

# Análisis de la coloración rosa en la Laguna Manialtepec, Oaxaca, México

Alejandra Torres-Ariño<sup>1,2\*</sup>, Luis Adolfo Pérez-Pérez<sup>3</sup>, Carmen Elisa Rito-Ruiz<sup>2,3</sup>, Alexis Luna-Hernández<sup>2,3</sup>, María Donají Velasco-Hernández<sup>3</sup>, Lorenzo Israel Ramos-Espejel<sup>3</sup> & José Eduardo Herrera-Galindo<sup>1</sup>

## Resumen

**La Laguna Manialtepec, presenta comunicación intermitente con sus dos bocabarras y es un sitio de importancia ecológica.** En octubre de 2019 se presentó una coloración atípica del agua en este sitio, tornándose de un color verde olivo a rosa fucsia, por lo que se realizaron dos muestreos para determinar la posible causa. El cambio de coloración se debió a una proliferación de bacterias púrpuras con una densidad de  $183 \times 10^3$  células/ml, presencia de bacterioclorofilas y carotenoides, típicos de dichas bacterias. No se observaron dinoflagelados, rotíferos ni copépodos, característicos de otras temporadas, solo bacterias heterótrofas, cianobacterias y diatomeas. Se evidenció un incremento de la salinidad de 4-8 ups (en marzo 2019) a 20-30 ups (en octubre 2019). Es probable que la combinación de condiciones meteorológicas y variables fisicoquímicas (salinidad, temperatura y oxígeno disuelto), además de un cambio en la estratificación del agua, remoción o mezcla de los fondos por las aperturas de las bocabarras e incremento de la salinidad se conjuntaran para provocar dicha proliferación que por su oxidación durante la fase de decaimiento propició anoxia ocasionando la muerte de peces susceptibles a tales condiciones. Por la condición eutrofizada que presenta la Laguna Manialtepec, es necesario contar con programas de monitoreo continuo en dichos sistemas lagunares para evitar pérdidas en la biodiversidad, el colapso de las pesquerías y alterar la calidad de vida de los habitantes.

**Palabras clave:** bacterias, eutrofización, fenómeno atípico, laguna costera, microorganismos.

**Recibido:** 25 de octubre de 2019

## Abstract

**The Manialtepec Lagoon is a site of ecological importance which presents intermittent contact between the lagoon and the sea in its two inlets.** In October 2019, an atypical coloration of water was observed, turning from an olive green to fuchsia pink, for which water samples were collected in order to determine the probable cause. The color change was due to a proliferation of purple bacteria with a density of  $183 \times 10^3$  cells/ml, with presence of bacteriochlorophylls and carotenoids, typical of these bacteria. No dinoflagellates, rotifers or copepods characteristic of other seasons were observed, only heterotrophic bacteria, cyanobacteria and diatoms. There was an increase in salinity from 4-8 psu (March 2019) to 20-30 psu (October 2019). Considering brackish water type it is probable that due to the combination of meteorological conditions and physicochemical variables, in addition to a change in the stratification of the water, stirring up or mixing of the sediment due to the opening of sandbars and the increase of salinity combined to cause said bacteria proliferation and nocturnal anoxia, causing the death of fishes susceptible to such conditions. Due to the eutrophized condition that is prevalent in Manialtepec lagoon, it is necessary to implement continuous monitoring programs in these lagoon systems to avoid losses in biodiversity, the collapse of fisheries and alterations in the quality life of the population.

**Key words:** bacteria, eutrophication, atypical phenomenon, coastal lagoon, microorganisms.

**Aceptado:** 05 de diciembre de 2019

<sup>1</sup> Instituto de Industrias, Universidad del Mar campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, 70902, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.

<sup>2</sup> Laboratorio de Biotecnología de Microalgas, Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, 70902, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.

<sup>3</sup> Licenciatura en Biología Marina, Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Ciudad Universitaria s/n, 70902, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México.

\* **Autor de correspondencia:** [cyanodarla@gmail.com](mailto:cyanodarla@gmail.com) (ATA)

## Introducción

La Laguna Manialtepec, es una laguna costera cuyo nombre deriva de los vocablos náhuatl manine (animal que se arrastra) y tepetl (lugar); lo cual se interpreta como "lugar de lagartos". Se encuentra a 16 kilómetros de Puerto Escondido y se ubica en el Municipio de San Pedro Tututepec, Distrito de Juquila en el Estado de Oaxaca dentro de las coordenadas 15° 56' 22.09" y 15° 55' 35.93" latitud norte y los 97° 9' 21.24" y 97° 12' 51.91" longitud oeste. Se comunica con el océano Pacífico por un brazo temporal (15° 57' 9.47" y 15° 55' 40.45" latitud norte, 97° 14' 19.59" y 97° 12' 44.35" latitud oeste) cuya boca mayor es conocida como playa Lagarto en Puerto Suelo y la boca chica en El Carnero (Contreras-Espinosa *et al.* 1997). Limita al norte con el pueblo de Las Negras; al sur, con el Océano Pacífico; al oeste, con San José Manialtepec y al este, con las poblaciones de La Alejandría y Las Hamacas.

La laguna presenta una extensión de 1,640 Ha, es del tipo III-A y III-B de plataforma de barrera interna, siendo una depresión inundada, batimétricamente es un cuerpo somero que se modifica por la acción de las mareas y el aporte escaso de escurrimientos, de salinidad variable, se le considera oligohalina, con una profundidad promedio de 5.4 m y un máximo de 15.0 m. Presenta circulación o corrientes locales que tienden a segmentar la laguna (Contreras-Espinosa *et al.* 1997). En los alrededores es evidente la práctica de la ganadería y agricultura, principalmente el cultivo de papaya, aunque también se ha evidenciado la deforestación (Bojorges-Baños 2011).

El tipo de vegetación que se presenta es de manglar (rojo principalmente), vegetación acuática, subacuática, selva baja, matorral espinoso, vegetación de dunas costeras y palmar. Presenta al menos 72 especies de aves (entre migratorias y residentes, Bojorges-Baños 2011). Las actividades que se desarrollan son la pesca artesanal, algunas actividades turísticas que ofrecen servicios de restaurantes y recorridos ecoturísticos, principalmente en lancha para avistamiento de aves y observar el fenómeno de bioluminiscencia.

Se le reconoce como un ambiente costero de gran importancia ecológica debido a que se encuentra influenciado por variaciones estacionales, mismas que se producen por efecto de la boca mayor (playa Lagartos en Puerto Suelo) la cual se cierra en época de estiaje, lo que produce una estratificación en la columna de agua de tipo meromíctica, sin que se mencione si es permanente o estacional. Contreras-Espinosa *et al.* (1997), la refiere como intermitente, por la comunicación al mar por medio de la boca que se abre en la época de lluvias intensas aunque la mayor parte del año se mantiene cerrada, con lo cual se genera un aislamiento del cuerpo de agua. Si le aunamos que ha sido poca la precipitación en la costa del estado con base en el registro anual del promedio mensual (800-1000 mm en 2016 y 2017, 600-800 mm en 2016) para los últimos tres años (INEGI 2016, 2017, 2018), y que los eventos de mar de fondo o sistema de olas lejanas (que se propagan fuera de la zona donde se ha generado, pudiendo llegar a lugares muy alejados) han ido incrementando su intensidad desde 2015, por lo que la Laguna Manialtepec ha pasado la mayor parte del tiempo como sistema cerrado. Lo que se ha visto es que existen variaciones hidrológicas y ecológicas, que repercuten o inciden en diversas comunidades de la laguna, desde microscópicas como bacterias, fitoplancton y zooplancton hasta mayores como los peces e inclusive a los habitantes del sitio como en otros sistemas lagunares (Contreras-Espinosa 1997, Varona-Cordero & Gutiérrez-Mendieta 2003, Gutiérrez-Mendieta 2006).

Desde el día cinco de octubre de 2019 se observó un cambio en la coloración del agua de la laguna, tornándose de un color verde olivo a rosa fucsia y aunque parece un fenómeno atípico (Fig. 1), es natural por los cambios que en la laguna fueron provocados por las lluvias intensas (tormenta tropical NARDA, 28/09/19) en donde el nivel de la laguna subió aprox 2.5 m por encima de lo normal y por consiguiente se abrieron en esta ocasión las bocas barras, la mayor playa Lagartos en Puerto Suelo y la chica en El Carnero, ambas ahora ya nuevamente cerradas.



**Figura 1.** Cambios en la coloración del agua en Laguna Manialtepec, Oaxaca. A-D) Rosa intenso a fucsia durante el inicio de la proliferación (5/10/19) por la mañana (A-C) y a medio día (D), E-G) Coloración verde olivo por la tarde del día 8/10/19, durante el primer muestreo, se registran manchones color rojo marrón (G) cercanos al embarcadero de la comunidad de Las Negras (a partir de las 18:00 h), H) Coloración entre rosa y roja por la mañana (9/10/19), I-K) Coloración menos evidente conforme pasa el tiempo (19/10/19). Fotos: A-D (OGH), G (LAPP, ATA), H (JJSJM), I-K (UR).

A nivel mundial se han presentado diversos cambios en la coloración de aguas tanto dulce, salobre, marina e hipersalina que van de un color rosa, rosa-rojizo, rojizo, o bien naranja y negro debidas a la proliferación de diferentes tipos de microorganismos que van desde bacterias púrpuras, cianobacterias y microalgas, así como dinoflagelados (Wenke & Vogt 1981, Caumette 1986, Maeda *et al.* 1992, Oren & Guerevich 1993, Hiraishi & Uedat 1996, Shi *et al.* 2010). En México, se han presentado diversas proliferaciones algales, tanto en la costa Pacífica como del Golfo de México y el Caribe, los cuales se han incrementado sustancialmente en los últimos 20 años (Band-Schmidt *et al.* 2011).

Asimismo, en sistemas lagunares como Ría Lagartos, Yucatán (Las Coloradas, lagunas rosadas: Las Salineras de Xtampú)

caracterizados por presentar ambientes hipersalinos donde sus aguas se tiñen de rosa y otras se ponen verdes, marrones para cambiar a rosas, se han realizado estudios ficoflorísticos de tales ambientes hipersalinos más no hacen mención sobre los microorganismos u organismos responsables de la coloración (Ortegón-Aznar *et al.* 2001). Torrentera & Dodson (2004), mencionan que encontraron poblaciones de *Artemia salina* que se alimentan de la microalga *Dunaliella salina*. Trujillo-Tapia *et al.* (2018) registran el primer florecimiento en Laguna La Salina, Bajos de Coyula, Oaxaca y mencionan como responsable a la cianobacteria del género *Synechocystis* sp.

Por lo que el objetivo fue identificar el o los microorganismos que proliferaron y son causantes del cambio en la coloración rosa de la Laguna Manialtepec.

## Material y Métodos

El grupo de trabajo del Laboratorio de Biotecnología de Microalgas, ha venido muestreando en la laguna desde hace seis años, por lo que a solicitud de pobladores cercanos a la laguna, se realizó un muestreo prospectivo durante el día 08/10/19 por la tarde para definir puntos de muestreo y realizar toma de muestras de agua. Con base en observaciones de los locatarios se eligieron cuatro estaciones previamente seleccionadas en muestreos anteriores pero donde se observaba la mancha del cambio de coloración que abarcaba desde la zona conocida como Carriles hasta la zona de El Aguaje junto a Alejandría y Hamacas. Durante la visita de prospección (9/10/19), la coloración rosa no era muy evidente por la tarde, además de que se presentó lluvia durante la toma de muestras de agua, lo que puede generar datos no precisos, por lo que se realizó un segundo muestreo el día 11/10/19 a medio día, donde la coloración rosa era evidente.

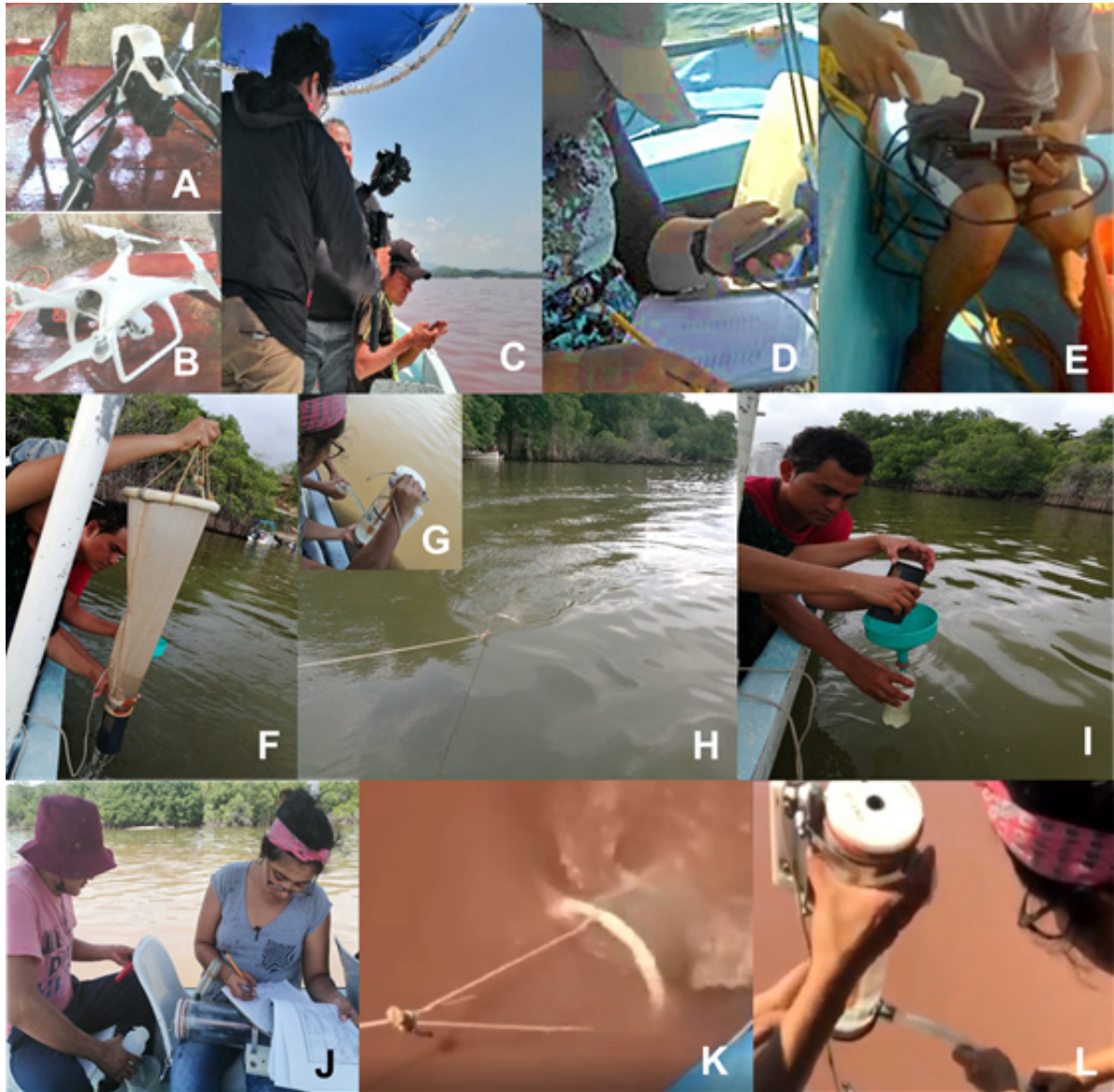
Los sitios para el segundo muestreo fueron seleccionados mediante el uso de drones rotatoria UAVS y respetando estaciones de muestreos previos, los cuales se corroboraron mediante el geoposicionador (marca GARMIN). Las estaciones correspondieron a:

Carriles, Embarcadero de la comunidad de Las Negras, Embarcadero Puesta del Sol, frente a Isla del Gallo y El Aguaje entre Alejandría y Hamacas (Fig. 2). Para la toma de muestras de agua, se realizó un arrastre superficial de red de plancton de 20  $\mu\text{m}$  durante el primer muestreo y con red y botella muestreadora en el segundo muestreo (Fig. 3). Se registraron las variables: temperatura, salinidad (refractómetro SPER SCIENTIFIC), pH (potenciómetro manual HANNA), saturación de oxígeno disuelto y sólidos totales (sonda multiparámetros YSI85) coincidiendo que ambas bocabarras se encontraban abiertas. La profundidad se obtuvo con una ecosonda manual (HONDEX, PS-7).

Las muestras fueron revisadas en microscopio óptico Olympus BX51 con microscopía de campo claro, contraste de fases y campo oscuro con cámara Nikon D5500 acoplada, para la obtención de los rasgos más característicos de las células predominantes como forma, tamaño, color en campo claro, presencia de gránulos internos o externos, tipo de movimiento, patrón de agrupación y una búsqueda en la literatura sobre características de preferencia de hábitat como salinidad, condiciones de oxígeno y temperatura (Fig. 4A,B). Se realizó la tinción diferencial de Gram para determinar el tipo de bacterias según su pared



**Figura 2.** Mapa de Laguna Manialtepec con estaciones de muestreo I) Carriles, II) Embarcadero Las Negras, III) Embarcadero La Puesta del Sol, Isla del Gallo, IV) El Aguaje (Alejandría-Hamacas).



**Figura 3.** Obtención de la muestra biológica y variables ambientales. A-B) Localización aérea del manchón rosa mediante drones rotatoria UAVS por el equipo de TV Azteca y Agencia Efe (C), D) Ubicación de estaciones por geo referencia, E) Registro de variables mediante sonda multiparámetrica 85YSI y mediante potenciómetro manual y refractómetro (J), F, H, I) Obtención de muestra mediante arrastre y botella (G) del 8/10/19, K-H) Muestra de agua obtenida el día 11/10/19. Fotos: A-C, E-J (ATA), D (LAPP), K-L (EP).

celular (Gram 1884). Se empleó la guía para fitoplancton de agua dulce-salobre (principalmente cianobacterias) editada por John *et al.* (2011) y para las bacterias, se realizó una revisión en literatura especializada (Trüpper & Pfenning 1981, Imhoff & Süling 1998, Herbert *et al.* 2005, Kumar *et al.* 2007, Madigan & Jung 2009)

Por otra parte se realizó un análisis cualitativo a partir de muestras colectadas por

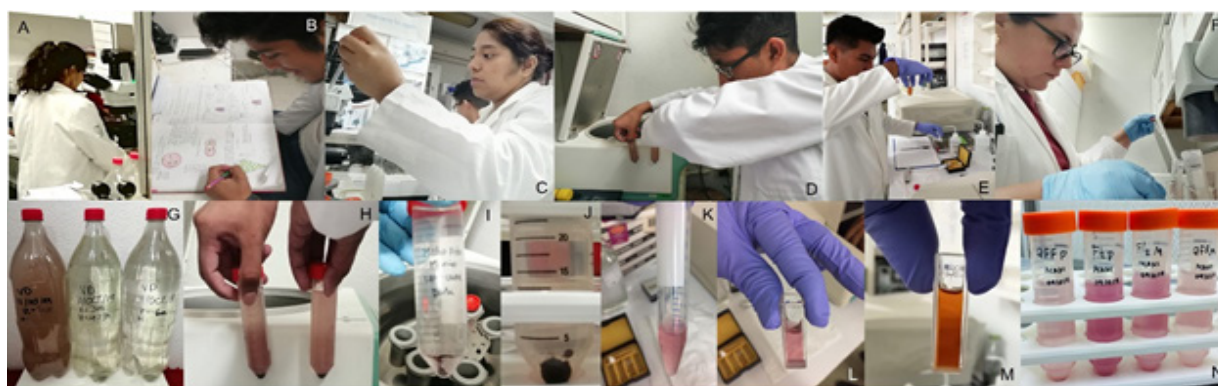
autoridades locales del sector salud en la zona El Aguaje Zapote a las 7:00 h de los días 9/10/19 y 13/10/19 en un volumen de 500 ml, las cuales fueron fijadas con lugol y transportadas a la Universidad del Mar, campus Puerto Ángel. Los recuentos celulares se realizaron por quintuplicado con una cámara de Neubauer de 0.100 mm de profundidad, marca MARIENFELD. Una parte (1l) de las muestras fueron concentradas en centrífuga

refrigerada marca HETTICH a 4500 rpm, 15 min y 10°C para la obtención del botón celular (Fig. 4c-f,h-j) y extracción con acetona al 90% y determinación del espectro de absorción de los pigmentos de 310 a 900 nm, mediante espectrofotómetro UV-VIS marca HETTICH por los métodos descritos por Jeffrey & Humprey (1975) para pigmentos fotosintéticos y bacterioclorofilas y Bennett & Bogorad (1973) para ficobiliproteínas (Fig. 4e,k-m). Una alícuota de 5 ml se inoculó en diferentes medios de cultivo para bacterias (Medio Basal, Ying-Li *et al.* 2008), cianobacterias (ASNIII, Rippka *et al.* 1979) y microalgas (F/2, Guillard & Ryther 1962) (Fig. 4n).

## Resultados

La figura 1 muestra los cambios en la coloración del agua durante el inicio (Fig. 1 a-d), a los cuatro (Fig. 1 e-g), seis (Fig. 1 h) y a los 14 días (Fig. 1. i-k) de haberse detectado el evento. Lo que se ha visto es que la tonalidad varía y es más fuerte o más clara según el tipo de luz que reciba (soleado o nublado) y la hora del día (la coloración rosa fiucsca se observa mejor de mañana y es menor por la tarde). En la tabla 1 se presentan variables fisicoquímicas del agua, donde se puede observar la comparación de las condiciones entre muestreos en marzo y el mes de octubre, en donde la temperatura del agua a diferentes profundidades presentó para el mes de octubre de 2019, un incremento

de 1°C a 2.5°C, respecto a marzo, considerado como natural dada la época del año; La salinidad se incrementó de marzo (valores de cuatro ups a 17 ups) a octubre (valores de 17 ups a 32 ups), encontrándose en este último mes con un valor de 47.5 ups para la estación cercana a Isla del Gallo con 8 m de profundidad. Lo que es claro en los valores es que la salinidad se incrementa hacia la profundidad como normalmente ocurre y en donde el hipolimnion es más denso que el epilimnion, mientras que con el oxígeno disuelto, este disminuye conforme la profundidad. El oxígeno disuelto no mostró un patrón, aunque los valores entre estaciones si, para Carriles en marzo era bajo en promedio (2.67 mg/l) y en octubre (datos promedios) presentó un incremento en ambos muestreos (7.85 mg/l y 7.11 mg/l, respectivamente), en Las Negras, bajo en marzo (2.02 mg/l), mientras que en octubre fue distinto y mayor en el primer muestreo (8.21 mg/l), respecto al segundo que volvió a ser bajo (2.07 mg/l), este mismo patrón se observó para la estación de Puesta del Sol/ Isla del Gallo cuyos valores fueron 1.2 mg/l en marzo y 5.61 mg/l y 1.15 mg/l para el muestreo de octubre. La estación de El Aguaje presentó los valores más bajos de oxígeno disuelto y una condición de anoxia o hipoxia con valores de 1.92 mg/l, 1.24 mg/l y 0.57 mg/l para marzo, primer y segundo muestreo de octubre, respectivamente. El pH fue muy variable, siendo menor para marzo y ligeramente mayor en una unidad y fracción en muestreos de octubre



**Figura 4.** Procedimiento en el Laboratorio de Biotecnología de Microalgas y Laboratorios de Investigación para determinar al responsable de la coloración rosa. A) Revisión microscópica y obtención de medidas y características celulares (B), C-D, F, H-J) Concentración del botón celular, E, K-M) Extracción de pigmentos y determinación de espectros de absorción. G) Muestra de la estación 4 a diferentes profundidades, N) Cultivo de la muestra en diferentes medios de cultivo. Fotos: A-E, G-J (ATA), F, K-N (ALH).

Tabla I. Variables fisicoquímicas de las estaciones de Laguna Manialtepec, Oaxaca.

Carriles												
04/03/2019					08/10/2019				11/10/2019			
	Temp (°C)	Sal (g/l)	OD (mg/l)	pH	Temp (°C)	Sal (g/l)	OD (mg/l)	pH	Temp (°C)	Sal (g/l)	OD (mg/l)	pH
0 m	31.76	4.61	3.27	7.79	33.12	18.0	9.46	8.05	33.63	20.9	8.39	8.38
1 m	31.06	4.53	3.15	7.72	32.73	17.7	9.50	8.07	33.55	20.9	8.18	8.33
2 m	30.94	4.46	2.79	7.66	32.51	22.0	8.59	8.11	32.56	20.9	6.41	8.38
3 m	30.92	4.43	2.66	7.65	33.53	25.0	8.00	7.89	32.34	21.0	6.91	8.11
4 m	30.91	4.40	2.43	7.66	34.02	27.1	6.57	7.78	33.47	25.5	6.90	8.06
5 m	30.97	4.38	1.73	8.8	34.04	29.3	4.98	7.75	34.00	27.9	5.87	8.11

Las Negras												
04/03/2019					08/10/2019				11/10/2019			
	Temp (°C)	Sal (g/l)	OD (mg/l)	pH	Temp (°C)	Sal (g/l)	OD (mg/l)	pH	Temp (°C)	Sal (g/l)	OD (mg/l)	pH
0 m	31.69	4.77	2.66	7.71	34.52	17.0	8.4	8.54	34.52	21.5	4.56	8.21
1 m	31.65	4.77	2.53	7.70	34.81	17.7	8.54	8.55	34.46	21.5	3.99	8.25
2 m	31.62	4.77	2.45	7.68	35.04	23.5	8.53	8.45	33.06	24.4	3.52	8.21
3 m	31.53	4.92	2.01	7.65	35.09	25.1	8.54	8.44	32.61	26.0	0.14	8.22
4 m	31.35	5.06	1.82	7.62	35.09	26.0	8.52	8.43	32.11	26.3	0.1	8.20
6 m	31.23	10.49	0.68	7.07	34.83	33.1	6.73	8.40	33.07	32.9	0.1	8.20

Puesta del Sol/ Isla del Gallo												
04/03/2019					08/10/2019				11/10/2019			
	Temp (°C)	Sal (g/l)	OD (mg/l)	pH	Temp (°C)	Sal (g/l)	OD (mg/l)	pH	Temp (°C)	Sal (g/l)	OD (mg/l)	pH
0 m	31.39	5.54	2.51	7.33	34.14	17.0	9.06	8.52	34.83	21.7	3.72	8.25
1 m	31.48	5.99	2.45	7.72	34.73	17.9	9.08	8.52	34.71	23.7	2.98	8.26
2 m	31.49	6.06	3.83	7.92	33.82	19.9	8.54	8.54	33.82	24.6	1.65	8.24
3 m	31.44	6.29	1.97	7.76	31.60	21.4	8.53	8.55	31.60	26.2	0.15	8.22
4 m	31.52	6.99	0	7.56	31.55	26.8	4.32	8.45	31.52	29.0	0.18	8.21
5 m	31.18	16.16	0	7.1	30.73	27.4	3.99	8.44	31.18	30.1	0.12	8.22
6 m	31.22	16.22	0	7.11	30.72	28.2	2.98	8.43	31.20	47.6	0.66	8.30
7 m	31.27	15.98	0	7.13	30.72	28.7	2.44	8.40	31.27	47.5	0.56	8.27
8 m	31.27	15.54	0.08	7.17	30.73	29.1	1.58	8.27	31.25	47.5	0.34	8.29

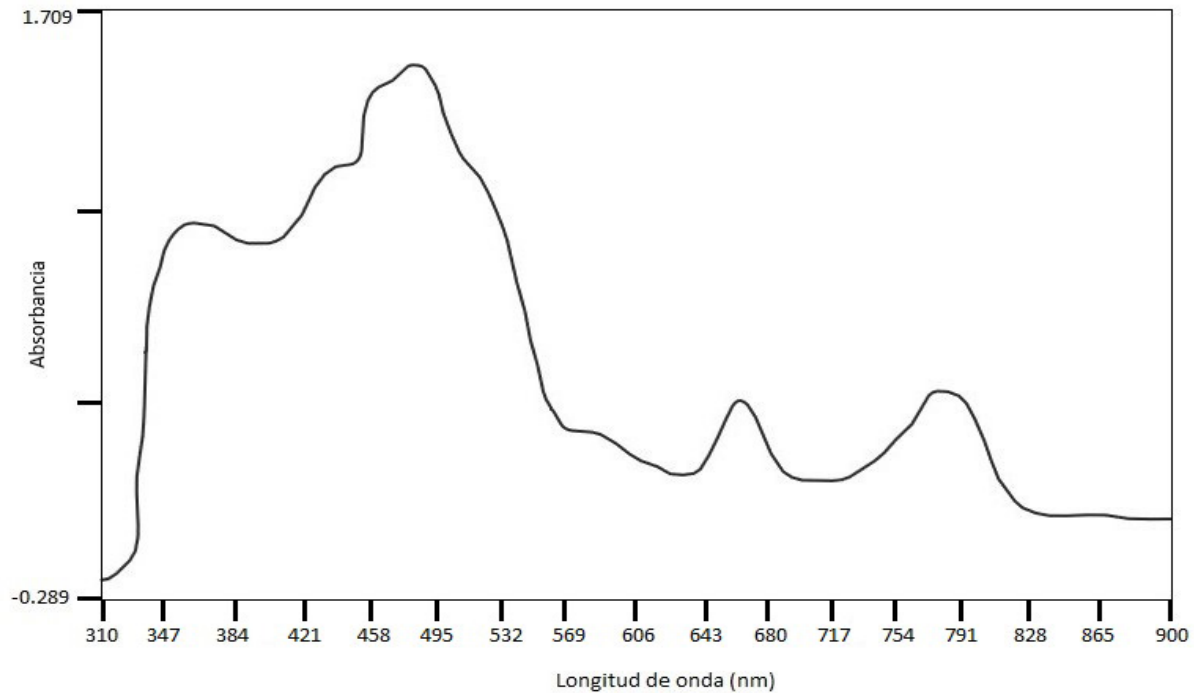
El Agüaje (Alejandria-Hamacas)												
04/03/2019					08/10/2019				11/10/2019			
	Temp (°C)	Sal (g/l)	OD (mg/l)	pH	Temp (°C)	Sal (g/l)	OD (mg/l)	pH	Temp (°C)	Sal (g/l)	OD (mg/l)	pH
0 m	31.74	5.11	3.20	7.85	34.5	15.7	5.79	7.86	34.2	21.8	4.79	7.83
1 m	31.74	5.19	3.19	7.85	34.7	19.9	4.12	7.85	32.9	21.9	0.02	7.81
2 m	31.74	5.21	3.17	7.86	33.42	24.8	1.08	7.77	31.2	26.8	0.03	7.73
3 m	31.77	5.16	3.08	7.88	31.60	25.4	0.06	7.86	30.9	27.4	0.03	7.82
4 m	31.62	4.81	3.04	8.03	31.55	27.2	0.02	7.88	30.7	28.2	0.02	7.82
5 m	31.34	11.39	0.63	7.14	30.7	27.7	0.03	7.84	30.7	28.7	0.03	7.82
6 m	31.20	10.55	0.61	7.21	30.7	29.3	0.01	7.84	30.7	29.1	0.08	7.85
7 m	31.05	12.34	0.22	7.13	30.7	29.6	0.03	7.86	30.7	29.9	0.05	7.87
8 m	31.12	17.05	0.18	7.13	30.7	29.5	0	7.49	30.7	29.5	0.07	7.89

para las estaciones de Carriles, Las Negras y Puesta del Sol/ Isla del Gallo, mientras que casi similar para las estaciones de El Agüaje (Alejandria-Hamacas).

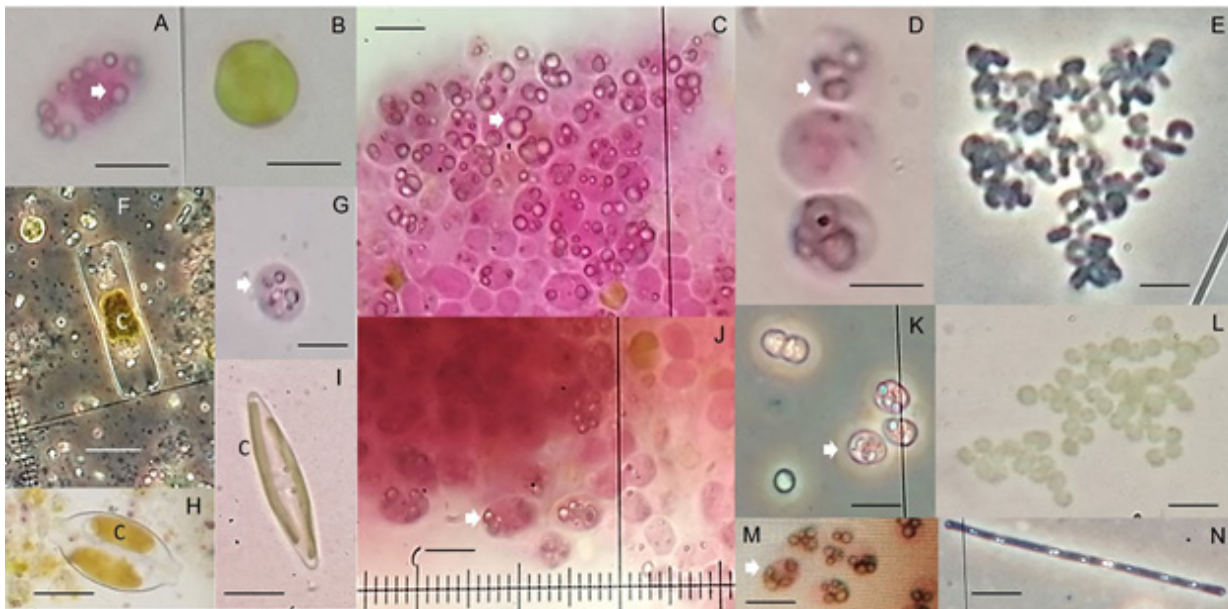
Las muestras empleadas para el recuento celular tenían un fuerte color violeta y no presentaron olor a materia en descomposición, la estimación celular para el día 9/10/19 fue de  $183 \times 10^3$  células/ml y para el 13/10/19 el conteo celular dio una estimación de  $33 \times 10^3$  células/ml. El análisis de pigmentos evidenció la presencia de bacterioclorofilas (a y b o c) con picos entre los 350 nm, 750 nm y 800 nm, un hombro entre los 472 nm y 542 nm que corresponde a carotenoides y un pico a

645 nm, característico de la clorofila a (Fig. 5). Los valores que se obtuvieron para las ficobiliproteínas fueron: 20.09 µg/ml de ficocianina, 15.60 µg/ml de aloficocianina y 29.76 µg/ml de ficoeritrina.

Con base en la observación microscópica, las pruebas citológicas y el análisis de pigmentos, se considera que los organismos responsables de la coloración en la Laguna Manialtepec son bacterias púrpuras, posiblemente no del azufre por el aroma presente en la laguna que no era a huevo podrido o azufre y en donde a dicha proliferación se asociaban otros grupos de bacterias. En la figura 6, se muestran las microfotografías de las bacterias



**Figura 5.** Espectro de absorción de los pigmentos fotosintéticos de 310 a 900 nm del extracto de acetona al 90% de la biomasa obtenida de la Laguna Manialtepec, Oaxaca.



**Figura 6.** Microorganismos responsables de la coloración y asociados en Laguna Manialtepec en microscopía de campo claro y en contraste de fases (C,E,F,K,N). Bacterias púrpuras con presencia de gránulos internos de sulfuros (A,C,D,G,J,K,M) de manera unicelular (A,G,K), en división (D,K) y formando agregados (C,J). Se muestran organismos asociados a la proliferación rosa como Chlorophytas (B), Diatomeas pennadas (F,H,I), bacterias tipo *Vibrio* sp. en forma de bastón y coma (E), algunas cianobacterias (N) y muchos otros microorganismos sin identificar (F,L). La c indica el cloroplasto pardo en las diatomeas pennadas. Aumento en 40X (F,H,I) y 100X. Barra de escala: A-E, G,J-N) 5  $\mu$ m, F,H) 20  $\mu$ m, I) 10  $\mu$ m.



que presentaron mayor abundancia, en donde son células unicelulares que van de cilíndricas a ovals, procariotas Gram negativas con una coloración característica de color rosa a marrón, con presencia de gránulos internos (2-14), con reproducción de tipo asexual por bipartición. Dichas células presentaron movilidad en círculos, sobre su eje y en una dirección en donde no fue evidente la presencia de flagelo (s) pero no se descarta que tengan o bien que su movimiento sea por aerotopos (Núñez-Cardona 2003). Aunque se encontraron células en solitario, su patrón estuvo caracterizado por células agrupadas o embebidas en una matriz mucilaginosa (Fig. 6c,j).

Se encontraron otras bacterias también púrpuras catalogadas como bacterias verdes del azufre (Fig. 6e,l), además de la presencia de algunas diatomeas pennadas (Fig. 6f,h-i) y cilíndricas del género *Chaetoceros*, otras posiblemente clorofitas (Fig. 6b) y una cianobacteria filamentosa (Fig. 6n) y otra unicelular.

## Discusión

Es posible que debido a la cantidad de agua que se incrementó con las lluvias y la posterior apertura de la boca barra, hubo una disminución del nivel del agua que fue evidente la marca en las raíces del manglar (Fig. 1b,c) y por tal una remoción y mezcla del fondo, así como intercambio de la salinidad por entrada de agua marina.

Torres-Ariño & Cuevas-Aguirre (2016) en octubre de 2015 (datos no publicados), realizaron un estudio, en donde se incluyen 20 estaciones dentro de la laguna desde la bocabarra grande hasta la cabecera de la laguna y contrario a este año, 2015 fue un año de estiaje con muy poca precipitación en donde la profundidad más baja fue de 0.43 m y la máxima de 8.86 m, la temperatura en general fue homogénea a lo largo de la laguna con un promedio de 31.45°C, una mínima de 30.19°C y máxima de 35.1°C. Para este año, la temperatura del agua superficial en el mes de octubre de 2019 promedio fue de 32.34°C, una mínima de 30.7°C y máxima de 35.09°C. La salinidad en 2015 mostró un incremento conforme se

avanza hacia la cabecera de la misma, con una mínima de 16.8 ups hacia la bocabarra y el canal, mientras que la máxima fue de 27.6 ups en la parte media y hacia la zona de las Hamacas, relacionándose con las estaciones someras y nuevamente hacia las profundidades se incrementa. En este mismo estudio (2015), el pH mostró diferencias a lo largo de la laguna, siendo los más bajos (7.24) en zonas someras mientras que en el resto de la laguna se registró pH de 8.1 a 8.5. Por último, para el oxígeno disuelto, se encontraron valores bajos en general (0.35 mg/l a 2 mg/l) y sólo en algunas partes del canal y hasta antes de la estación de Carriles se registraron valores más altos de 4.65 mg/l a 6.37 mg/l.

Las variables cambian respecto a la dinámica de la laguna como lo mencionan Contreras-Espinosa *et al.* (2005) en donde el comportamiento en una laguna con comunicación intermitente con el mar, el efecto de la apertura de la boca implica que la laguna pierda volumen de agua y cuando la boca se cierra hay un incremento. Los autores mencionan que cuando la laguna permaneció comunicada con el mar, las variables registradas presentaron las siguientes medidas: una salinidad de 22 ups, el oxígeno disuelto 3.33 mg/l, el pH 7.3 unidades y una baja productividad primaria (29.84 mgC/m<sup>3</sup>/h). En cambio, cuando la laguna se encuentra incomunicada, la salinidad manifestó un descenso (16.5 ups), igualmente que la concentración de oxígeno (2.58 mg/l); el pH fue ligeramente mayor (7.58 unidades), contrariamente hubo un incremento de la productividad primaria (158.63 mgC/m<sup>3</sup>/h).

Las lagunas costeras, se consideran ecosistemas muy fluctuantes caracterizados principalmente por la mezcla de aguas continentales y marinas. La intensidad y frecuencia de esta mezcla, determina en su mayor parte los cambios estacionales de las características químicas del agua y de las poblaciones biológicas que las habitan (Ketchum 1954, Postma 1969, Margalef 1969).

En la zona costera generalmente las aguas residuales urbanas y el empleo de fertilizantes en la agricultura constituyen la principal fuente de nitrógeno y fósforo antropogénicos

que llegan a ocasionar el deterioro de la calidad de la zona costera y marina (Boland *et al.* 1993, Smith 2003, Ferreira *et al.* 2007), dicha condición se acentúa ya que en poblaciones con bajo desarrollo, las aguas residuales reciben escaso o nulo tratamiento (Vargas-González *et al.* 2014). Los efectos inmediatos se manifiestan comúnmente con incrementos de biomasa de microorganismos y eventos de hipoxia y anoxia, con el consecuente colapso de las pesquerías, disminución de la biodiversidad y en ocasiones altera la calidad de vida de los habitantes (Karydis 2009, Valiela 2006, Ferreira *et al.* 2011).

Cuando la bocabarra permanece por periodos largos cerrada, la carga de nutrientes propician procesos de productividad primaria muy intensos lo que provoca anoxia (sin oxígeno) nocturna (ocasionando muerte de peces susceptibles a tales condiciones, aunque en la Laguna Manialtepec se ha visto que se presenta mortandad de peces cada vez que hay apertura de la bocabarra, U. Ramírez, com. pers.) y sobresaturación de oxígeno diurna, como efecto del ciclo nictemeral del fitoplancton (Contreras-Espinosa *et al.* 1997, Brito *et al.* 2012). Además, por procesos de descomposición de la biomasa primaria se propician procesos de descomposición de materia orgánica y regeneración de los productos de ambas descomposiciones en la columna de agua, que son llevados a cabo en la inter-fase sedimento-agua por medio de actividades bacterianas, en donde existe una relación muy estrecha entre el suministro de materia orgánica y la presencia de nutrientes (Beman 2014, Ruiz-Ruiz 2017), con lo que se sustenta así la condición de eutrofia de manera constante como ocurre en otros sistemas lagunares. Se sabe que las concentraciones más elevadas de nutrientes ocurren de manera temporal después del período de lluvias, cuando además de los elementos autóctonos, se suman los provenientes del arrastre terrígeno originado por los ríos y lluvias, en donde el aporte de origen antropogénico genera procesos de eutrofización con efectos adversos al ambiente y a las actividades productivas (Postma 1969, Nixon 1980, Ruiz-Ruiz 2017).

La baja cantidad de oxígeno disuelto en la columna de agua podría indicar que los procesos heterotróficos son los dominantes en el sistema, lo que se verá reflejada por la presencia de bacterias, dinoflagelados no fotosintéticos y otros organismos con modos de nutrición mixotrófico. Lo anterior es causa total del aislamiento que tiene con el mar al estar cerrada la boca barra y es ocasionado por el desvío de los cauces en el flujo hidrológico de la cuenta. De ahí que una comunicación con el océano sea un factor primordial para el mantenimiento de la salud del ecosistema (Ruiz-Ruiz 2017).

Las bocabarras de la Laguna Manialtepec permanecen cerradas la mayor parte del año y han sido abiertas por pobladores, como acuerdo de todos los pueblos vecinos a la laguna (El Aguaje del Zapote, Las Negras, La Plata, La Ceiba, Manialtepec e Hidalgo Tututepec, entre otros) playa Lagartos en julio y luego en agosto de 2019, las cuales se cerraron por evento de mar de fondo y se reabrieron de manera natural en septiembre. Actualmente se encuentran cerradas las dos y se sabe que la playa chica se abre sólo si hay crecimiento del cauce del río Manialtepec (U. Ramírez, com. pers.). La toma de datos se realizó cuando las bocabarras seguían abiertas, aun así la condición de oxígeno registrada, se consideran como altos, al menos para el área de Carriles, mientras que en las Negras y en Puesta del Sol los valores son menores debidos a la profundidad somera y es el estrato con mayor proliferación de microorganismos (Fig. 6g).

Es cierto que una vez que la bocabarra se abre, habrá un recambio de agua con entrada de agua de mar, resuspensión de sedimentos y modificación en las variables ambientales con respuesta positiva o negativa de los microorganismos y organismos que habitan en la laguna como peces muertos por ser algunos de ellos susceptibles a cambios en la concentración de oxígeno disuelto (ej. Lisa, *Mugil cephalus*, Armengol-León de la Peña 2016) o bien, bloqueo de branquias por parte de microorganismos y sus sustancias producidas durante la proliferación (habría que confirmarse si esto

sucede con las bacterias púrpuras a diferencia de como ha ocurrido en otros tipos de proliferaciones fitoplanctónicas) y a los cambios de salinidad como es probable que ocurrió en este evento con la Mojarrita Negra (*Cichlasoma trimaculatum*) (Rush-Miller *et al.* 2009). Si bien se sabe que la temperatura tiene que ver con la distribución de organismos, no se considera que haya habido un cambio extremo. Caumette (1986) menciona que durante una proliferación de bacterias púrpura del género *Thiocapsa*, observaron una escasez de oxígeno, lo que propició que se liberara el sulfuro de hidrógeno que generalmente se encuentra en la capa externa del sedimento y que por difusión se mezcló en la columna de agua posiblemente por la acción del viento y por tal ocurrió muerte masiva de peces, en el caso de la Laguna Manialtepec, las especies que murieron como la Lisa y Mojarrita Negra se sabe que son susceptibles a cambios de oxígeno y salinidad.

Los valores de conteo celular muestran un decremento (después de 72 h, aproximadamente) y coincidió con una disminución de la coloración rosa en la laguna como ocurre en otros eventos similares; sin embargo, no se encontraron reportes de recuentos celulares. A partir de la microscopía óptica, se observó la presencia de bacterias tipo púrpuras (Fig. 6), cuya presencia o proliferación en cuerpos de agua se da de manera rara y ocasional cuando se suman determinadas condiciones meteorológicas. Dichas bacterias se encuentran normalmente en manantiales sulfurosos en agua estancada o bien son parte de la carga bacteriana de los fondos o la inter-fase agua sedimento de varios sistemas lagunares. Los ambientes en los que se han presentado proliferaciones similares mencionan ambientes que van desde agua dulce, salobre (4-27 ups) e hipersalino (57-70 ups hasta 116 ups), con un pH de 7.2-8.5 con valores mínimos de 5 y máximos de 9, algunas de ellas en condiciones anaerobias y con elevadas concentraciones de azufre o compuestos sulfurosos, las temperaturas oscilan entre los 24 a 35 °C (Wenke & Vogt 1981, Caumette 1986, Maeda *et al.* 1992, Oren & Guerevich 1993, Hiraishi & Uedat 1996, Shi *et al.* 2010).

Esta bacteria se representó aproximadamente el 90% del recuento celular total; aunque hubo pocas diatomeas pennales y fitoflagelados difíciles de identificar en las muestras fijas. Normalmente en otros muestreos (Torres-Ariño & Cuevas-Aguirre 2016) es común encontrar además de diatomeas del género *Chaetoceros*, otras clorofitas, cianobacterias filamentosas y sobretodo dinoflagelados y otros representantes del zooplancton como copépodos y rotíferos, de los cuales solo se observaron exubias (muda o exoesqueleto de copépodos).

El agua como se ve en la figura 1 y por el recuento celular, tiende a recuperar su color habitual poco a poco, como se observó en la disminución de la densidad celular, pueden ser días o requerir más tiempo con probabilidad de que vuelva la coloración si las condiciones fisicoquímicas son favorables (Nuñez-Cardona 2003). Se considera un fenómeno ya que intervienen varios factores ambientales y es probable que con el recambio del agua (u otros agentes atmosféricos) se rompiera la estratificación y la zona dominada por dichas bacterias ascendió en la columna de agua y de ahí que pudieran verse en las superficies como se muestra en la figura 4g, donde se observa que la proliferación de estos microorganismos está en la superficie, ya que a los tres y seis metros el agua ya está casi clara.

Lo que podemos observar es que es probable que se trate de una o varias especies de bacterias púrpuras, ya que el patrón observado va de células unicelulares con división binaria, presencia de gránulos internos de azufre, movimiento rotatorio sobre su eje impulsados por sí solos o por la presencia probable de un flagelo, de coloración rosa, púrpura o violeta y en ocasiones vistas como ligeramente rosas a marrón. Sus dimensiones van desde 2.5-3.92  $\mu\text{m}$  de ancho a 4.90-6.0  $\mu\text{m}$  de largo, con formas circulares, ovaladas y semialargadas o en agrupaciones tipo racimos de cuatro a más o en agregados con presencia de mucílago. Si bien por algunas de sus características podrían confundirse con cianobacterias unicelulares del género *Synechococcus* o *Synechocystis* que

habitan en ambientes sulfurosos y éste último puede presentar gránulos de azufre internos y en ninguna de las dos se presentan flagelos. Dichas cianobacterias pueden proliferar y presentar coloraciones rosas por la presencia de un pigmento ficobiliproteico conocido como ficoeritrina como se evidenció en el análisis de pigmentos. No obstante, el espectro de absorción sirvió para corroborar la presencia de bacterioclorofilas (a, b, c) que dan tonalidades púrpuras y el pico se encontró entre los 750 nm y 800 nm, además de carotenoides que son pigmentos característicos de las bacterias púrpuras con un hombro entre los 472 nm y 542 nm y como menciona Nuñez-Cardona (2003) podrían incluirse dentro de los miembros del género *Chromatium*, aunque no se menciona las características fisicoquímicas de la laguna. Se requieren hacer otros estudios más finos y aislar a los microorganismos para poder conocer el nombre del género y la o las especies responsables de la proliferación y por consiguiente de la coloración fascinante que cubrió las aguas de la Laguna Manialtepec.

Durante el muestreo, se observaron unas manchas amorfas de coloración rojiza-marrón (Fig. 1g), asociadas o cercanas al mangle que no se habían visto en otras ocasiones en que se ha muestreado la laguna y en cuya composición se observó diferentes microorganismos que van desde muy pocas bacterias púrpuras, diatomeas pennadas, protozoarios, euglenas y clorofitas, algunas mudas de copépodos y lo que llama la atención es que no se observaron representantes del zooplancton que son característicos de estos cuerpos de agua como son rotíferos y copépodos vivos o dinoflagelados (bioluminiscentes y otros), lo que es probable que estén en las áreas del canal hacia la boca barra donde en marzo se observó mejor la bioluminiscencia o asociados en las raíces del mangle.

En la costa de Oaxaca, ya se han observado eventos de cambio de coloración de las aguas como es el caso de la laguna La Salina de Bajos de Coyula, en donde se tuvo la oportunidad de tomar muestra (datos en vías de publicación) y revisar que el cambio de coloración se debió a un conjunto de microorganismos

procariontes como cianobacterias unicelulares del género *Synechocystis*, como lo mencionan Trujillo-Tapia *et al.* (2016). Sin embargo, se encontraron en mayor proporción a bacterias púrpuras de la familia Chromatiaceae a las que se les atribuye en conjunto la coloración de esa laguna y también a la arquea *Halobacterium salinarum* (formalmente conocido como *H. halobium*, que son células simples con presencia de vesículas de gas, unicelulares en forma de varilla de 1-3  $\mu\text{m}$  largo, móvil por flagelos, vive en ambientes altamente salino y con agotamiento de oxígeno, presenta pigmentos como bacteriorrodospina, entre otros, Cleveland & Kelman 2015).

La diferencia entre dichas proliferaciones radica en que la salinidad de La Salina fluctuó entre los 55 y 77 ups (época de estiaje), lo que difiere con los datos de Trujillo-Tapia *et al.* (2016) quienes mencionan que durante su muestreo registraron 35 ups, mientras que las bacterias púrpuras en Laguna Manialtepec proliferaron entre 20 a 35 ups (en lluvia). Se sabe que las bacterias fototróficas del azufre pueden desarrollarse y proliferar en ambientes acuáticos, de forma planctónica o bentónica, cuando los estratos anóxicos de compuestos reducidos del azufre son expuestos a la luz y se pueden ver en la superficie cuando el agua se encuentra estratificada (Gemerden & Mas 1995), como ocurrió durante el segundo muestreo (Fig. 4g). Algunos géneros de bacterias púrpuras presentan características que las hacen candidatas para que estén presentes y sean los responsables de la coloración en la laguna como *Thiocapsa*, *Thiocystis*, *Isochromatium*, *Alochromatium*, *Amoebobacter*, entre otros (Imhoff & Süling 1998), inclusive dentro de la familia Chlorobiaceae, Rhodospirillaceae (Trüper & Pfenning 1981). De igual manera, si bien no hay registros de problemas a la salud cuando se han presentado este tipo de proliferaciones en otras lagunas, será recomendable evitar el consumo de organismos durante la proliferación y realizar análisis toxicológicos (tipo y concentración en caso de que presenten). Sin embargo, se requieren realizar estudios más finos para determinar al responsable de la proliferación y coloración rosa como análisis moleculares

y tipos de pigmentos por cromatografía. Por la importancia ecológica, turística y económica de la laguna, es necesario contar con programas de monitoreo continuo en dichos sistemas lagunares para evitar pérdidas en la biodiversidad, el colapso de las pesquerías y alterar la calidad de vida de los habitantes.

### Agradecimientos

A Ulises Ramírez Pérez y Elvira A. Pérez Juárez del restaurante Puesta del Sol por la amabilidad y todas sus atenciones y disponibilidad en apoyarnos con su lancha en los muestreos. Al Profesor Guadalupe Callejas Silva, Agente de policía de la comunidad de Las Negras por las facilidades e información brindadas. Al equipo de TV Azteca conformado por Ramón Bragaña (Reportero), Eduardo Pérez (Camarógrafo), Fabiola Ramírez (Sondista) y el de Agencia Efe Pedro Rasgado (Reportero) por apoyarnos con algunas tomas aéreas con sus drones y registro fotográfico durante el muestreo. Al Químico José Juan Sánchez Martínez - Coordinador de Regulación y Fomento Sanitario por proporcionarnos fotografías, al Secretario de Salud maestro Donato Casas Escamilla y la Directora de Regulación y Fomento Sanitario MSP. Mariela Peña Burón quienes contribuyeron con muestras para este estudio. A Oliverio García H. quien compartió el aviso y fotografías de los primeros días. A los Laboratorios de Investigación, Ecología del Bentos, Oceanografía Geológica y Sistemas de Información Geográfica de la Universidad del Mar por proporcionarnos materiales y equipo para el muestreo. A la Maestra Krista Marie Williams por la traducción del resumen. Finalmente, a dos revisores anónimos que realizaron comentarios valiosos a nuestro trabajo.

### Referencias

Armengol-León de la Peña, D.A. 2016. Caracterización de la comunidad íctica en la Laguna de Manialtepec, Oaxaca (2009). Tesis de Licenciatura en Biología Marina. Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca, México.

Bennett, A. & L. Bogorad. 1973. Complementary chromatic adaptation in a filamentous blue-green alga. *J. Cell Biol.* 58: 419-435.

Beman, J.M. 2014. Activity, abundance and diversity of nitrifying archae and denitrifying bacteria in sediments of a subtropical estuary: Bahía del Tóbari, Mexico. *Estuar. Coasts* 37: 1343-1352.

Bojorges-Baños, J.C. 2011. Riqueza y diversidad de especies de aves asociadas a manglar en tres sistemas lagunares en la región costera de Oaxaca, México. *Rev. Mex. Biodiv.* 82: 205-215.

Boland, J.J., B. Anderson, N.H. Brooks, W.M. Eichbaum, L.R. Goldman, D.F. Harleman, R. Howarth, R.J. Huggett, T.M. Keinath, A.J. Mearns, C. O'melia, L.A. Roesner, J. Rose & J.R. Schubel. 1993. Managing wastewater in coastal urban areas. Committee on wastewater management for coastal urban areas. National Research Council. National Academy of Sciences. USA. 478 pp.

Brito, A.C., A. Newton, P. Tett & T.F. Fernández. 2012. How will shallow coastal lagoons respond to climate change? A modeling investigation. *Estuar. Coast Shelf S.* 112: 98-104.

Caumette, P. 1986. Phototrophic sulfur bacteria and sulfate-reducing bacteria causing red waters in a shallow brackish coastal lagoon (Prévost Lagoon, France). *FEMS Microbiol. Ecol.* 38: 113-124.

Cleveland, T.E. & Z. Kelman. 2015. Isotopic Labeling of Proteins in *Halobacterium salinarum*. *Meth. Enzymol.* 147-165.

Contreras-Espinosa, F., O. Castañeda & R. Torres. 1997. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en las lagunas costeras del estado de Oaxaca. *Hidrobiológica* 7:9-17.

Contreras-Espinosa F., N.E. Rivera-Guzmán & R. Segura-Aguilar. 2005. Nutrientes y productividad primaria fitoplanctónica en una laguna costera tropical intermitente (La Mancha, Ver.) del Golfo de México. *Hidrobiológica* 15 (3): 299-310.

- Ferreira, J.G., S. Bricker & T. Simas. 2007. Application and sensitivity testing of an eutrophication assessment method on coastal systems in the United States and European Union. *J. Environ. Manage.* 82:433-445.
- Ferreira, J.G., J.H. Andersen, A. Borja, S. Bricker, J. Camp, M. Cardoso, E. Garcés, A. Heiskanen, C. Humborg, L. Ignatiades, C. Lancelot, A. Menesguen, P. Tett, N. Hoepffner & U. Claussen. 2011. Overview of eutrophication indicators to assess environmental status within the European Marine Strategy Framework Directive. *Estuar. Coast Shelf S* 93: 117-131.
- Gemerden, H.V. & J. Mas. 1995. Ecology of phototrophic sulfur bacteria. Pp: 48-85 In: Blankenship, R., M. Madigan & C. Bauer (eds.), *Anoxygenic photosynthetic bacteria*. Springer Science & Business Media, Kluwer Academic Publisher. Nueva York. 1283 pp.
- Gram, C. 1884. The differential staining of Schizomycetes in tissue sections and in dried preparations. *Fortschritte der Medizin* 2: 185-189.
- Guillard, R.R.L. & J.H. Ryther. 1962. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* Cleve. *Can. J. Microbiol.* 8: 229-239.
- Gutiérrez-Mendieta, F.J., F. Varona-Cordero & F. Contreras-Espinosa. 2006. Caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras tropicales del estado de Chiapas, México. *Hidrobiológica* 16(2): 137-146.
- Herbert, R.A., A. Ranchou-Peyruse, R. Duran, R. Guyoneaud & S. Schwabe. 2005. Characterization of purple sulfur bacteria from the South Andros Black Hole cave system: highlights taxonomic problems for ecological studies among the genera *Allochromatium* and *Thiocapsa*. *Environ. Microbiol.* 7(8): 1260-1268.
- Hiraishi, A. & Y. Uedat. 1995. Isolation and characterization of *Rhodovulum strictum* sp. nov. and some other purple nonsulfur bacteria from colored blooms in tidal and seawater pools. *International J. Syst. Bacteriol.* 45(2): 319-326.
- Imhoff, J.F. & J. Süling. 1998. Phylogenetic relationships among the Chromatiaceae, their taxonomic reclassification and description of the new genera *Allochromatium*, *Halochromatium*, *Isochromatium*, *Marichromatium*, *Thiococcus*, *Thiohalocapsa* and *Thermochromatium*. Gran Bretaña: *International J. Syst. Bacteriol.* 48: 1129-1143.
- Jeffrey, S.W. & G.F. Humphrey. 1975. New spectrophotometric equation for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural populations. *Biochem. Physiol. Pflanze* 167: 191-194.
- John, D.M., B.A. Whitton & A.J. Brook. 2011. *The freshwater algal flora of the British Isles; an identification guide to freshwater and terrestrial algae*. Second edition. Cambridge, University Press. United Kingdom. 878 pp.
- Karydis, M. 2009. Eutrophication assessment of coastal waters base on indicators: a literature review. *Global NEST J.* 11: 373-390.
- Ketchum, B.H. 1954. Relation between circulation and planktonic populations in estuaries. *Ecology* 35: 191-200.
- Kumar, P.A., T.N. Srinivas, Ch. Sasikala & Ch. V. Ramana. 2007. *Halochromatium roseum* sp. nov., a non-motile phototrophic gammaproteobacterium with gas vesicles, and emended description of the genus *Halochromatium*. India: *International J. Syst. Evolut. Microbiol.* 57(9): 2110-2113.
- Nixon, W.S. 1980. Between coastal marshes and coastal waters – A Review of twenty years of speculation and research on the role of salt marshes in estuarine productivity and water chemistry. Pp: 13-67 In: Harnilton, P. & K. McDonald (eds.), *Estuarine and wetland Processes*. Plenum. Nueva York.
- Nuñez-Cardona, M.T. 2003. Aislamiento y caracterización pigmentaria de las bacterias rojas del azufre de la laguna de

- Tampamachoco, Veracruz. *Hidrobiologica* 13(3): 171-176.
- Madigan, M. T., & Jung, D. O. 2009.1 An Overview of Purple Bacteria: Systematics, Physiology, and Habitats. Pp 1-15 In: Hunter, N., F. Daldal, M. C. Thurnauer and J. T. Beatty (eds.), *Advances, The Purple Phototrophic Bacteria*. Springer, Holanda.
- Maeda, H., A. Kawai & M.M. Tilzer. 1992. The water bloom of cyanobacterial picoplankton in Lake Biwa, Japan. *Hidrobiologica* 248: 93-103.
- Margalef, R. 1969. Comunidades planctónicas en lagunas litorales. Pp: 545-562 In: Ayala, C. & F.B. Phleger (eds.), *Lagunas costeras*. Mem. Simp. Intern. Lagunas costeras. UNAM-UNESCO. D.F. México.
- Oren, A. & P. Gurevich. 1993. Characterization of the dominant halophilic archaea in a bacterial bloom in the Dead Sea. *FEMS Microbiol. Ecol.* 12: 249-256.
- Postma, H. 1969. Chemistry of coastal lagoons. Pp: 421-430 In: Ayala, A.C. & F.B. Pheger (eds.), *Lagunas costeras*. Mem. Simp. Intern. Lagunas costeras. Un Simposio UNAM-UNESCO, D.F. México.
- Rippka, R. J. Deruelles, B. Waterbury, M. Herdman & R. Stanier. 1979. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *J. Gen. Microbiol.* 111: 1-61.
- Rush-Miller R., W.L. Minckley & S.M. Norris. 2009. *Peces dulceacuícolas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 559 pp.
- Ruiz-Ruiz, T.M. 2017. Análisis comparativo de índices de eutrofización en lagunas costeras del estado de Sonora, México. Tesis Doctor en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur, México.
- Shi, L., Y. Cai, Z. Chen, Y. Zhou, P. Li & F. Kong. 2010. Diversity and abundance of aerobic anoxygenic phototrophic bacteria in two cyanobacterial bloom-forming lakes in China. *Limnol. J.* 46: 233-239.
- Smith, V.H. 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems. A global problema. *Environ. Sci. Poll. Res.* 10: 126-139.
- Torrentera, L. & S.I. Dodson. 2004. Ecology of the brine shrimp *Artemia* in the Yucatan, Mexico, Salterns. *J. Plankton Res.* 16(6): 617-624.
- Torres-Ariño, A. & A. Cuevas-Aguirre. 2016. Estudio prospectivo para caracterización de fitoplancton y bacterias bioluminiscentes en la Laguna de Manialtepec, Oaxaca. LBM-UMAR. Informe de práctica de docencia de las carreras de Biología Marina y Oceanología. Universidad del Mar, campus Puerto Ángel, San Pedro Pochutla, Oaxaca, México, 27 pp.
- Trüper, H.G., & N. Pfennig. 1981. Characterization and Identification of the Anoxygenic Phototrophic Bacteria. Pp: 299-312. In: Starr M.P., H. Stolp, H.G. Trüper, A. Balows, H.G. Schlegel (eds.), *The Prokaryotes*. Springer, Berlín.
- Valiela, I. 2006. *Global coastal change*. Blackwell Publishing. Oxford. 376 pp.
- Vargas-González, H.H., J.A. Arreola-Lizárraga, R.A. Mendoza-Salgado, L.C. Méndez-Rodríguez, C. Lechug-Devéze, G. Padilla-Arredondo, M. Córdoba-Matson. 2014. Effects of sewage discharge on trophic state and water quality in coastal ecosystem of the Gulf of California. *Sci. World J.* 2014: 2-7.
- 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.
- Wenke, T. & J.C. Vogt. 1981. Temporal changes in a Pink Feedlot Lagoon. *Appl. Environ. Microbiol.* 41(2):381-385.
- Ying-Li, R., T. Zhang, & H. Fang. 2008. Characteristics of a phototrophic sludge producing hydrogen from acetate and butyrate. *International J. Hydrog. Energy* 9(33): 2147-2155.

# UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Huatulco

División de Estudios de Posgrado



## Maestría en Relaciones Internacionales: Medio Ambiente

Líneas de Investigación:

- Conflictos Internacionales y Medio Ambiente
- Consecuencias socio-ambientales del cambio climático
- Delitos ambientales internacionales
- Legislación y normatividad internacional
- Política ambiental internacional

## Maestría en Mercadotecnia Turística

Líneas de Investigación:

- Nuevas Tendencias del Turismo
- Mercadotecnia de Destinos Turísticos
- Perfil del Turista en Bahías de Huatulco
- Ética del Turismo

## Maestría en Derecho Internacional Penal

Líneas de Investigación:

- Crímenes Internacionales
- Jurisdicción Universal
- Instancias Internacionales y Procedimientos Penales Internacionales
- Problemas Actuales de Derecho Internacional Penal, Dogmática y Perspectiva Político-Criminal
- Responsabilidad Internacional por Incumplimiento al Derecho Humanitario

## Informes

Dr. Miguel Ángel Ahumada Sempoal  
Jefe de la División de Estudios de Posgrado  
Tel. (958) 584 3057 Ext. 111  
Fax. (958) 584 3078  
posgrado@huatulco.umar.mx

[www.umar.mx](http://www.umar.mx)