D. R. (eds). American Society of Agronomy, Madison. 2<sup>nd</sup> ed. pp. 643-698.
- Leyva, P. 2001. El Medio Ambiente en Colombia. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM). República de Colombia.
- Murphy, J. & J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27:31-36.
- Paliwal, C., M. Mitra, K. Bhayani, S. Bharadwaj, T. Ghosh, S. Dubey & S. Mishra. 2017. Abiotic stresses as tools for metabolites in microalgae. *Bioresource Technology*, 2: 1216-1226.
- SSA (2006). Método de prueba CCAYAC-M-004. Estimación de la densidad microbiana por la técnica del número más probable (NMP), detección de coliformes totales,

coliformes fecales y *Escherichia coli* por NMP. Secretaría de Salud. Diario Oficial de la Federación. 07 de marzo de 2006.

Varona-Cordero F. & F. J. Gutiérrez-Mendieta. 2003. Estudio multivariado de la fluctuación espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica en dos lagunas costeras del estado de Chiapas. *Hidrobiológica*. 13(3): 177-194.

**Recibido:** 09 de marzo de 2018

**Aceptado:** 25 de abril de 2018