

Ortiz-Gutiérrez, J.E., L.A. Ortega-Clemente, Y. Cocotle-Ronzón & H.C. Díaz-Medina. 2025. Evaluación de la Presencia de Plaguicidas Organofosforados en Arrecifes de la Zona Norte del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, p. 153-172. In: A. Granados-Barba, L.D. Ortiz-Lozano & A.L. Gutiérrez-Velázquez (eds.). Nuevo Conocimiento sobre el Corredor Arrecifal del suroeste del Golfo de México: Integrando los Ambientes Costeros. Universidad Autónoma de Campeche. 540 p. ISBN 978-607-8907-34-2.doi 10.26359/EPOMEX02202505.

# Evaluación de la Presencia de Plaguicidas Organofosforados en Arrecifes de la Zona Norte del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

José Emiliano Ortiz-Gutiérrez<sup>1</sup>, Luis Alfredo Ortega-Clemente<sup>2,\*</sup>,  
Yolanda Cocotle-Ronzón<sup>1</sup> & Hilary Cristina Díaz-Medina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Química Farmacéutica Biológica.  
Universidad Veracruzana,  
Xalapa, Veracruz

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Boca del Río  
Tecnológico Nacional de México,  
Boca del Río, Veracruz

<sup>3</sup>Programa de Maestría en Ecología y Pesquerías,  
Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Universidad Veracruzana.  
Boca del Río, Veracruz

\*Autor de correspondencia: [luisortega@bdelrio.tecnm.mx](mailto:luisortega@bdelrio.tecnm.mx)

## Resumen

En México los plaguicidas se introdujeron desde hace aproximadamente 40 años, siendo primero los plaguicidas organoclorados (OC) y después los organofosforados (OP). El uso de plaguicidas en zonas costeras ha sido constante debido a que son los más utilizados por la agricultura, específicamente en las planicies costeras; sin embargo, existe poca información del impacto que generan los plaguicidas OP sobre los ecosistemas arrecifales, los cuales tienen una interconexión con las cuencas hidrológicas que son las encargadas del intercambio de materia y energía con el mar. El presente estudio se desarrolló en cinco arrecifes coralinos selectos del norte del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM), como son Cabo Nuevo, Lobos, Corazones, Tanhuijo y Blake, pertenecientes al Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan (SALT), y tiene como objetivo evaluar la presencia y concentración de azinfos metil, clorpirifos etil, diazinón, malatión y ometoato por cromatografía de gases, parámetros fisicoquímicos, en muestras de agua y sedimento, materia orgánica, humedad y granulometría en sedimento. El muestreo se realizó mediante salidas de campo en una embarcación con motor fuera de borda. Para muestras de agua se utilizó una botella Niskin y para sedimento una draga Van Veen; ambos muestreos fueron por triplicado. Aunque los resultados revelaron concentraciones muy bajas de plaguicidas OP en los arrecifes estudiados, incluso en algunos su presencia fue casi nula; no obstante, ésta no puede ser pasada por alto ya que la detección de plaguicidas OP en los arrecifes coralinos es señal de la influencia humana en estos ecosistemas marinos por la escorrentía dada en las zonas costeras. Estos hallazgos subrayan la necesidad de una vigilancia continua y mejor manejo de cuencas, para prevenir la acumulación de contaminantes y proteger la salud de los arrecifes coralinos y su biodiversidad asociada.

**Palabras claves:** columna de agua, contaminación, sedimentos.

## Abstract

In Mexico, pesticides were introduced approximately 40 years ago, with organochlorine pesticides (OC) being the first and then organophosphate pesticides (OP). The use of pesticides in coastal areas has been constant, because these areas are the most used by agriculture, specifically in the coastal plains. However, there is very little information on the impact that OP pesticides generate on reef ecosystems, which have an interconnection with hydrological basins, which are responsible for the exchange of matter and energy with the sea. The present study was developed in five select coral reefs in the north of the CASGM, belonging to the SALT (Cabo Nuevo, Lobos, Corazones, Tanhuijo and Blake), and aims to evaluate the presence and concentration of azinphos methyl, chlorpyrifos ethyl, diazinon, malathion and omethoate by gas chromatography, physicochemical parameters, in water and sediment samples, organic matter, humidity and granulometry in sediment. Sampling was carried out through field trips in a boat with an outboard motor. A Niskin bottle was used for water samples and a Van Veen dredge was used for sediment, both samplings were in triplicate. Although the results revealed very low concentrations of OP pesticides in the reefs studied, even in some cases almost zero presence of these, this cannot be overlooked. Since, the detection of OP pesticides in coral reefs indicates human influence on these marine ecosystems due to runoff in coastal areas. These findings underscore the need for continued monitoring and improved watershed management to prevent the accumulation of contaminants and protect the health of coral reefs and their associated biodiversity.

**Keywords:** coral reefs, pollution, coastal areas.

## Introducción

Los plaguicidas, de acuerdo con la FAO & OMS (2014), son “cualquier sustancia o mezcla de sustancias con ingredientes químicos o biológicos destinados a repeler, destruir o controlar cualquier plaga o a regular el crecimiento de las plantas”. La clasificación utilizada generalmente es de acuerdo con su estructura química, la cual se divide en distintas familias, por ejemplo: organoclorados (OC), organofosforados (OP), carbamatos (C), tio-carbamatos (TC), piretroides (PY), derivados bipiridilos (BP), entre otros; siendo plaguicidas organofosforados los que se encuentran de “moda” debido a su eficacia (Ramírez y Lacasaña, 2001).

Sin embargo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda la clasificación de los plaguicidas por el nivel de peligro de toxicidad, los cuales son: sumamente peligroso (Ia), muy peligroso (Ib), moderadamente peligroso (II), poco peligroso (III) y poco probable que presente un peligro agudo (U). Desde un punto de vista general, los plaguicidas son sustancias que se utilizan con el propósito de reducir o eliminar los efectos negativos causados por las plagas (Ramírez & Lacasaña, 2001).

De acuerdo con Ramírez & Lacasaña (2001), los plaguicidas aparecieron aproximadamente entre los años 1930 y 1940 debido a estudios que se enfocaban en el desarrollo de armas químicas, las cuales empezaron siendo probadas en insectos. Después, con el paso de los años, empezó la industrialización de los plaguicidas, incluyendo en este los intereses económicos.

A diferencia de otros compuestos químicos considerados contaminantes ambienta-

les, los plaguicidas son introducidos de una forma totalmente excesiva, normalizada y generalizada al medio ambiente, esto debido a su mal uso y falta de especificación o de conocimiento que se da en los mismos; esto termina causando daños a sus alrededores, como por ejemplo los ecosistemas, y por ende a los humanos de una manera directa e indirecta (Carvalho & Hance, 1993; Ramírez & Lacasaña, 2001).

En México los plaguicidas se introdujeron desde hace aproximadamente 40 años, siendo los organoclorados (OC) los primeros, y después los plaguicidas organofosforados (OP). De acuerdo con Díaz-Vallejo *et al.* (2021), el uso de plaguicidas en México de 2013 al 2017 existió un uso promedio de 2 kg por hectárea de cultivo, donde los estados que más resaltaron en el uso de los plaguicidas en el país fueron Sinaloa, Chiapas, Colima, Jalisco, Nayarit, Sonora, Tamaulipas y Veracruz. En Veracruz, la agricultura genera el 11.4 % del volumen de la agricultura a nivel nacional, colocándolo como el segundo estado con mayor aporte a la nación (Admin, 2020), siendo esto muy importante para el país.

El uso de plaguicidas en las zonas costeras ha sido constante debido a que estas zonas son las más utilizadas por la agricultura, específicamente las planicies costeras debido a la alta concentración de minerales y materia orgánica que llega a estas zonas por la erosión en las porciones altas de las cuencas hidrográficas (Ortiz-Lozano *et al.*, 2010); sin embargo, el uso excesivo de plaguicidas ya sea debido a su mal uso, irregularidad legal y el vasto conocimiento o inclusive ignorancia

han ocasionado su constante presencia en el suelo, mantos freáticos, lagos, ríos, estuarios y por ende en las cuencas receptoras, o bien el mar. En las últimas décadas, el uso de los plaguicidas OP se ha incrementado sustituyendo a los OC debido a su rápida reacción y descomposición en el medio ambiente (Carvalho & Hance, 1993).

Díaz-Vallejo *et al.* (2021), evaluaron el cumplimiento de los límites máximos permisibles de residuos de plaguicidas en Veracruz, México y los riesgos para la salud asociados con su consumo. Los resultados generales fueron que, la mayor parte de las muestras positivas se concentró en la región centro (38.7 %), de ahí la región norte (20.9 %), montañas (20.4 %) y sur (20 %) del estado; el 14.8 % tuvo concentraciones excedentes de los límites máximos de residuos (LMR) y el 14.3 % contenían residuos de plaguicidas prohibidos.

Los autores identificaron 428 residuos, agrupados en 75 plaguicidas, siendo OP los más frecuentes (24.6 %); se detectaron plaguicidas OP (malatión, paratión metílico, diazinón y clorpirifos) en cultivos de nopal, mientras que en granos (maíz, frijol, trigo y garbanzo) se detectaron malatión, clorpirifos, cipermetrina y metabolitos de diclorodifeniltricloroetano (DDT). Clorpirifos fue el plaguicida con mayor frecuencia, y aunque la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América (EPA) lo considera como no cancerígeno, actúa como disruptor (perturbador) endocrino y se ha asociado con una gran diversidad de patologías como criptorquidia, disminución de la cuenta espermática, cáncer de mama, de ovarios y de tiroides, menarca a edad más temprana y otras alteraciones hormonales.

En conclusión, el estudio enfatizó la importancia de monitorear y regular el uso de pesticidas, así como realizar evaluaciones de riesgos para proteger la salud pública y el medio ambiente.

Por otra parte, Carvalho & Hance (1993) encontraron que los plaguicidas OP pueden introducirse deliberadamente a los medios marinos en concentraciones significantes como para afectar a la flora y fauna acuática; no obstante, después de una vasta investigación de bibliografía, no se encontró nada que demuestre cómo actúan los OP en los arrecifes coralinos. La información sobre la presencia y concentración de plaguicidas OP en arrecifes del CASGM es muy escasa, y solo se cuenta con literatura muy limitada; sin embargo, la contaminación de los arrecifes por plaguicidas OP es algo que pudiera presentarse debido a la interconexión ecosistémica que existe entre las cuencas hidrográficas con las zonas costeras y los arrecifes.

La zona costera se caracteriza por ser una zona de transición entre dos ambientes ligados entre sí por el intercambio de materia y energía que se genera entre éstos; donde las cuencas hidrológicas (el agua) es el principal causante de esta interconexión y el mar es el receptor de estas cuencas o, en otras palabras, del flujo de materia y energía (Ortiz-Lozano *et al.*, 2010). Las cuencas hidrológicas se consideran emisoras, mientras que las zonas marinas se consideran receptoras; de esta manera, la cuenca emisora genera un escurrimiento superficial y subterráneo, transportando materia y energía como son sedimentos, nutrientes y contaminantes (Garzón-Ferreira, 1997; Silva-Casarín *et al.*, 2017; Méndez *et al.*, 2023), afectando a la cuenca receptora (corrientes, carga orgánica,

sedimentos o contaminantes) que pueden causar un desequilibrio ecológico. A lo largo de las cuencas hidrológicas existen espacios de asentamientos humanos como son las zonas agrícolas, ganaderas, industriales, acuáticas y turísticas, así como poblados y ciudades (Silva-Casarín *et al.*, 2017; National Geographic, 2022).

Carvalho y Hance (1993) investigaron los efectos de los plaguicidas en ecosistemas acuáticos destacando a los plaguicidas OP, ya que desde esos años su uso estaba en aumento. Encontraron que los plaguicidas OP pueden introducirse deliberadamente al medio marino en concentraciones significativas como para afectar a la flora y fauna acuática ya que, aunque se encuentren en concentraciones muy bajas (nanogramos o microgramos por litro), pueden ser tóxicos para animales vertebrados e invertebrados acuáticos. Asimismo, realizaron estudios sobre el comportamiento de los plaguicidas en el ambiente marino tropical, donde las zonas costeras de Centroamérica indicaron altas concentraciones de DDT, y sus metabolitos, tanto en sedimentos como en organismos acuáticos, así como una contaminación generalizada de compuestos OP como el clorpirifos.

También se menciona que la persistencia de los plaguicidas OP en el medio marino puede variar dependiendo de factores como sus propiedades químicas, condiciones ambientales y procesos de degradación. Por último, destacan la presencia e impacto de los plaguicidas en el medio marino, incluidos los OP, y la necesidad existente de profundizar en la investigación y evaluación de su distribución, persistencia y destino final en los ecosistemas marinos tropicales.

Albert & Benítez (2005) estudiaron el impacto de los plaguicidas en los ecosistemas costeros del golfo de México determinando que su presencia es un problema real, presente y cotidiano que amenaza la estabilidad de los ecosistemas. Mencionan que entre el 40 y 80 % del volumen de plaguicidas que se aplica, se pierde por volatilización e indican que cuando llegan a las aguas costeras se distribuyen en la columna de agua y sedimentos. Concluyen que los plaguicidas no son selectivos por lo que su impacto es general, ocasionando importantes daños de acuerdo con su toxicidad, que determina el riesgo de muerte de los organismos o la magnitud de los daños, y la persistencia que define su permanencia sin menoscabo de su toxicidad.

En el golfo de México se localiza el CASGM, un corredor ecológico de aproximadamente 550 km de largo que se ha identificado como una importante región desde el punto de vista ambiental, económico y social, debido a la presencia de arrecifes coralinos y rocosos-coralinos que lo conforman; donde los arrecifes coralinos se subdividen en: bordeantes, emergidos de plataforma y sumergidos de plataforma (CEMDA, 2021). El CASGM puede ser dividido en tres zonas: el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) al norte, el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) en el centro y un conjunto de pequeños arrecifes en la región de los Tuxtlas llamados Arrecifes de los Tuxtlas (AT) al sur (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013) (figura 1).

Los arrecifes que conforman el CASGM son importantes debido a que dan protección a las zonas costeras ante tormentas tropicales o huracanes, disminuyen el oleaje previniendo la erosión (CONABIO, 2022a), entre otros nu-

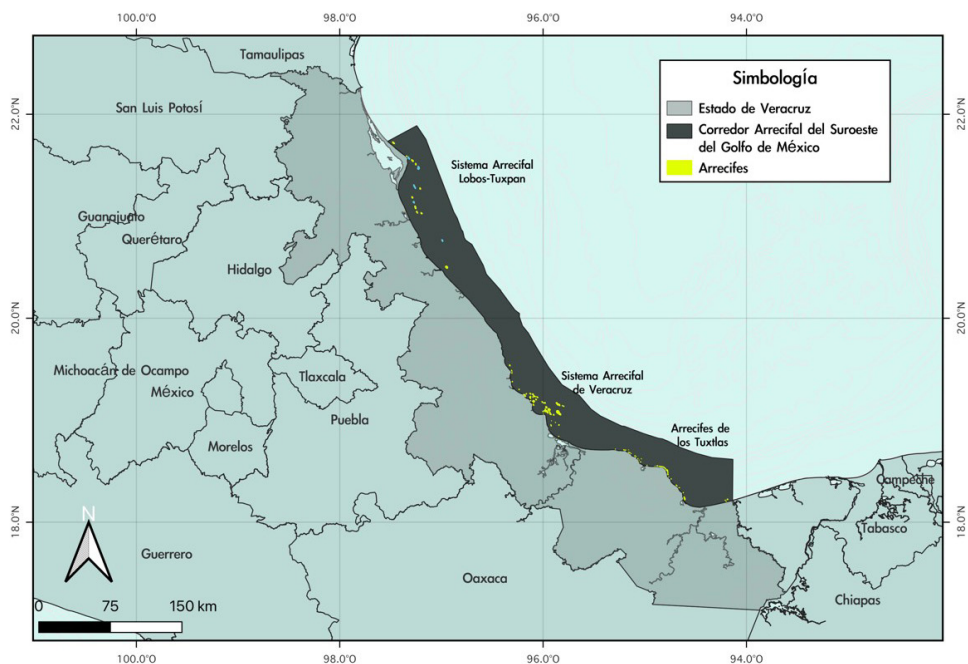


Figura 1. Localización del CASGM dentro del golfo de México.

merosos servicios ecosistémicos (EPA, 2023); sin embargo, los arrecifes han presentado un gran deterioro debido a la influencia de diversas variables locales y globales (Bruno & Valdivia, 2016; Jordán-Garza *et al.*, 2017), incluyendo en éstos el calentamiento global. Uno de los principales factores regionales o locales que logran afectar al CASGM son los impactos de las cuencas hidrológicas, ya que se encuentra influenciado por 11 cuencas exorreicas (figura 2) con las que tiene una alta interacción (CEMDA, 2021).

Con base en lo anterior, debido a que hay muy poca información acerca del impacto que generan los plaguicidas OP sobre los ecosistemas arrecifales del CASGM, el presente estudio se desarrolló en cinco arrecifes co-

ralinos selectos pertenecientes al SALT, con el objetivo evaluar la presencia de plaguicidas organofosforados (azinfos metil, clorpirifos etil, diazinón, malatión y ometoato) en los arrecifes, debido a la posible contaminación por la influencia de las actividades humanas desarrolladas en las cuencas de los ríos Tuxpan y Cazones.

La finalidad es incrementar el conocimiento sobre la presencia de los OP en los ecosistemas marinos de la plataforma continental frente al estado de Veracruz, para con ello sentar las bases que permitan tener parámetros de referencia para monitorear del uso de estos compuestos en las actividades humanas y su impacto sobre los ecosistemas arrecifales.

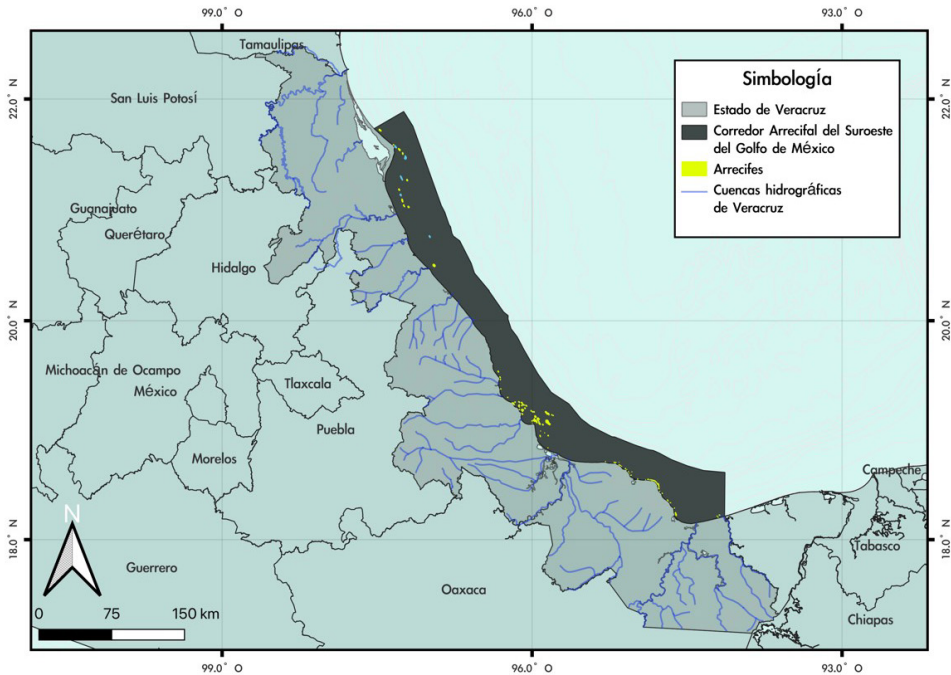


Figura 2. Cuencas hidrográficas de Veracruz de Ignacio de la Llave (Fuente: CEMDA, 2021).

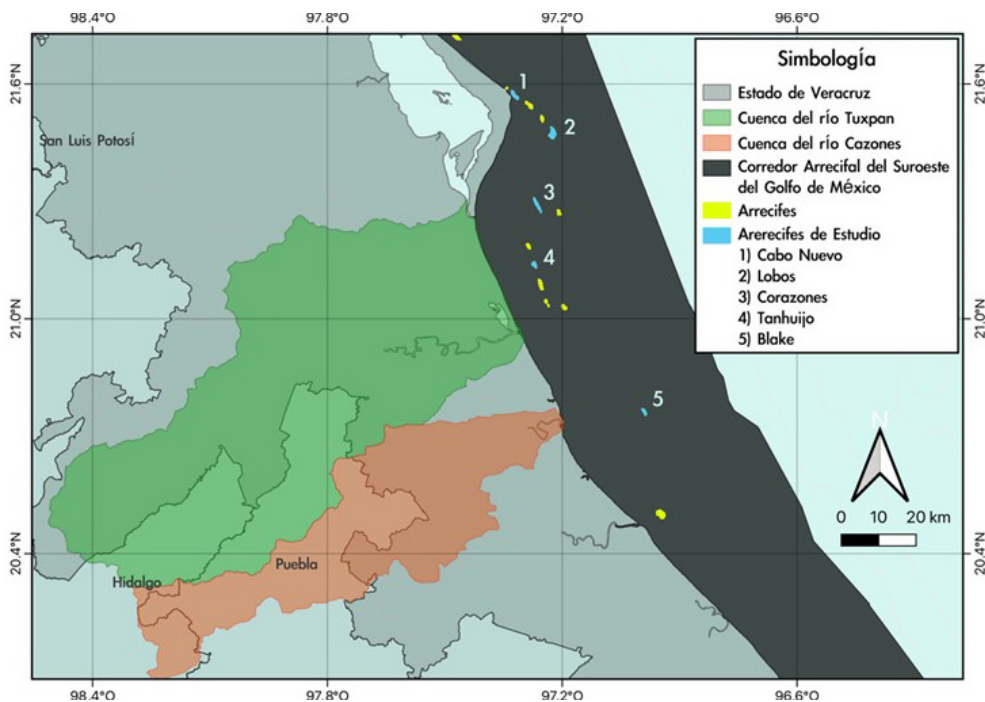
## Métodos

### Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el SALT, ubicada en la zona norte del CASGM (figura 3) en cinco arrecifes, Cabo Nuevo, Lobos, Corazones, Tanhuijo y Blake; en dos temporadas, verano 2022 e invierno 2023. Las fechas que se eligieron para el muestreo se debieron a la complejidad fisiográfica, la cual representa un papel importante en los patrones de circulación de las aguas costeras, vientos, cambios de temperatura entre el continente y el océano y en la distribución de los recursos bióticos marinos de Veracruz (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003; Silva-Casarín *et al.*, 2017),

en cuyos ambientes se encuentran representadas especies de prácticamente todos los grupos costeros y marinos.

Para la caracterización de los arrecifes seleccionados, se realizó la búsqueda de bibliografía relacionada con el CASGM en específico el SALT, además de herramientas como el programa Qgis ver. 3.30 para el manejo de información geográfica que permite representar la localización, ShapeFiles del Portal de Geo información 2023 de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2022b), QuickMapServices, Xtool y svg2ColoR.



**Figura 3.** Ubicación de arrecifes seleccionados en este estudio con las cuencas hidrográficas que interactúan con ellos.

### Caracterización de parámetros fisicoquímicos en columna de agua y sedimentos

#### Toma de muestras

El muestreo se realizó mediante salidas de campo en una embarcación con un motor fuera de borda. Para muestras de agua se utilizó una botella Niskin desde la embarcación (1 L en botellas de plástico) y para sedimento una draga Van Veen  $2 \text{ cm}^3$  (2 kg en bolsas marca Ziploc) mediante colecta manual por buceo scuba, ambos muestreos fueron por triplicado.

#### Análisis de parámetros fisicoquímicos en columna de agua

El análisis de parámetros fisicoquímicos en columna de agua (superficie, medio y fondo) fue para nitritos, nitratos, amonio, fos-

fato, salinidad y pH. Para determinación de compuestos nitrogenados ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ) y fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) se usó el multiparámetro HANNA modelo HI83099, para pH con un medidor de pH digital HANNA modelo HI98130 y para salinidad en un refractómetro análogo Brix ATC 0-100 %. El análisis de los parámetros fisicoquímicos es de suma importancia, ya que permiten la utilización de medidas que mejoren la calidad del agua y son la base para tomar medidas preventivas de vigilancia y protección (Zhen-Wu, 2009; Alcivar-Bueno, 2017).

#### Análisis en sedimento de granulometría, humedad y LOI

La caracterización de los sedimentos se hizo mediante la determinación de: humedad, distribución de tamaño de partícula (granu-

lometría) y LOI (Pérdida de Masa por Ignición). Se tomaron muestras de sedimentos superficiales (5-10 cm) mediante una draga Van Ven 2 cm<sup>3</sup>. El análisis granulométrico se realizó mediante la determinación de la distribución de tamaño de partícula de la materia mineral del sedimento con el método por tamizado y sedimentación. El procedimiento consistió en el tamizado en seco de 1000 g de sedimento, para determinar el porcentaje de las arcillas y limos a las partículas con diámetro esférico menor de 0.063 mm, a las arenas con diámetro esférico de 0.063 mm a 1.18 mm y a las gravas con diámetro mayor de 1.18 mm. El contenido de humedad (*Ec. 1*) se determinó como la pérdida de peso en condiciones definidas tras un proceso de secado de 100 g de muestra a 105 °C por 48 h en una estufa marca ARSA AR modelo 130-D. La pérdida de masa por ignición (LOI) (*Ec. 2*) se obtuvo calcinando la muestra de 5 g de sedimento en una mufla marca ARSA modelo AR-340 a 550 °C, determinada por la diferencia de peso entre la muestra sin calcinar y calcinada, se expresa en forma porcentual:

$$\% \text{Humedad} = \left( \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso total de muestra}} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

$$\% \text{LOI} = \left( \frac{\text{Peso de materia perdida}}{\text{Peso total de muestra}} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

### Análisis de plaguicidas organofosforados en sedimento por cromatografía de gases (GC-ECD)

Para el análisis de plaguicidas, se tamizaron (64 µm) 500 g de sedimento en húmedo, el tamizado se colocó en un recipiente de vidrio (1 L), después se realizó un enjuague dos veces con 500 mL de solvente (agua/ace-

tona al 35 % v/v) y se dejó reposar por 15 min (Durand *et al.*, 2004), posteriormente se recuperó el solvente en frascos de 1 L. Los frascos se almacenaron a 4 °C durante el transporte.

El sedimento después del enjuague fue secado en estufa a 40 °C, posteriormente molido y almacenado a temperatura ambiente hasta su extracción y análisis. Se extrajo el plaguicida por el método Soxhlet en muestras del sedimento (10 g) con 100 mL de agua/acetona al 35 % (v/v), posteriormente se mezclaron con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y se extrajeron con diclorometano. Después, el extracto concentrado, se traspasó cuantitativamente con hexano a un tubo con tapón ajustado a volumen de 10 mL. Posteriormente, se purificó el extracto agregando 1 mL de ácido sulfúrico concentrado y se agitó vigorosamente durante 1 min. Se dejó reposar por 3 min para separar las fases y se filtró la fase orgánica por una capa de sulfato de sodio. Se enjuagó el sulfato de sodio con hexano y el extracto con los enjuagues colectados se llevaron a un matraz de fondo redondo y se llevaron a sequedad en viales ámbar con tapón de teflón.

El extracto se transfirió a un vial volumétrico aforado a un volumen final de 1 mL con hexano. Del extracto se determinó y cuantificó el plaguicida por cromatografía de gases en un equipo de la marca Perkin Elmer modelo Clarus 580, con un detector de captura de electrones (GC-ECD) (Martínez-Aguilar *et al.*, 2018). Se utilizó una columna capilar de 25 m PE 5. Se inyectó una muestra de 2 µL en modo splitless y dos minutos después se cerró la válvula. Se llevó a cabo un rampeo de temperatura calentando de 100 °C por 2 min, se incrementó a 10 °C por minuto hasta alcanzar 150 °C donde se

dejó por 0.5 min, para posteriormente incrementarse a 1.5 °C por minuto, hasta 225 °C donde se dejó por 3 min. Finalmente, se incrementó a 10 °C por minuto hasta 255 °C durante 15 min. El detector se programó a 325 °C y el inyector a 280 °C.

### **Análisis de plaguicidas organofosforados en columna de agua por cromatografía de gases (GC-ECD)**

Para el análisis de plaguicidas en columna de agua, las muestras de agua a diversas profundidades se colectaron en botellas Niskin y se almacenaron en botellas de 1 L de capacidad. Las muestras superficiales se tomaron directamente en la botella de vidrio a unos 25 cm por debajo de la superficie, para evitar la adhesión de películas de aceite o materiales extraños. Después, las muestras se refrigeraron entre 2 a 4 °C, por no más de 15 días.

Posteriormente, se agregaron solventes de extracción (agua/acetona al 35 % v/v) y se depositó la muestra en un embudo de separación de 2 L; se adicionaron 75 ml de éter al 15 % en hexano, se agitó vigorosamente durante 2 min, se dejó en reposo para separar las dos fases y transferir la fase orgánica

a un matraz Erlenmeyer conteniendo 0.5 – 1.0 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidro. Se tapó el matraz con papel aluminio y se adicionaron al embudo de separación 50 ml de éter al 6 % en hexano, se agitó durante 2 min, y se repitió el paso anterior reuniendo el extracto con el anterior en el mismo matraz y se diluyeron con 50 ml de n-hexano como lavado.

El extracto se transfirió a un vial volumétrico aforado a un volumen final de 1 mL con hexano. Del extracto se determinó y cuantificó el plaguicida por cromatografía de gases en un equipo de la marca Perkin Elmer modelo Clarus 580, con un detector de captura de electrones (GC-ECD) (Martínez-Aguilar *et al.*, 2018). Se utilizó una columna capilar de 25 m PE 5., y se inyectó una muestra de 2 µL en modo splitless y dos minutos después se cerró la válvula. Se llevó a cabo un rampeo de temperatura calentando de 100 °C por 2 min, se incrementó a 10 °C por minuto hasta alcanzar 150 °C donde se dejó por 0.5 min, para posteriormente incrementarse a 1.5 °C por minuto, hasta 225 °C donde se dejó por 3 min. Finalmente se incrementó a 10 °C por minuto hasta 255 °C durante 15 min. El detector se programó a 325 °C y el inyector a 280 °C.

## **Resultados**

### **Descripción y caracterización de los diferentes arrecifes de la zona norte del CASGM**

Los arrecifes considerados en este estudio son Cabo Nuevo, Lobos, Corazones, Tanhuijo y Blake (ver figura 3).

### **Arrecifes**

El arrecife Cabo Nuevo es un arrecife de tipo sumergido, el cual está ubicado a unos 300 m de la costa (por lo que se debe ver reflejado con una alta sedimentación), cuenta con aproximadamente 3 km de largo por

casi 1 km de ancho y con una superficie de 204 ha (tabla 1) (CEMDA, 2021).

El arrecife Lobos está ubicado en los puntos geográficos 21°01'38" N y 97°11'40" W (tabla 1), tiene una forma ovalada de tipo plataforma con su eje mayor orientado en sentido sureste noreste, que oscila entre los 0.5 y 27 m de profundidad (González-Gándara & Salas-Pérez, 2020). De acuerdo con CEMDA (2021), el arrecife Corazones es un arrecife sumergido que se detectó gracias a reportes de un prestador de servicios turístico de buceo SCUBA, el cual se encuentra a unos 16 km de la boca de la laguna de Tamiahua; su longitud es de 4.7 km (siendo el arrecife más largo del CASGM), con un ancho de 0.756 km y una profundidad mínima de 18 m y máxima de 28 m, siendo su orientación es de noroeste-sureste. Su eje morfológico es en forma de campana, mientras que su eje topográfico (viéndolo del noroeste al sureste) es de somero a más profundo y plano. En la parte somera, la cobertura de coral vivo es baja y la presencia de macroalgas es dominante, mientras que, en la parte profunda, existe una alta presencia de sedimentación y hay presencia de microalgas, esponjas, hidrozoarios, y corales blandos con escasas colonias de coral.

El arrecife Tanhuijo se localiza aproximadamente a unos 18 km de la desembocadura

del río Tuxpan, mide 1.85 km de longitud y 1.02 km de anchura, contiene una llanura arrecifal que posee un canal natural que corre de oeste a este y su profundidad máxima es de 11 m y la mínima es de 1 m. El arrecife Blake (ver figura 3) está ubicado a 28 km al sureste de la poligonal del SALT, y a 22 km al este-noreste de la desembocadura del río Cazonas, donde su profundidad máxima es de 30 m y la mínima es de 9 (CEMDA, 2021).

### Caracterización de sedimento

En la tabla 2 se muestran los valores promedio y desviación estándar de los parámetros humedad (%), pérdida de masa por ignición (materia orgánica, %) y la caracterización del sedimento por granulometría (Grava, Arena y Limo) para cada uno de los sitios de muestreo (arrecife) en las estaciones verano 2022 e invierno 2023.

En lo referente a la humedad, ésta es variable en todos los sitios debido a que van de 14 % para Tanhuijo a 31 % para Corazones en la estación de verano; sin embargo, para invierno el porcentaje de humedad se ve incrementada para algunos sitios. Con respecto al contenido de materia orgánica, este mantiene sus valores por sitio de muestro y van de 0.49 % para Cabo Nuevo a 3.44 % en Lobos. Por otro lado, los sitios con mayor porcentaje de grava son Sacrificios, Tanhui-

**Tabla 1.** Métricas de los cinco arrecifes del SALT al norte del CASGM (CEMDA, 2021).

Arrecife	Origen de arrecife	Latitud (grados decimales)	Longitud (grados decimales)	Área Total (ha)
Cabo Nuevo	Coralino	21.571206	-97.321132	204.19
Lobos	Coralino	21.027222	-97.194444	231.77
Corazones	Coralino	21.291328	-97.263815	237.18
Tanhuijo	Coralino	21.133333	-97.266667	160.28
Blake	Coralino	20.763136	-96.990064	124.487

**Tabla 2.** Valores promedio y desviación estándar de los parámetros humedad, pérdida de masa por Ignición y granulométricos en verano 2022 e invierno 2023 por arrecife.

Arrecife	Verano 2022					Invierno 2023				
	Humedad (%)	Pérdida de Masa por Ignición (%)	Granulometría (%)			Humedad	Pérdida de Masa por Ignición (%)	Granulometría (%)		
			Grava	Arena	Limo			Grava	Arena	Limo
Cabo nuevo	16.78±1.81	0.49±0.22	0.65±0.12	2.60±0.17	96.76±3.16	18.66±0.21	0.79±0.16	12.77±0.72	15.96±2.11	71.27±2.32
Tanhuijo	14.15±1.14	1.57±0.58	1.66±0.36	83.85±3.23	14.49±0.72	20.98±0.07	2.89±0.09	21.70±1.54	40.53±2.23	37.77±0.91
Lobos	29.67±0.74	3.44±0.14	1.97±0.42	32.64±2.01	65.39±1.84	34.71±0.20	2.61±0.36	2.21±0.91	61.51±3.41	36.29±1.79
Corazones	31.43±0.03	4.46±0.37	0.53±0.02	12.18±0.67	87.29±5.21	24.40±0.35	1.21±0.21	17.24±1.03	16.64±1.12	66.12±3.02
Blake	26.73±0.84	1.65±0.81	6.96±0.61	64.45±5.63	28.59±1.02	24.35±0.06	1.92±0.46	3.14±0.75	50.08±2.31	46.79±1.52

jo, Corazones, con mayor porcentaje de arena Lobos y Blake, y con mayor porcentaje de Limo Cabo nuevo y Corazones.

### Caracterización de parámetros fisicoquímicos en columna de agua y sedimentos Análisis de compuestos nitrogenados por arrecife y temporada.

En la figura 4a se observa la presencia de nitritos en los arrecifes Cabo Nuevo con concentraciones debajo de los 0.0167 mg/L, Lobos con 0.1600 mg/L, Corazones con 0.1333 mg/L y Tanhuijo con 0.0043 mg/L. En la figura 4b también existe la presencia de nitritos solamente en dos arrecifes, el arrecife Lobos con 0.0400 mg/L y el arrecife Corazones con 0.0110 mg/L. Asimismo, se detectó la presencia de nitratos en los arrecifes Lobos con 0.0110 mg/L, Corazones, con la máxima concentración de 0.8000 mg/L, y Blake con 0.1496 mg/L (Figura 4c). Sin embargo, en la segunda temporada (figura 4d) se encontró una muy pequeña concentración en el arrecife Cabo Nuevo, no así en el arrecife Tanhuijo y Blake donde presentaron las concentraciones más altas con 0.0847 mg/L y 0.2520 mg/L, respectivamente. En la Figura 4e, se observa la presencia de amonio en todos los arrecifes, en Cabo Nuevo con 0.2090 mg/L, Lobos con 0.6533 mg/L, Corazones con 0.8513 mg/L, Tanhuijo con 1.4723 mg/L y el Blake con 0.6379 mg/L. En la segunda temporada (invierno 2023), Figura 4f, también se observa presencia de amonio en los arrecifes Cabo Nuevo con 1.6110 mg/L, Lobos con 10 mg/L, Corazones con 0.0477 mg/L, Tanhuijo con 1.6033 mg/L y Blake con 0.3777 mg/L.

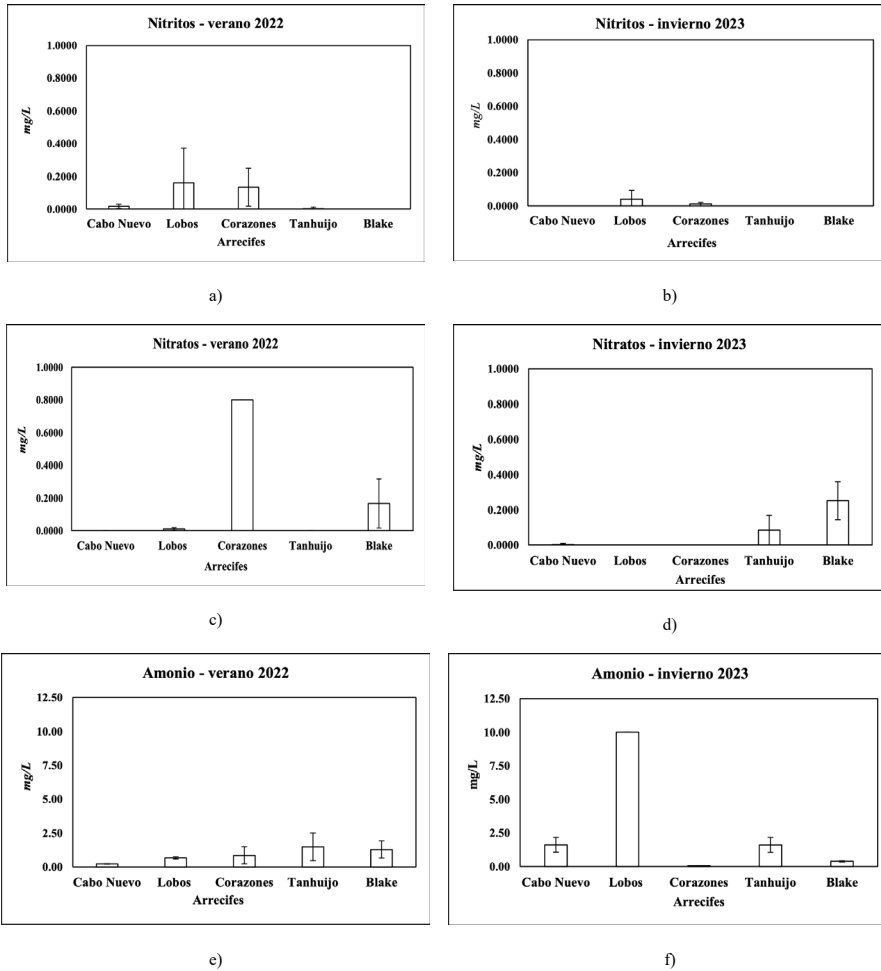


Figura 4. Compuestos nitrogenados registrados en columna de agua para verano 2022 e invierno 2023.

### Análisis de fosfatos por arrecife y temporada.

En la figura 5a, se muestra la presencia de fosfato para el verano en todos los arrecifes, donde Cabo Nuevo con 0.7313 mg/L, Lobos con 0.1877 mg/L, Corazones con 0.1700 mg/L, Tanhujito con 0.2700 mg/L y Blake con 0.4110 mg/L. Asimismo, en la Figura 5b se muestra para el invierno la presencia de fosfato en los arrecifes Cabo Nuevo con 0.0113 mg/L, Corazones con 1.6667

mg/L, Tanhujito con 0.2553 mg/L y Blake con 0.3333 mg/L.

### Salinidad

En la figura 6a, la salinidad en la temporada de verano se presenta en los arrecifes con un promedio de entre 24 g/L a 35 g/L, donde el arrecife Cabo Nuevo tiene 35 g/L, Lobos con 24 g/L, Corazones con 35 g/L, Tanhujito con 26 g/L y Blake con 33 g/L. Por otra parte, en temporada de invierno (Figura 6b) las

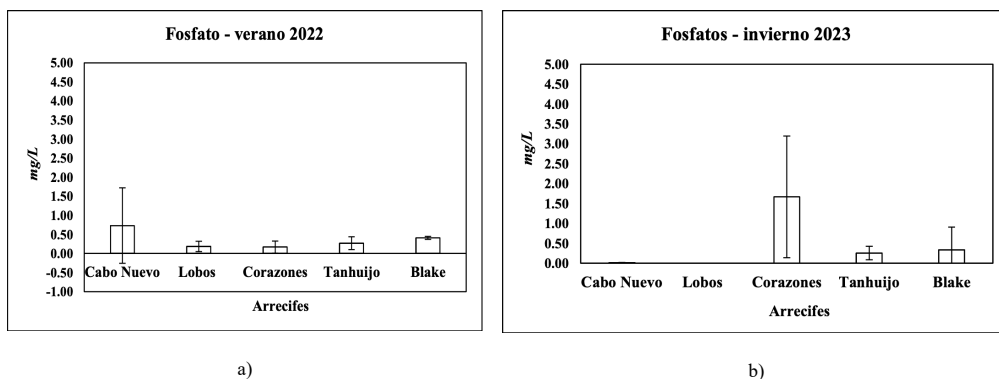


Figura 5. Concentración de fosfatos en columna de agua en verano 2022 e invierno 2023.

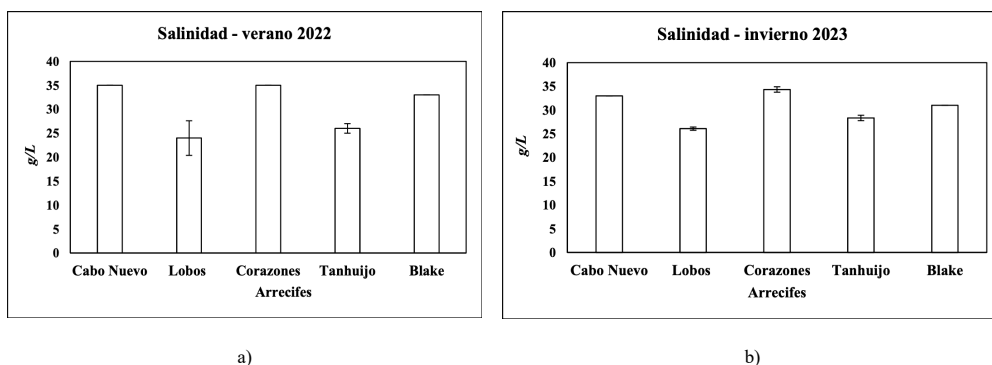


Figura 6. Valores de salinidad en columna de agua en verano 2022 e invierno 2023.

concentraciones para los arrecifes de Cabo Nuevo con 33 g/L, Lobos con 26 g/L, Corazones con 34 g/L, Tanhujio con 28.33 g/L y Blake con 31 g/L.

### pH

En la figura 7a, se presentan los resultados de pH en la temporada de verano 2022, observándose que no presentan cambios significativos, siendo el arrecife Cabo Nuevo donde se presentó el valor más alto de 8.47, Lobos de 7.82, Corazones de 8.16, Tanhujio de 8.41 pH y Blake de 8.08 pH. Por otra parte,

la figura 7b para la temporada de invierno 2023, nuevamente el arrecife Cabo Nuevo es quien presentó el valor más alto de pH con 8.41, Lobos de 7.82, Corazones 8.23, Tanhujio de 8.39 y Blake de 8.08 pH. Los resultados de manera general no presentaron ningún cambio por efecto de la temporada.

### Presencia y cuantificación de plaguicidas organofosforados en sedimentos y columna de agua

En la tabla 3 se muestran los valores promedio y desviación estándar de los plaguicidas

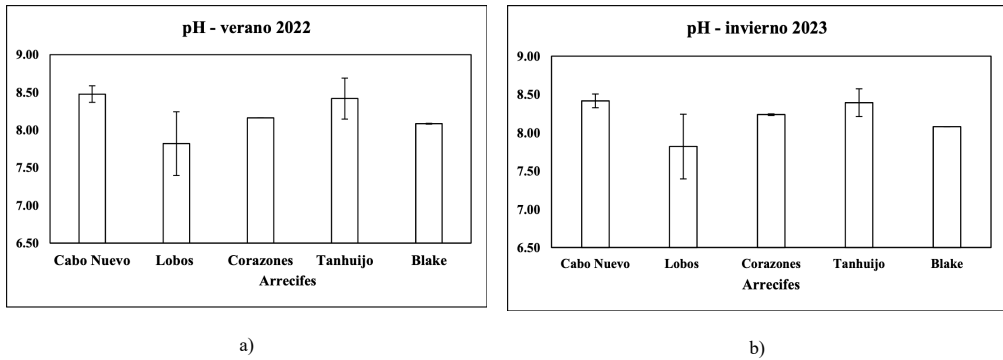


Figura 7. Valores de pH en columna de agua en verano 2022 e invierno 2023.

**Tabla 3.** Valores promedio y desviación estándar plaguicidas por arrecife, en verano 2022 e invierno 2023 (Sedimento).

Arrecife	Verano 2022 Plaguicida (ng/Kg)					Invierno 2023 Plaguicida (ng/Kg)				
	Ometoato	Diazinon	Malation	Azinfos metil	Clorpirifos etil	Ometoato	Diazinon	Malation	Azinfos metil	Clorpirifos etil
Cabo Nuevo	0.3±0.0	0.5±0.0	0.4±0.0	0.1±0.0	0.02±0.0	0.2±0.05	0.4±0.0	0.2±0.0	0.1±0.0	0.01±0.0
Tanhujío	0.2±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.1±0.0	N.D.	0.2±0.0	0.1±0.0	0.2±0.0	N.D.	N.D.
Lobos	0.1±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.4±0.0	N.D.	0.1±0.0	0.1±0.0	0.2±0.05	0.1±0.05	N.D.
Corazones	0.1±0.0	0.1±0.0	0.3±0.0	0.3±0.0	N.D.	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.0	N.D.
Blake	0.3±0.0	0.5±0.0	0.2±0.0	0.1±0.0	0.02±0.0	0.3±0.0	0.1±0.0	0.1±0.05	0.1±0.0	0.02±0.0

N.D. No detectado.

organofosforados analizados a concentración de ng/kg de sedimento. En la tabla se observa que la concentración va de 0.01 a 0.5 ng/kg siendo en los arrecifes Cabo Nuevo y Corazones en donde se presentó la mayor concentración de diazinón en verano.

Por otra parte, en la tabla 4 se puede observar que los valores de concentración en

columna de agua van de 0.01 a 0.6 ng/L, siendo el plaguicida diazinón el que presentó la mayor concentración en verano en el arrecife Cabo Nuevo. Las concentraciones observadas en general, son muy bajas e incluso en algunos casos están por debajo al límite de detección.

**Tabla 4.** Valores promedio y desviación estándar plaguicidas en verano 2022 e invierno 2023 por arrecife (Columna de agua).

Arrecife	Verano 2022 Plaguicida (ng/L)					Invierno 2023 Plaguicida (ng/L)				
	Ometoato	Diazinon	Malation	Azinfos metil	Clorpirifos etil	Ometoato	Diazinon	Malation	Azinfos metil	Clorpirifos etil
Cabo Nuevo	0.4±0.0	0.6±0.0	0.4±0.0	0.3±0.0	N.D.	0.3±0.05	0.5±0.2	0.3±0.05	0.2±0.05	0.01±0.0
Tanhuijo	0.4±0.05	0.4±0.05	0.2±0.0	0.2±0.05	N.D.	0.1±0.0	0.2±0.05	0.1±0.05	0.1±0.01	N.D.
Lobos	0.3±0.0	0.2±0.0	0.5±0.0	0.8±0.1	N.D.	0.1±0.05	0.1±0.05	0.2±0.05	N.D.	N.D.
Corazones	0.3±0.0	0.4±0.2	0.2±0.0	0.1±0.05	N.D.	0.1±0.0	0.1±0.05	0.2±0.0	0.1±0.01	N.D.
Blake	0.3±0.0	0.1±0.1	0.2±0.0	0.1±0.0	N.D.	0.1±0.05	0.1±0.0	0.1±0.0	0.1±0.01	0.02±0.0

N.D. No detectado

## Discusión

### Compuestos nitrogenados, fosfato, salinidad y pH en el SALT

La presencia de nitritos en el agua proviene principalmente de los fertilizantes, excretas animales, desechos urbanos, industriales o aditivos (Rosas-Rodríguez, 2001), por lo tanto se puede llegar a inferir que su presencia es el efecto de una de las actividades mencionadas anteriormente; sin embargo, se tendría que ver reflejado también en los otros arrecifes, p.ej. el arrecife Tanhuijo, que es el más cercano al río Tuxpan, entonces en este caso puede ser otro el causante el que genera la presencia de nitritos. Sin embargo, el nitrito también se puede encontrar en un proceso intermedio de oxidación entre el amoníaco y el nitrato (Rosas-Rodríguez, 2001). Cabe recalcar que son concentraciones muy pequeñas y que no pueden causar gran daño, pero podrían funcionar como indicadores, ya que pueden llegar a aumentar en un futuro no muy lejano debido al crecimiento poblacional y, por ende, la demanda del uso de estas sustancias.

Los nitritos pueden estar presentes desde que se liberan cuando existe la descomposi-

ción orgánica, por la disolución de las rocas y/o efluentes industriales (Rosas-Rodríguez, 2001), el nitrato es de las principales fuentes de contaminación por nitrógeno liberada en las aguas costeras por actividades como la agricultura, y esto puede llegar a causar daños severos a la salud de los corales y la tolerancia térmica (De Barros-Marangoni *et al.*, 2020). La concentración de los nitratos en los arrecifes de Corazones y Blake en la primera temporada (verano 2022) se encuentran muy por debajo de los máximos permisibles (50 mg/L); y de igual forma, en la segunda temporada (invierno 2023) se encuentran debajo del límite. Sin embargo, aumenta ligeramente en el arrecife Blake, lo que puede ser originario por algún movimiento con las corrientes de la zona, pero Cabo Nuevo desaparece totalmente en la detección tan abrupta que se encontraba en la primera temporada, lo cual pudo deberse también por las variantes de las corrientes.

Por otro lado, se presentaron cambios en la concentración de amonio entre la primera temporada (verano 2022) y la segunda (invierno 2023), los cuales pueden ser debidos

a distintas variables y/o reacciones químicas que existen en el ambiente, esto se debe a que la presencia de amonio es un indicador de materia orgánica en descomposición en el agua y variación en el pH (tabla. 2). Como resultado de lo anterior, se observó que se presentó un incremento en la concentración de amonio de la primera temporada (verano 2022) a la segunda temporada (invierno 2023) (figura 4a, b.) en el arrecife Lobos y un decremento para los arrecifes Corazones y Blake, respectivamente. Por otro parte, la presencia del amonio puede beneficiar a los arrecifes, debido a que favorece el estado oxidativo y el metabolismo energético, además de que, al ser una fuente de nitrógeno para los corales, puede ayudar a la fotosíntesis de éstos (De Barros-Marangoni *et al.*, 2020).

Con respecto al fosfato, éste puede provenir de procesos ambientales naturales, pero principalmente de actividades humanas, como lo son la descarga de aguas residuales, tala de árboles y agricultura; además, cabe recalcar que la carga de sedimentos ricos en fosfatos puede afectar negativamente los arrecifes coralinos, especialmente a los corales ramificados y los organismos calcáreos incrustantes (Martínez-Escobar & Mallela, 2019). En cuanto a la presencia del fosfato entre la primera temporada (verano 2022) e invierno se puede notar un cambio en los arrecifes Cabo Nuevo y Lobos, que puede ser debido a que en invierno es temporada de nortes y, por tanto, se presenta mayor movimiento de corrientes y, por consecuencia, diferentes concentraciones las cuales son muy variables sumado a las reacciones existentes con el agua. Por otro lado, la salinidad tiende a incrementar en la estación de verano, esto posiblemente se deba a un

efecto por evaporación. Además, este mismo comportamiento se presenta en el pH, este incrementa de 7.8 a 8.4 en algunos arrecifes mostrando un pH más alcalino. Lo cual podría estar asociado con la salinidad al concentrarse en la estación de verano.

A finales de los años 40 se introdujo en toda Latinoamérica la “revolución verde”, un modelo de explotación agrícola industrializado basado en la aplicación de agroquímicos sintéticos; creándose una situación de dependencia de estos productos, siendo los plaguicidas los más relevantes entre ellos. La utilización inadecuada y excesiva de plaguicidas en la agricultura ha traído como consecuencia la contaminación de los cuerpos de aguas superficiales. Se ha reportado la presencia de residuos de plaguicidas organofosforados, carbamatos, triazinas y piretroides, entre otros, en aguas superficiales cercanas a zonas de producción agrícola en Venezuela, Colombia, Ecuador y México. A través de los cursos de agua, estos contaminantes tóxicos son transportados lejos de los lugares donde se aplican, contaminando otros ecosistemas y fuentes de agua lo cual podría estar ocasionando problemas de salud pública (Benítez-Díaz & Miranda-Contreras, 2013). Es por ello la necesidad de monitorear, si hay o no, la presencia de estos plaguicidas en zonas costeras y arrecifales, así como en que concentración se encuentran.

De acuerdo con una búsqueda exhaustiva de literatura para establecer cuáles serían los límites máximos permitidos para concentración de plaguicidas en agua y suelo, se encontró que éstos suelen variar de una región del mundo a otra, lo que lleva a establecer algunos rangos de referencia. Benítez-

Díaz & Miranda-Contreras (2013), en ríos de Venezuela, presenta de  $3.6 \pm 0.2$  ( $\mu\text{g/L}$ ) para clorpirifos,  $0.11 \pm 0.02$  ( $\mu\text{g/L}$ ) para diazinón,  $3.38 \pm 0.06$  ( $\mu\text{g/L}$ ) para malatión, entre otros plaguicidas organofosforados. Estos valores se encuentran muy por encima

de los observados en los arrecifes en estudio, donde la máxima concentración fue con diazinón en Cabo Nuevo con  $0.6$  ng/L en columna de agua y  $0.5$  ng/kg en sedimento, para la temporada de verano (tabla 3 y 4).

## Conclusiones

Los resultados revelaron concentraciones muy bajas de plaguicidas organofosforados en los arrecifes estudiados, incluso en algu-

nos casos por debajo al límite de detección y por debajo de lo reportado en investigaciones en otras regiones del mundo.

## Consideraciones finales

La detección de plaguicidas organofosforados en los arrecifes coralinos en bajas concentraciones no puede ser pasada por alto ya que señala la influencia humana en estos ecosistemas marinos por la escorrentía dada en las zonas costeras.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de una vigilancia continua y una gestión ambiental proactiva para prevenir la acumulación de contaminantes y proteger la salud de los arrecifes coralinos y su biodiversidad asociada.

## Literatura citada

- Admin., 2020. Producción agroalimentaria de Veracruz. Agroproductores. <https://agroproductores.com/produccion-agroalimentaria-de-veracruz/>
- Albert, L.A. & J.A. Benítez, 2005. Impacto ambiental de los plaguicidas en los ecosistemas costeros, pp. 157-176. In: Botello, A.V., J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot & C. Agraz-Hernández (eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2a Ed. Univ. Autón. de Campeche, UNAM, Instituto Nacional de Ecología. 696 pp.
- Alcivar-Bueno, J.C., 2017. Evaluación fisicoquímica y microbiológica de la calidad del agua de pozos. *Dom. Cien.*, 3:183-206. <http://dx.doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.3.4.jul>.
- Benítez-Díaz, P. & L. Miranda-Contreras, 2013. Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29:7-23. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/41043>
- Bruno, J.F. & A. Valdivia, 2016. Coral reef degradation is not correlated with local human population density. *Scientific Reports*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep29778>

- Carvalho, F.P. & R.J. Hance, 1993. Plaguicidas en los medios marinos tropicales: Evaluación de su destino final. Boletín del OIEA. [https://www.iaea.org/sites/default/files/35205981419\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/35205981419_es.pdf)
- CEMDA, 2021. El Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México: retos y oportunidades para su protección y manejo. In: Ortiz-Lozano, L., F.X. Martínez-Esponda & L. Hensler (eds.). 426 pp. <https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2021/10/El-corredor-arrecifal-del-sur-del-golfo-de-mexico-retos-y-oportunidades-para-su-proteccion.pdf>.
- CONABIO, 2022a. Arrecifes. Recuperado 09/ febrero/2023. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/arrecifes>
- CONABIO. (2022b). Arrecifes, Biodiversidad Mexicana. Recuperado 10/junio/2023. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/arrecifes>
- De Barros-Marangoni, L.F., C. Ferrier-Pagès, C. Rottier, A. Bianchini & R. Grover 2020. Unravelling the different causes of nitrate and ammonium effects on coral bleaching. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68916-0>
- Díaz-Vallejo, J.J., A. Barraza-Villarreal, L. Yáñez-Estrada & L. Hernández-Cadena, 2021. Plaguicidas en alimentos: riesgo a la salud y marco regulatorio en Veracruz, México. *Salud Pública de México*, 63(4):486-497. <https://doi.org/10.21149/12297>
- Durand, C., V. Ruband & M. Legret, 2004. Physicochemical characterization of sediments from two retention / infiltration ponds: Wissous (urban) and Ronchin (road). ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/289323659\\_Physicochemical\\_characterization\\_of\\_sediments\\_from\\_two\\_retention\\_infiltration\\_ponds\\_Wissous\\_Urban\\_and\\_Ronchin\\_road](https://www.researchgate.net/publication/289323659_Physicochemical_characterization_of_sediments_from_two_retention_infiltration_ponds_Wissous_Urban_and_Ronchin_road)
- EPA, 2023. La importancia de los arrecifes de coral. US EPA. <https://espanol.epa.gov/espanol/la-importancia-de-los-arrecifes-de-coral>
- FAO & OMS, 2014. Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas. Recuperado 22/abril/2023, de <https://www.fao.org/3/I3604S/i3604s.pdf>
- Garzón-Ferreira, J., 1997. Arrecifes coralinos: ¿un tesoro camino a la extinción? <http://repositorio.colciencias.gov.co/8080/bitstream/handle/11146/2094/1997-V15-N1-Articulos-Art%21.3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González-Gándara, C. & J.J Salas-Pérez, 2020. Caracterización del sustrato bentónico del arrecife Tuxpan, Veracruz, México, con énfasis en la comunidad de corales escleractinios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 54(3):259-271. <https://doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.3.2009>
- Jordán-Garza, A.G., C. González-Gándara, J.J. Salas-Pérez & A. Morales-Barragán, 2017. Coral assemblages are structured along a turbidity gradient on the southwestern Gulf of Mexico, Veracruz. *Continental Shelf Research*, 138:32-40. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.03.002>
- Martínez-Aguilar K., I.A. Pérez-Legaspi, E. Ramírez-Fuentes, M.N. Trujillo-Tapia & L.A. Ortega-Clemente, 2018. Growth, photosynthesis, and removal responses of the cyanobacteria *Chroococcus* sp. to malathion and malaoxon. *Journal of Environmental Science and Health, Part B.*, 53(12):771-776. <https://doi.org/10.1080/03601234.2018.1505070>
- Martínez-Escobar, D. & J. Mallela, 2019. Assessing the impacts of phosphate mining on coral reef communities and reef development. *Science of The Total Environment*, 692:1257-1266. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.139>
- Méndez, L., E. Sánchez & D. Segura, 2023. Gestión Costera. Resumen Boletines -Instituto Mexicano del Transporte. [https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=566&IdBoletin=200#:~:text=Se%20conoce%20como%20zona%20costera,y%20media%20\(por%20ejemplo%2C%20vegetaci%C3%B3n](https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=566&IdBoletin=200#:~:text=Se%20conoce%20como%20zona%20costera,y%20media%20(por%20ejemplo%2C%20vegetaci%C3%B3n)

- National Geographic, 2022. Las investigaciones acerca de los albores de los cultivos y su expansión a lo largo del neolítico ofrecen pistas sobre cuál fue el origen de una revolución que ha marcado a la humanidad hasta nuestros días. <https://www.nationalgeographic.es/historia/2022/01/cual-fue-el-origen-de-la-gricultura>
- Ortiz Lozano, L., P. Arce Briseño, A. Granados Barba, D. Salas Monreal & L. Jiménez Badillo, 2010. Zona Costera. [https://www.researchgate.net/publication/274962491\\_Zona\\_Costera](https://www.researchgate.net/publication/274962491_Zona_Costera)
- Ortiz-Lozano, L., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A. Gutiérrez-Velázquez & J.M. Martos, 2013. The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*, 86:22-32. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.10.006>
- Ramírez, J. & M. Lacasaña, 2001. Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Archivos de Prevención y Riesgos Labo*, 4(2):67-75. [https://archivosdeprevencion.eu/view\\_document.php?tpd=2&i=1270](https://archivosdeprevencion.eu/view_document.php?tpd=2&i=1270)
- Rosas-Rodríguez, H., 2001. Metales Pesados y Componentes Mayoritarios en Aguas. UPCommons. Recuperado 07/noviembre/2023, de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6978/04ComponentesAguas01.pdf;jsessionid=E9C28F4B236EBF615DEA727680BAE871?sequence=4>
- Silva-Casarín, R., Luisa-Martínez, M. & P. Moreno-Casasola, 2017. Aspectos Generales de la Zona Costera. 1a ed. INECOL. [http://www.veracruz.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/5/2022/04/A-Aspectos-Generales\\_.pdf](http://www.veracruz.gob.mx/proteccioncivil/wp-content/uploads/sites/5/2022/04/A-Aspectos-Generales_.pdf)
- Zavala-Hidalgo, J., S.L. Morey & J.J. O'Brien, 2003. Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research*, 108(C12). <https://doi.org/10.1029/2003jc001879>
- Zhen-Wu, B.Y., 2009. Calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008. Tesis de Maestría. Escuela de Ciencias Exactas y Naturales. San José, Costa Rica. <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Calidad%20fisico-química%20y%20bateriológica%20del%20agua%20para%20consumo%20humano%20de%20la%20microcuenca.pdf>