

¿Belleza o amenaza? Una mirada al fitoplancton, su bioluminiscencia y los florecimientos algales nocivos

Mitzi Elizabeth Cruz-Valdés¹ , Carlos Francisco Rodríguez-Gómez¹ 
& Alejandra Torres-Ariño^{2*} 

Resumen

El papel del fitoplancton es crucial en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, siendo la base de la cadena alimentaria y clave en los ciclos biogeoquímicos como el del carbono y el nitrógeno. Aunque su papel es vital, los cambios ambientales globales han incrementado los Florecimientos Algales Nocivos (FAN), fenómenos que pueden alterar el equilibrio ecológico, disminuir el contenido de oxígeno y liberar toxinas, afectando por lo tanto la biodiversidad, la salud pública y la economía, especialmente en comunidades pesqueras y turísticas. Algunas especies de dinoflagelados, además de formar parte de estos FAN, pueden emitir bioluminiscencia, un fenómeno impresionante que se observa en lugares como la laguna Manialtepec en Oaxaca. Sin embargo, la dualidad del efecto de este fenómeno entre el impacto positivo del turismo y el negativo por las amenazas ecológicas plantea desafíos para la conservación y gestión de estos ecosistemas. Aunque algunos FAN tienen un origen natural, su desarrollo puede ser inducido por la alta disponibilidad de nutrientes como consecuencia de las actividades humanas, tales como la agricultura y la acuicultura. El estudio de esta comunidad se lleva a cabo con técnicas tradicionales como el uso de redes y botellas para coleccionar muestras, y con técnicas más avanzadas como los análisis moleculares que permiten identificar a las especies tóxicas y

Abstract

Phytoplankton is crucial in aquatic ecosystems, serving as the base of the food chain and playing a key role in biogeochemical cycles like carbon and nitrogen. Although its role is vital, environmental and global changes have increased Harmful Algal Blooms (HABs), phenomena that can disrupt ecological balance, reduce oxygen, and release toxins, affecting biodiversity, public health, and the economy, especially in fishing and tourist communities. Some species of dinoflagellates, in addition to being part of these HABs, can emit bioluminescence, an impressive phenomenon observed in places like Manialtepec Lagoon in Oaxaca. However, the duality between the positive impact of tourism and ecological threats poses challenges for the conservation and management of these ecosystems. HABs can be triggered by high nutrient availability, and although some are natural, human activities such as agriculture and aquaculture worsen them. Phytoplankton is studied using traditional techniques like nets and bottles to collect samples, along with molecular analyses to identify toxic species and potential biotechnological applications. It is crucial to implement preventive measures and foster cooperation among various stakeholders to mitigate negative impacts and preserve aquatic ecosystems.

¹ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, campus Tuxpan, Universidad Veracruzana. 92870 Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, México.

² Universidad del Mar, Instituto de Industrias. Campus Puerto Ángel, Cd. Universitaria s/n, Puerto Ángel, Oaxaca, 70902, México..

* Autor de correspondencia: darlatorres438@gmail.com (ATA)

también establecer el potencial de aplicaciones biotecnológicas. Ante esto, es crucial la generación de información de base y la cooperación entre diferentes actores para obtener beneficios locales del fenómeno de bioluminiscencia y mitigar los efectos negativos de los FAN y contribuir a la preservación de los ecosistemas acuáticos

Palabras clave: ecosistemas acuáticos, eutrofización, impacto ambiental, laguna costera, proliferaciones algales.

Key words: Aquatic ecosystems, coastal lagoon, environmental impact, eutrophication, algal proliferations.

Recibido: 26 de octubre de 2024.

Aceptado: 21 de enero de 2025.

Fitoplancton: los pequeños grandes protagonistas en ambientes acuáticos

El fitoplancton constituye una parte fundamental de los ecosistemas acuáticos. Está compuesto por microorganismos capaces de transformar la energía luminosa del sol en energía química a través del proceso de fotosíntesis, en donde liberan el oxígeno que beneficia a diversos organismos y al ser humano. Su importancia radica en que es la base de la cadena alimentaria en los ecosistemas acuáticos, al servir como sustento para una amplia variedad de organismos, incluyendo las primeras fases larvarias de crustáceos y peces y todas las fases de los moluscos. Las células del fitoplancton

presentan diversas formas y pueden ser unicelulares, coloniales o filamentosas (Fig. 1). Además, el fitoplancton desempeña una función crucial en los ciclos biogeoquímicos, como los ciclos del carbono, nitrógeno y fósforo, por lo que promueve el mantenimiento del equilibrio químico del ecosistema.

Estos microorganismos son capaces de desencadenar procesos fascinantes, que resultan claves para la regulación del clima, hasta favorecer la formación de nubes.

Sin embargo, a pesar de su importancia y con los cambios ambientales actuales, las proliferaciones del fitoplancton se han

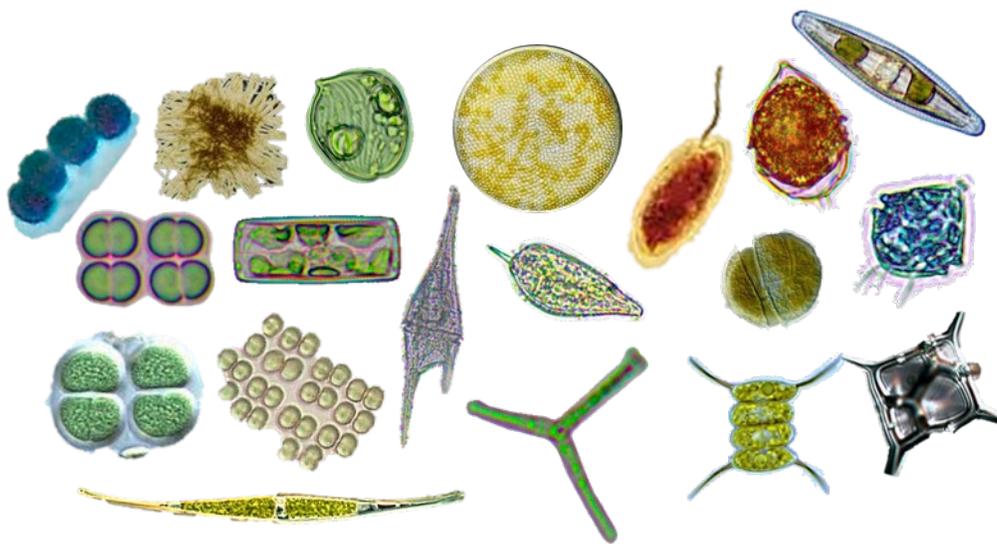


Figura 1. Representación morfológica del fitoplancton con formas unicelulares, coloniales y filamentosos (Fuente: Elaboración propia).



Figura 2. Causas naturales y humanas que pueden producir un Florecimiento Algal Nocivo (FAN) (Fuente: Elaboración propia).

incrementado y aunque de manera natural algunas sirven para fertilizar las aguas, otras pueden provocar cambios evidentes ante nuestros ojos, añadiendo tonalidades diferentes en el color del agua.

Los Florecimientos Algales como se los conoce, son fenómenos naturales asociados con un incremento de microorganismos en los ambientes acuáticos, los cuales pueden causar afectaciones a la salud pública, a los organismos que ahí habitan, así como al medio ambiente, generando problemas en actividades recreativas y la economía. Los cambios generados por los FAN van desde la disminución de la disponibilidad de oxígeno hasta la liberación de toxinas, por lo que en cierta medida se pueden considerar como una amenaza para el equilibrio ecológico. Estos florecimientos pueden favorecerse por las actividades humanas que van desde la contaminación por aguas residuales, acuícolas y agrícolas, lo que genera la eutrofización de las aguas (incremento excesivo de nutrientes por

dichas actividades humanas) (Figs. 2 y 3).

Aun así, existen algunas especies del fitoplancton (dinoflagelados) que exhiben bioluminiscencia, un fenómeno bello y fascinante en el que emiten luz como resultado de reacciones bioquímicas y constituye un espectáculo natural impresionante que atrae al turismo. Esta dualidad, entre lo bello dado por la bioluminiscencia y la amenaza ecológica debido a los FAN, se ha observado en la laguna Manialtapec en el estado de Oaxaca (Fig. 4).

Bioluminiscencia y dinoflagelados ¿luciérnagas acuáticas?

Los dinoflagelados son un grupo de protistas unicelulares que tienen una amplia gama de formas, pueden ser redondos, alargados o incluso presentar espinas u otras ornamentaciones. Su tamaño varía generalmente entre 10 y 500 micrómetros. Estos se encuentran

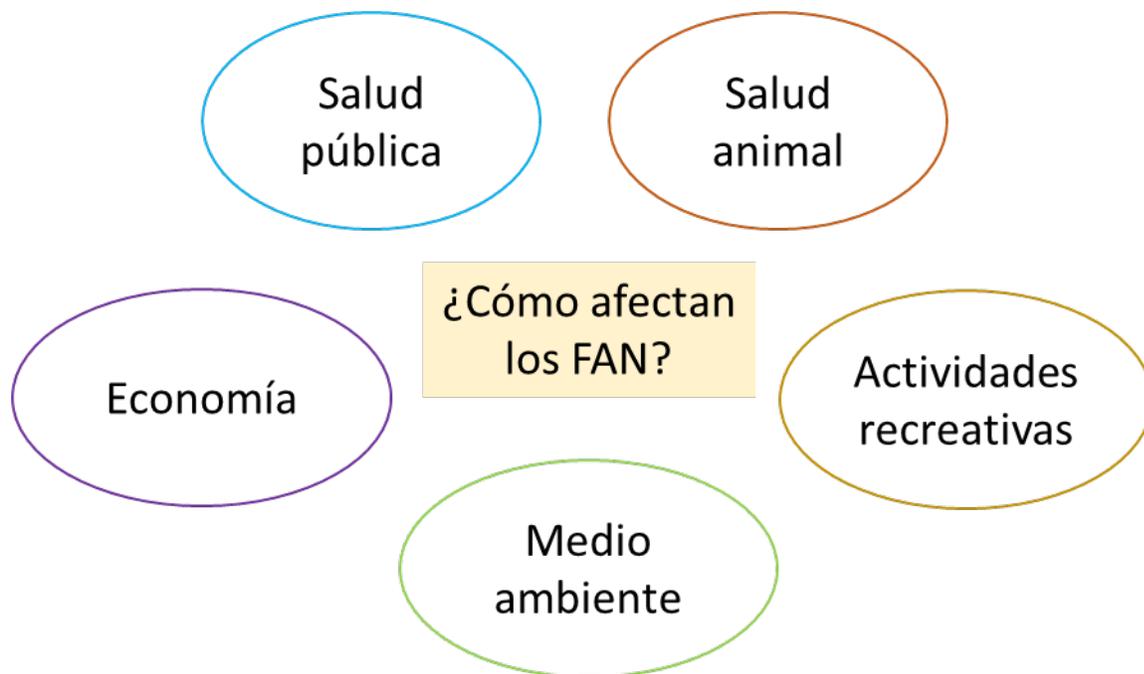


Figura 3. Ámbitos en donde los Florecimientos Algales Nocivos (FAN) afectan cuando se producen.



Figura 4. Paisajes de laguna Manialtepec. A) Al amanecer, B) Al atardecer, C-D) Presencia de aves (Fotografías: Cruz-Valdés, M. (A,C), Torres-Ariño, A. (B), Ramírez-Pérez, U. (D)).

en ambientes acuáticos, marinos y de agua dulce. Algunas especies de dinoflagelados tienen la capacidad de emitir luz, un fenómeno conocido como bioluminiscencia que es la producción de luz visible que tienen algunos organismos terrestres y acuáticos. Este fenómeno puede ser observado especialmente en la noche como destellos de luz en el agua y se produce por la oxidación química de la molécula luciferina por la enzima luciferasa, ante el estímulo de una reacción mecánica, eléctrica o química, en presencia de oxígeno. Si el nombre de la enzima resulta conocido, es porque también se presenta en otros organismos terrestres, como las luciérnagas. En cierta medida, algunas especies del fitoplancton brillan tanto más como las luciérnagas, aunque con tonos azules en lugar de verdes.

La bioluminiscencia está regulada

por un ritmo circadiano (es decir, ciclos de 24 h) y se cree que desempeña funciones de camuflaje, cortejo y defensa contra depredadores. En el caso de los dinoflagelados, se cree que utilizan este fenómeno para disuadir el pastoreo por parte de los copépodos, por lo que funciona como una respuesta de alarma o señal de aviso.

En México, este fenómeno ha sido observado en varios ecosistemas acuáticos. Uno de ellos es la laguna Manialtepec, en el estado de Oaxaca, cerca de Puerto Escondido en el Pacífico mexicano. Este sitio, cuenta con importantes actividades económicas que se desarrollan como son la pesca artesanal, algunas actividades turísticas entre las que destacan servicios de restaurantes, recorridos ecoturísticos principalmente para observar aves, manglares y el fenómeno



Figura 5. Infografía ilustrativa que explica la razón del brillo o bioluminiscencia en laguna Manialtepec, Oaxaca (Fuente: Elaboración propia).

de bioluminiscencia, donde recientemente los dinoflagelados reconocidos como protagonistas de este fenómeno son *Archaeperidinium minutum* (*Protoperidinium minutum*) y *Alexandrium ostenfeldii* (Fig. 5).

Florecimientos Algales Nocivos (FAN) ¿Qué tan dañinos pueden ser?

Los florecimientos algales nocivos (FAN), conocidos también como “mareas rojas”, son fenómenos que ocurren naturalmente en los sistemas acuáticos, que se producen por un incremento masivo en el número de las células de algunas especies del fitoplancton. Estos eventos pueden generarse por una sola especie o a un conjunto de ellas, principalmente como consecuencia de la alta disponibilidad de nutrientes (nitrógeno, fósforo, silicatos, metales y vitaminas) y condiciones hidrológicas y climáticas específicas que benefician la multiplicación de estos organismos.

Estas proliferaciones pueden formarse por otros grupos de microorganismos fotosintéticos como las cianobacterias, diatomeas y rafidofíceas, las cuales presentan diferentes modos de alimentación desde la autotrofia (transformar la energía luminosa en energía química), la heterotrofia (es un organismo que no puede producir su propio alimento, sino que se nutre de otras fuentes de carbono orgánico, principalmente materia vegetal o animal) o la combinación de ambas, conocida como mixotrofia.

Los FAN representan una amenaza creciente para los ecosistemas acuáticos, y que pueden tener impactos significativos en la calidad del agua. Estos crecimientos exponenciales de células pueden causar daños graves en peces, moluscos y crustáceos, alterando sus hábitats y ciclos de vida. Imaginemos que cuando

proliferan, su descomposición hace que se consuma el oxígeno en el agua que emplean otros organismos, lo que puede generar un ambiente hipóxico que asfixia a los peces. Algunas de las especies formadoras de FAN pueden causar daños físicos en los organismos por la presencia de espinas o la generación de mucosidades que llegan a obstruir algunas branquias. Además, la producción de toxinas de algunas especies asociadas a estos florecimientos puede tener graves consecuencias para la salud humana y la biodiversidad marina, ya que alteran funciones normales como el movimiento y el equilibrio, el razonamiento y la memoria.

Los estragos no se limitan al ámbito biológico; también se hacen sentir en los sectores económicos. Las comunidades pesqueras, que dependen directamente de la abundancia y la salud de los recursos marinos, se ven profundamente afectadas por la disminución y contaminación de los recursos pesqueros consecuencia de los FAN. Asimismo, el turismo costero, que a menudo se basa en la belleza y la biodiversidad de los entornos acuáticos, sufre pérdidas significativas debido a la degradación del paisaje y la amenaza para la salud pública.

La manera en que estas toxinas o sustancias químicas llegan a nosotros es mediante el consumo de alimentos contaminados, un ejemplo de ello es el consumir moluscos (almejas, ostiones, entre otros ya que para alimentarse filtran grandes cantidades de agua) acumulando a los microorganismos que producen dichas toxinas y es así como sirven de vector para el humano.

La mayoría de las veces podemos identificar a los FAN pues hay cambios en la coloración del agua (Figura 6), aunque algunas llegan a ser incoloras. Estas tonalidades pueden ser desde rojas (las

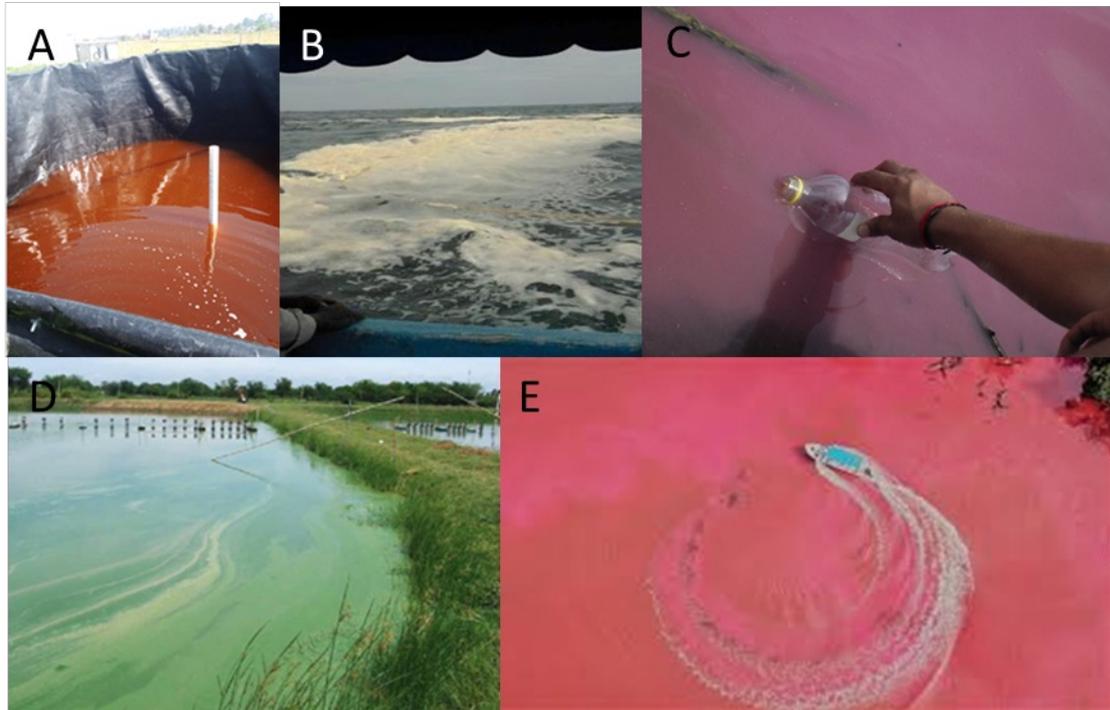


Figura 6. Florecimientos algales con cambio de coloración o aspecto del agua. A) Clorofita *Haematococcus* sp. en estanque de Tilapia en Tlatlahuquitepec, Puebla, B) Cianobacteria *Trichodesmium erythraeum* frente a la costa de Oaxaca, C) Bacterias púrpura Laguna La Salina de Bajos de Coyula, Oaxaca, D) Cianobacteria *Oscillatoria* sp. en estanque de camarón, Guerrero, E) Bacterias púrpura en Laguna Manialtepec, Oaxaca (Fotografías: O. García-Concha (A), A. Torres-Ariño (B-D), TV Azteca y Agencia Efe (E)).

más comunes), naranjas, doradas, cafés o marrones y verdes, y se presentan como natas flotantes en la superficie o en las primeras capas de la columna de agua, aunque también pueden estar por debajo de la superficie y pasar desapercibidas o como mencionamos antes, ser incoloras.

La coloración dependerá del microorganismo (bacterias púrpuras, cianobacterias y varias microalgas) o la especie que esté proliferando y el color es debido a sus pigmentos específicos, que, cuando son muy abundantes reflejan un determinado color. Algunas de ellas llegan a producir espumas flotantes, que se presentan más comúnmente en agua marina, pero también se han observado en sistemas de agua dulce e inclusive en ambientes hipersalinos (Figura 6).

La laguna Manialtepec es un sistema que presenta una dualidad, ya que

es un escenario fascinante en el que se puede admirar un paisaje rodeado de manglar, con presencia de aves residentes y migratorias. Por otra parte, es un ambiente con aguas eutrofizadas (con exceso de nutrientes y procesos de deterioro ambiental), con proliferaciones de microorganismos (bacterias púrpuras hasta el momento, Fig. 6) como resultado de diferentes procesos ecológicos. Destacan los mecanismos de estratificación y circulación del agua, la remoción o mezcla del fondo por la apertura de las bocanarras y la consecuente fluctuación de la salinidad.

¿Cómo se estudia el fitoplancton y los florecimientos algales?

Para estudiar el fitoplancton, lo más común es la toma de muestras de diverso

tipo. Para su colecta, se requieren desde embarcaciones tipo lancha hasta un buque oceanográfico, en donde se realizan lances de redes especiales, conocida como red de fitoplancton que puede tener un tamaño de poro específico, que oscila generalmente entre 20 y 200 μm , según el objetivo de estudio (Fig. 7). También se colectan muestras mediante una botella de un volumen conocido que permite cuantificar el número de células de la comunidad del fitoplancton.

Para analizar las condiciones ambientales en las que se presenta el fitoplancton se emplean equipos especiales. Las sondas multiparamétricas

o los CTD son dispositivos que ayudan a medir las variables ambientales del agua como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH, que ofrecen una idea de las condiciones que en ese momento del muestreo se tienen y sirven en caso de querer aislar y cultivar a la especie presente. Además de identificar las especies morfológicamente mediante estas técnicas clásicas, una parte de la muestra se destina al análisis de las toxinas. Lo cual permite identificar a las especies con potencial tóxico y mediante el análisis toxicológico se confirma si son tóxicas o no.

Actualmente existen otras técnicas que

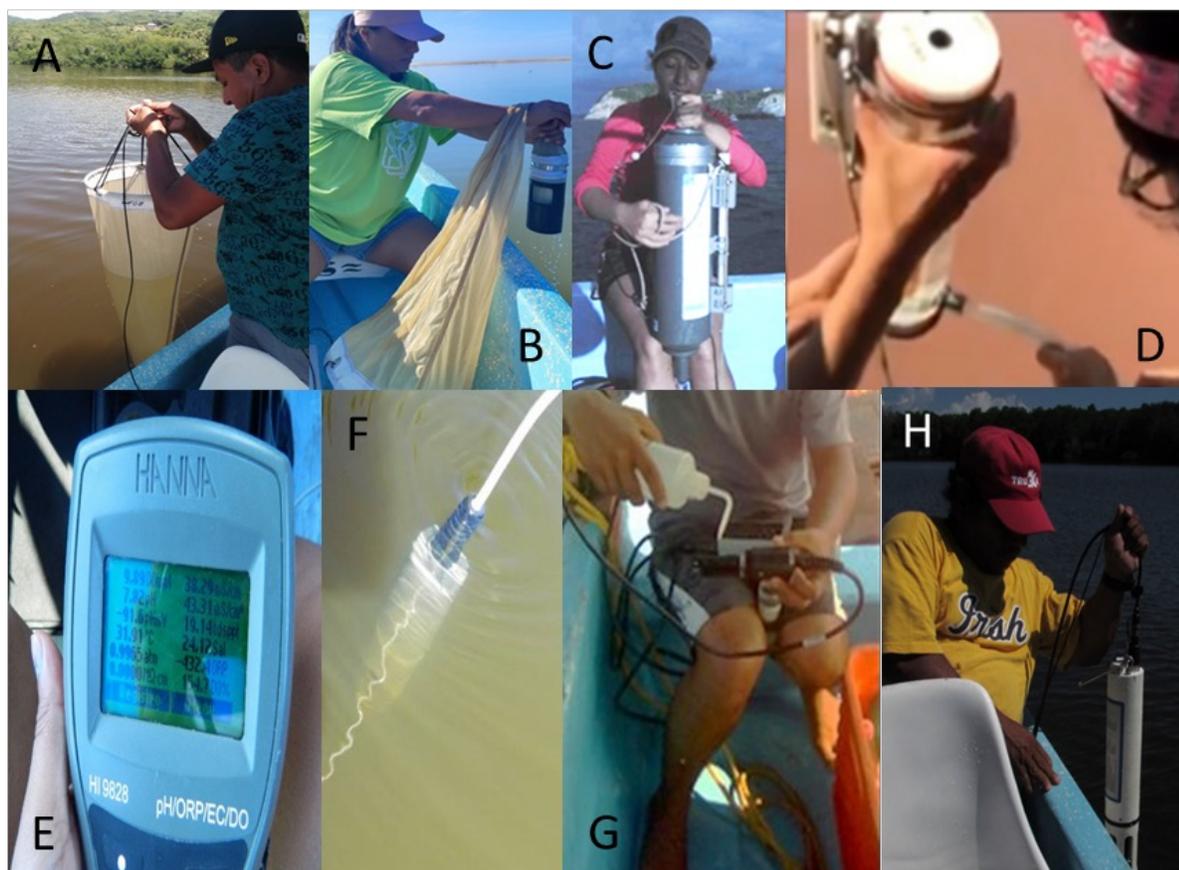


Figura 7. Muestreo del fitoplancton para el estudio de los Florecimientos Algales Nocivos. A-B) Colecta con red de fitoplancton, C) Botella muestreadora tipo Niskin, D) Botella muestreadora tipo Van Dorn, E-G) Toma de variables con una sonda multiparamétrica HANNA, donde se observa la pantalla (E) y el sensor dentro (F) y fuera del agua (G), H) Dispositivo conocido como CTD que miden la conductividad, temperatura y densidad del agua (Fotografías: A. Torres-Ariño).

involucran el estudio del ADN, conocidas como herramientas moleculares las cuales son muy útiles pues han ayudado a diferenciar especies que morfológicamente son muy similares. Aún falta mucho por estudiar y comprender y lo que se busca es que ambos enfoques, la morfológica o clásica y la molecular, se complementen entre ellas y permitan lograr un mejor conocimiento de los organismos formadores de estos fenómenos.

Consideraciones finales

Más allá de los efectos positivos en el turismo debido al fenómeno de bioluminiscencia o a los impactos negativos debido a los FAN, el fitoplancton cumple con una función ecológica muy importante en los ambientes acuáticos. Además, naturalmente son una base importante en el equilibrio de la cadena alimenticia, por lo que, deberíamos de ser más conscientes sobre la contaminación que generamos y su efecto en los cuerpos de agua.

Ante esta compleja problemática, se hace imperativo implementar medidas de gestión y prevención eficaces. La vigilancia y el monitoreo continuo de los ecosistemas acuáticos son fundamentales para detectar y responder rápidamente a la presencia de florecimientos algales nocivos. Además, se requiere una cooperación interdisciplinaria entre científicos, autoridades gubernamentales, comunidades locales y actores del sector privado para abordar de manera integral esta crisis ambiental y proteger la vida marina y las actividades del ser humano que dependen de ella.

Agradecimientos

La primera autora agradece a CONAHCYT por el apoyo económico brindado para la realización de su Tesis de Maestría, que dio origen a la información mostrada en este documento. A Ulises Ramírez Pérez del Restaurante Puesta del Sol y a Ranulfo Santos Rodríguez por su atención siempre brindada en diferentes muestreos. A la Agencia de Las Negras de Municipio de San Pedro Mixtepec, por las facilidades otorgadas en el trabajo de campo.

Referencias

- Band-Schmidt, C. J., J.J. Bustillos-Guzmán, D.J. López-Cortés, E. Núñez-Vázquez & F.E. Hernández-Sandoval. 2011.** El estado actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica* 21(3): 381-413.
- Cortés Altamirano, R. 1989.** Las mareas rojas. México, D.F.: AGT Editor, S.A.
- Galí, M., E. Devred, M. Levasseur, S.J. Royer & M. Babin. 2015.** A remote sensing algorithm for planktonic dimethylsulfoniopropionate (DMSP) and an analysis of global patterns. *Remote Sensing of Environment* 171: 171-184.
- Reyes-Salinas, A., C.J. Band-Schmidt, F.E. Hernández-Sandoval, I. Leyva-Valencia, E.J. Núñez-Vázquez & J.J. Bustillos-Guzmán. 2023.** Florecimientos algales nocivos ("mareas rojas"): ¿qué son, porque son nocivos y para qué servirán? *Recursos Naturales y Sociedad* 9 (3): 59-77.
- Torres-Ariño, A. & A. Cuevas-Aguirre. 2016.** Informe técnico Laguna Manialtepec (Batimetría y Bioluminiscencia). Universidad del Mar, Las Negras, Municipio de San Pedro Tututepec, Distrito de Juquila en el Estado de Oaxaca. 27 p.
- Torres-Ariño, A., L.A. Pérez-Pérez, C.E. Rito-Ruiz, A. Luna-Hernández, M.D. Velasco-Hernández, L.I. Ramos-Espejel & J.E. Herrera-Galindo. 2020.** Análisis de la coloración rosa en la Laguna Manialtepec, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar* XXIV(70): 31-45.

- Santiago-Morales, I. S., B. Zavala-Trujillo, S. Blanca-Barajas, J.M. Pérez-Pérez, O. Salinas-Jijón, C. Valeriano-Osorio, Y. Huante-González & A.M. Ríos-Martínez. 2023.** Microorganismos y bioluminiscencia en la Laguna de Manialtepec, Oaxaca. Pp: 55-77. *In:* Pérez-Morales, A. (Ed.). Investigaciones marinas y costeras del Pacífico mexicano. Universidad de Colima, Colima, México.
- Valiadi, M. & D. Iglesias-Rodríguez. 2013.** Understanding bioluminescence in dinoflagellates-how far have we come? *Microorganisms* 1(1): 3-25.