

Revista Ciencias del Mar UAS



Abril - Junio 2025

Núm. 3 Vol.2

U N I V E R S I D A D A U T Ó N O M A D E S I N A L O A



► DR. FEDERICO PÁEZ OSUNA



ISSN (en trámite)



latindex



CREATIVE COMMONS



OPEN ACCESS

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original



Artículo Científico

Metales traza en organismos y sedimentos en el complejo lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, Sinaloa

Trace metals in organisms and sediments in the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex, Sinaloa



1. G.D. Rodríguez Meza



0000-0002-9322-215X

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR
Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz
Paredes 250, Col. San Joachin, Guasave,
Sin. México. CP 81101

Autor de correspondencia: gmeza@ipn.mx



2. G. Muñoz Armenta

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR
Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz
Paredes 250, Col. San Joachin, Guasave,
Sin. México. CP 81101



3. A. A. Michel Rubio

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR
Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz
Paredes 250, Col. San Joachin, Guasave,
Sin. México. CP 81101



4. I. F. Pedraza Cervantes

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR
Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz
Paredes 250, Col. San Joachin, Guasave,
Sin. México. CP 81101



Metales traza en organismos y sedimentos en el complejo lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, Sinaloa

Trace metals in organisms
and sediments in the San Ignacio-Navachiste-
Macapule lagoon complex, Sinaloa

► RESUMEN

El deterioro de los ecosistemas costeros es un problema mundial por los diversos contaminantes que se descargan y afectan la calidad de los recursos (agua, organismos, sedimentos), hasta el ser humano. En Sinaloa, al interior del complejo lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule se vierten aguas de las actividades productivas y domésticas, a pesar de que es un área natural protegida y sitio RAMSAR por la biodiversidad y procesos ecológicos. Se analizaron los datos de Fe, Cu, Mn, Ni, Zn, Cd, Pb en tejido de *Anadara tuberculosa*, *Balistes polylepis* y *Sphoeroides sp.*, y en sedimentos del complejo lagunar para conocer las condiciones en que se encuentran. Las muestras fueron digeridas con ácidos y las absorbancias de los elementos se midieron con un espectrofotómetro de absorción atómica Avanta GBC, se incluyeron materiales de referencia. Los elementos de mayor contenido en tejido y sedimentos fueron Fe, Mn y Zn, que son esenciales en procesos metabólicos e indican aporte continental; sin embargo, la actividad agrícola aplica grandes cantidades de N y P, fertilizantes que incluyen metales traza de importancia ambiental (Pb, Cd, As) que se depositan o dispersan en las bahías Navachiste y Macapule asociado a baja profundidad, poco dinámicas y con las mayores descargas de drenes.

Palabras clave: metales traza, agricultura, almejas, peces, contaminación.

► ABSTRACT

The deterioration of coastal ecosystems is a global problem due to the various pollutants that are discharged and affect resources (water, organisms, sediments), even humans. In Sinaloa, waters from productive and domestic activities are discharged into the San Ignacio-Navachiste-Macapule lagoon complex, even though it is a protected natural area and RAMSAR site due to biodiversity and ecological processes. The data of Fe, Cu, Mn, Ni, Zn, Cd, Pb in tissue of *Anadara tuberculosa*, *Balistes polylepis* and *Sphoeroides sp.*, and in sediments of the lagoon system were analyzed to understand and describe the conditions in which they are found. The samples were digested with acids and the absorbances of the elements were measured with an Avanta GBC atomic absorption spectrophotometer, reference materials were included. The elements with the highest content in tissue and sediments were Fe, Mn and Zn, which are essential in metabolic processes and indicate continental contribution; However, agricultural activity applies large quantities of N and P, fertilizers that include trace metals of environmental importance (Pb, Cd, As) that are deposited or dispersed in the Navachiste and Macapule bays associated with low depth, low dynamics and with the highest drain discharges.

Keywords: trace metals, agriculture, clams, fishes, pollution

► INTRODUCCIÓN

El golfo de California es una región caracterizada por su diversidad biológica registrando más de 6,000 especies de flora y fauna marina (Enríquez-Andrade *et al.*, 2005), muchas de ellas de interés ecológico y comercial nacional e internacional que llegan a albergarse en la zona costera, franja que bordea los continentes y constituye la interfase entre tierra y el océano (Inman, 2002). Es un elemento importante de la biosfera como lugar de sistemas naturales y de recursos diversos que en las últimas décadas enfrenta serios problemas de deterioro (Mitsch y Gosselink, 2000; Crossland, Baird, Ducrotoy, Lindeboom, 2005; Selman, Greenhalgh, Diaz, Sugg, 2008).

La actividad productiva, los avances tecnológicos y los desarrollos urbanos han motivado la comodidad, la mayor supervivencia de la población humana y la explotación de los recursos naturales; a su vez, modificaciones en su entorno y la introducción de agentes contaminantes en los ecosistemas (Gogoi *et al.* 2018; Rodríguez-Eugenio, McLaughlin, Pennock, 2019). En la zona costera, el deterioro ha sido identificado en 415 zonas en el mundo que presentan problemas de eutrofización (enriquecimiento excesivo de N, P), agotamiento de oxígeno y las floraciones de algas nocivas, que amenazan y degradan la salud humana y los servicios ecosistémicos (Selman *et al.*, 2008); la cantidad de zonas puede aumentar por la falta información de algunas localidades y la toma de medidas de control. En México, el estado de Sinaloa destaca por sus recursos marinos ($> 700 \text{ km}^2$ de sistemas lagunares) y terrestres ($> 57,000 \text{ km}^2$), cuenta con ocho sitios RAMSAR (RAMSAR, 2008, 2015) y áreas naturales protegidas (Acosta-Velázquez y Vázquez-Lule, 2009), se le reconoce por la producción agrícola, ganadera y acuícolas (Cifuentes Lemus y Gaxiola López, 2003).

A nivel mundial, la agricultura utiliza un promedio aproximado de dos terceras partes de todas las fuentes de suministro de agua y es conocida como la actividad más contaminante de aguas dulces, estuarinas y costeras (Escobar, 2002; FAO, 2004), debido que requiere se apliquen grandes cantidades de plaguicidas y fertilizantes (N, P), y generan bastantes desechos tóxicos (Diarte-Arellano, 2007; Lohmann, Breivik, Dachs, Muir, 2007). Entre la amplia variedad de contaminantes en las aguas, los metales tienen particular atención por la amplia distribución, toxicidad y persistencia. No hay una definición clara para los metales o elementos en ciencias de la tierra (Bánfalvi, 2011; Richir y Gober, 2016), debido que un elemento en una fase dada puede ser tan baja que se considera un elemento traza, mientras que en otra fase puede ser un constituyente principal (Navrátil y Minarík, 2011). En la literatura los elementos, metales traza (< 100 parte por millón de átomos, ppma; o menos que $100 \mu\text{g g}^{-1}$) (McNaught y Wilkinson, 2019), micronutrientes, microelementos o metales pesados (densidad $\geq 3 \text{ g/cm}^3$), son elementos esenciales y no esenciales, de fuente natural y antropogénica, con funciones biológicas en baja concentración y que causan efectos tóxicos

al organismo dependiendo de la concentración (límite fisiológico), sus propiedades, disponibilidad (especiación química) y tiempo de residencia (Salomons y Förstner, 1984; Marcovecchio, Botté, Domini, Freije, 2007; O'Geen *et al.*, 2010). Estudios de evaluación y monitoreo de metales son diversos, en organismos (ó bioindicadores) contribuyen a determinar cuantitativamente la calidad de su entorno (Bryan, Langston, Hummerstone, Burt, 1985), esto implica la selección de una especie para ser monitoreados y medir la exposición a diversos niveles de concentración de metales en el ambiente (Wittig, 1993; Ernst y Peterson, 1994).

El sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule (SNM) al norte del estado de Sinaloa, enfrenta serios problemas por la actividad productiva. Romero Beltrán *et al.* (2021) refieren aportes de aguas de $1,126 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ al interior del sistema, que provienen de los drenes agrícolas (60 %) y granjas camaronícolas (17 %), y representan un riesgo para la calidad de los recursos marinos. Páez-Osuna (2003) reportó más de 430 granjas en la zona litoral del estado y 93 granjas camaronícolas (Ruíz-Luna, Acosta-Velazquez, Berlanga-Robles, 2005), cuya calidad y cantidad del agua vertida se desconoce. La introducción de sustancias y su incremento en los ecosistemas del estado generan preocupación por la calidad de los productos marinos, debido que, a diferencia de la biodegradación de tóxicos orgánicos, los metales traza (Hg, Zn, Cd, Cu, etc.), metaloides (As) y radioisótopos, no pueden degradarse debido a su naturaleza elemental (Wuana y Okieimen, 2011) e inicia un proceso acumulativo que implica la persistencia convirtiéndolos especialmente dañinos (Peng, Song, Yuan, Cui, Qui, 2009). Estudios en las costas del estado son diversos y describen las comunidades biológicas (camarón, ostión, almeja, jaiba, callo de hacha, langostino, mojarra, robalo) que sustentan la pesquería (Ramírez-Zavala, 2000; Berlanga-Robles y Ruíz-Luna, 2003) y la contaminación de la zona litoral (Botello, Rojas-Galaviz, Benítez, Zárate-Lomelí, 1999; Green-Ruiz y Páez-Osuna 2003; Berlanga-Robles y Ruíz-Luna, 2003; Páez-Osuna, 2003; Saucedo-López y Gómez-Soto, 2003; Enríquez Andrade *et al.* 2005; González-Farías, Hernández Garza, Díaz-González, 2006; Páez Osuna, Ramírez Reséndiz, Ruíz Fernández, Soto Jiménez, 2007). En el sistema lagunar el

biomonitoreo de metales se ha realizado con manglar (González-Ocampo, Parra-Olivas, Pérez Gonzales, Rodríguez Meza, 2024), crustáceos (Castro Elenes, Rodríguez Meza, Pérez Gonzales, González Ocampo, 2021), moluscos (Frías-Espericueta, Osuna-López, Flores-Reyes, López-López, Izaguirre-Fierro, 2005; Frías-Espericueta, Osuna-López, Izaguirre-Fierro, Aguilar-Juárez, Voltolina, 2010; Jara-Marini *et al.*, 2013; Pedraza Cervantes, 2020; Montoya Hansen, 2023), algunas especies de peces (Barroso-Soto, Castillo-Gallardo, Quiñonez-Velázquez, Morán-Angulo; 2007; Muñoz Armenta, 218; Michel Rubio, 2019), principalmente. Sin embargo, estudios del contenido de metales en *B. polylepis* y *Sphoeroides sp.* son escasos. Con base en las diferentes actividades antrópicas y la descarga de aguas al interior del sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, el interés del presente trabajo es analizar el contenido de Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Cd y Pb en tejido de *Anadara tuberculosa*, *Balistes polylepis* y *Sphoeroides sp.*, y comprender las diferencias de acumulación de los metales en los organismos que son especies de alto consumo regional.

► MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de muestreo. El sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule es un complejo costero con una superficie aproximada de 24,000 ha. Dentro del sistema lagunar se encuentran tres islas principales: San Ignacio, Macapule y Vinorama, además de otras islas e islotes catalogadas dentro del Área Natural Protegida Islas del Golfo de California (ANP) desde 1978. A partir del 2008 fue decretado como sitio RAMSAR, que convierten a esta zona de importancia económica y prioritaria de manejo (Carrasquilla-Henao, González-Ocampo, Luna González, Rodríguez Quiroz, 2013).

Se colectaron ejemplares de *A. tuberculosa* en 11 puntos (junio y octubre 2018, febrero 2019), y para *B. polylepis* (agosto y noviembre 2016, abril 2017) y *Sphoeroides sp.* (agosto y diciembre 2017, marzo 2018) en ocho puntos, con estos últimos se tuvo problema en la captura debido a la sobreexplotación del recurso (Figura 1). Se recolectaron alrededor de 25 a 38 almejas y 9 a 25 peces en cada sitio seleccionado, los organismos se

almacenaron en bolsas y se mantuvieron en frío (4° C) para su transporte en el laboratorio. Las medidas biométricas de los especímenes (talla y peso) fueron tomadas en campo y en algunos casos en el laboratorio. Los peces fueron diseccionados y se extrajo el músculo, mientras que, para los moluscos se procesó completo el organismo, el tejido se enjuagó con agua desionizada para eliminar partículas del sedimento o impurezas. Por otro lado, en los sitios de colecta de los organismos se tomó aproximadamente 500 g de sedimento (Figura 1) que se guardó en bolsas para su traslado al laboratorio, donde el material se puso a secar en un horno a 60° C.

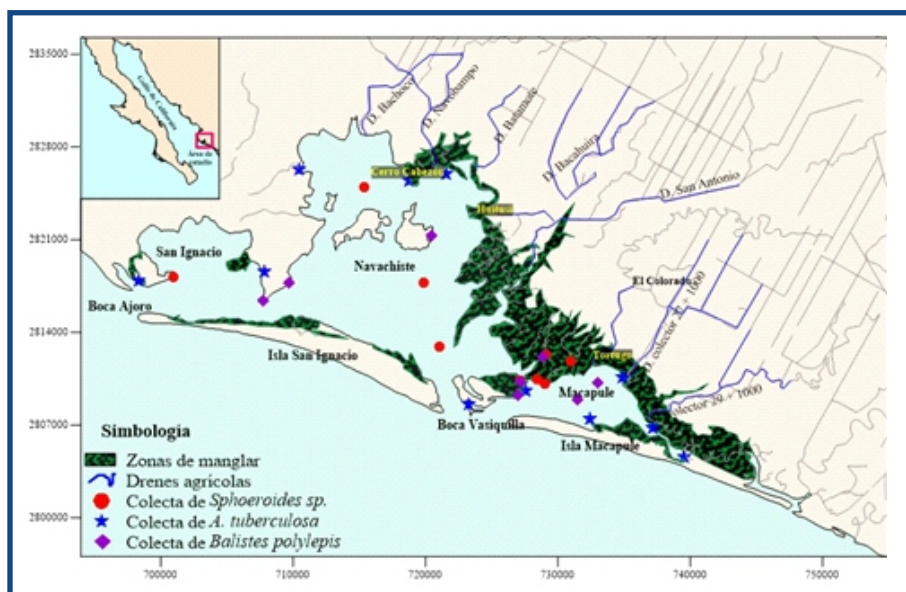


Figura 1. Localización del área de estudio y sitios de colecta en el complejo lagunar

Análisis de muestras. El tejido de los organismos se colocó en cápsulas de porcelana donde se dejó secar a 60 °C por un periodo de 72 h o más tiempo. Una vez seco el tejido, se tomó 0.5 g, se adicionó 5 ml HNO₃ grado analítico y se dejó en planchas de calentamiento hasta su digestión total, con base en el método modificado de la norma NOM-117-SSA1-1994 (Secretaría de Salud, 1995). Con respecto a los sedimentos, el material se homogenizó en morteros hasta obtener una fracción fina y se tomó 0.5 g para su digestión con 5 ml de agua regia (1:3 HCl:HNO₃) en planchas de calentamiento hasta sequedad con referencia al método de Breder (1982). La solución resultante para tejido y sedimentos se aforó con agua desionizada, se almacenó en tubos de polipropileno de 50 ml y

se mantuvo en refrigeración. Durante el procesamiento de muestras se incluyeron blancos y materiales de referencia que fueron TORT-2 (tejido de crustáceo), MESS-3 y PACS-2 (sedimentos marinos) materiales de referencia del Consejo nacional de investigación de Canadá, que presentaron una desviación menor a 15 % de los valores certificados.

La absorbancia de cada elemento se midió en un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) GBC Avanta. Para la calibración del equipo se prepararon curvas de calibración con soluciones estándar certificadas de Perkin Elmer (Fe, Cu, Mn, Ni, Zn, Cd, Pb).

Análisis de datos. A partir de los datos obtenidos se crearon bases de datos para la estadística básica, se hizo prueba de normalidad de los datos (Kolmogorov-Smirnov, $\alpha=0.05$) y análisis de correlación de Spearman ($p < 0.05$) entre las variables. La distribución espacial de las variables se elaboró con el software Surfer 10.0 (Surface Mapping System, Golden Software, Inc.) y las cartas vectoriales G1206, G1209 y G1307 de INEGI.

► RESULTADOS

Metales en organismos marinos. Las medidas de los ejemplares de *A. tuberculosa* oscilaron entre 4.3 a 7.1 cm ancho y 5.5 a 9.0 cm de largo. La secuencia de concentración de elementos en los ejemplares fue: Fe > Zn > Mn > Ni > Cu, con Fe como elemento principal cuyas concentraciones son altas en el mes de febrero (2019) en la localidad Ensenada Biby al interior del Macapule (Figura 2). La prueba de normalidad Kolmogorov Smirnov mostró que los datos no se ajustan a una distribución normal ($\alpha = 0.05$). El análisis de correlación mostró valores bajos entre Fe-Mn (0.41) y Fe-Pb (0.47) en los ejemplares del mes de octubre (2018).

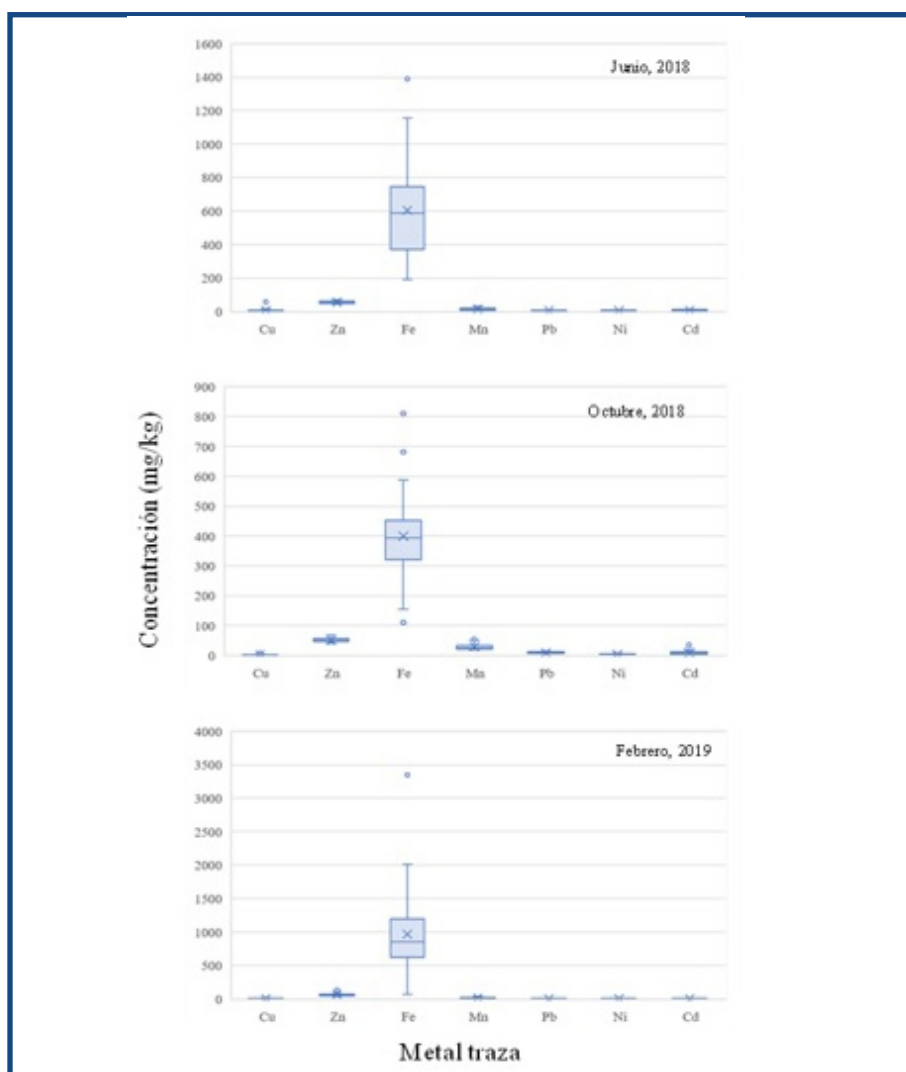


Figura 2. Concentración ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) de metales traza en tejido de *A. tuberculosa*

Por otro lado, la talla de *Sphoeroides* sp. y *B. polylepis* osciló entre 13-30 cm de longitud total y 400-1000 g de peso, además 13-30 cm de longitud y 60-430 g en peso, respectivamente. Por el tamaño de los ejemplares corresponden a organismos juveniles a adultos, la zona con mayor presencia fue al interior de Macapule adyacente a las zonas de manglar. En algunas de las estaciones no fue posible obtener ejemplares, por lo que los datos fueron muy dispersos en algunas temporadas de colecta. La secuencia de concentración de elementos en músculo de *Sphoeroides* sp. y *B. polylepis* fue similar: $Zn > Fe > Mn > Ni > Cu$, variaciones se observaron en los últimos elementos. En la Figura 3 se presenta el contenido de metales traza en musculo de ambas especies, la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 0.05$) para los datos de ambos organismos no mostró distribución normal.

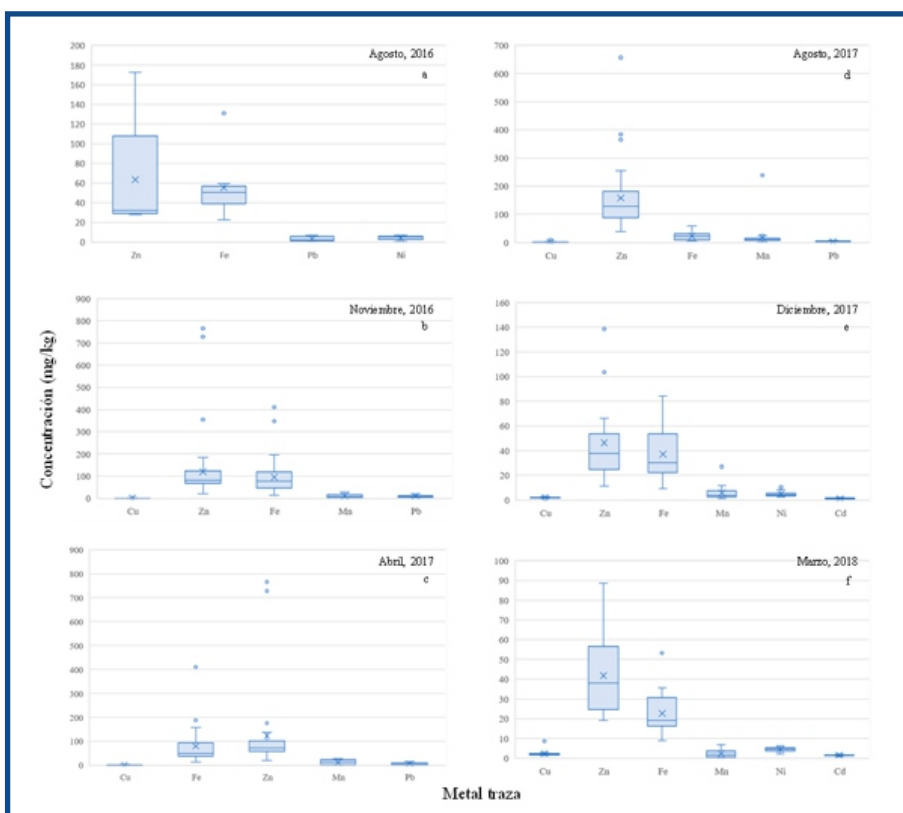


Figura 3. Concentración (mg/kg) de metales traza en músculo de *S. sp.* (a,b,c) y *B. polylepis* (d,e,f)

El contenido de Zn en músculo de *B. polylepis* fue de $130 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en agosto (2017) y fue menor en los otros meses de captura (Figura 3d). La comparación de Zn en otros tejidos de esta especie mostró la siguiente secuencia: intestino (549 mg/kg) > hígado (373 mg/kg) > piel (210.9 mg/kg) > músculo, misma secuencia que se observó para Fe y Cu. Por otro lado, en músculo de *Sphoeroides sp.* el Zn fue menor en agosto (2016) y noviembre (2016), e incrementa en abril (2017) con $120 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ en promedio (Figura (3a-c)). La secuencia de concentración de este elemento en los otros tejidos es: hígado (264.6 mg/kg) > intestino (187.4 mg/kg) > piel (84 mg/kg). Con respecto a Fe y Mn se registró en el intestino más contenido ($610.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ y 115 mg/kg , respectivamente). La correlación de los metales en el músculo indica valores ≥ 0.5 entre Fe-Ni, Fe-Zn y Fe-Cu en *Sphoeroides sp.*; mientras que, en *B. polypelis* fue Fe-Ni, Fe-Cu.

La distribución espacial en el sistema lagunar del contenido de Fe y Zn de los organismos en temporada seca (marzo-abril), permiten destacar a los organismos adyacentes a Cerro Cabezón y Huitusi en bahía Navachiste, como al interior de bahía Macapule (Figura 4). Con respecto a *A. tuberculosa*, también los organismos en San Ignacio obtuvieron concentración alta. En Macapule y Navachiste resalta la presencia de granjas acuícolas, asentamientos humanos (Cerro Cabezón, Huitusi y Tortugo), zonas de manglar y diferentes drenes agrícolas.

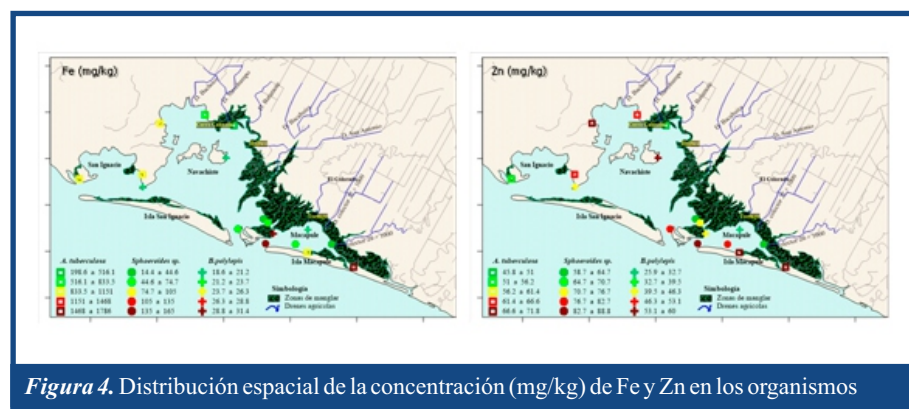


Figura 4. Distribución espacial de la concentración (mg/kg) de Fe y Zn en los organismos

Metales traza en sedimentos. En la Figura 5a se presentan el contenido promedio de metales en sedimentos del sistema lagunar dada la relación que guardan con los organismos como fuente de alimento y en su ciclo de vida. La concentración de Fe (%) no se incluyó en el grafico debido que es muy abundante en el sedimento, se obtuvo un promedio de 2.09 ± 0.5 %. Con base en los datos, la secuencia de concentración promedio fue: Fe (2.09 %)> Mn (247.0 mg/kg)> Zn (55.0 mg/kg)> Ni (14.5 mg/kg)> Pb (15.2 mg/kg)> Cu (7.8 mg/kg). La distribución espacial de Fe, como principal elemento en los sedimentos muestran valores por arriba de 2.3 % adyacente a Boca Ajoro, Cerro Cabezón, Huitusi y en Macapule donde los valores son más elevados (> 2.5 %) con respecto a las otras localidades (Figura 5b).

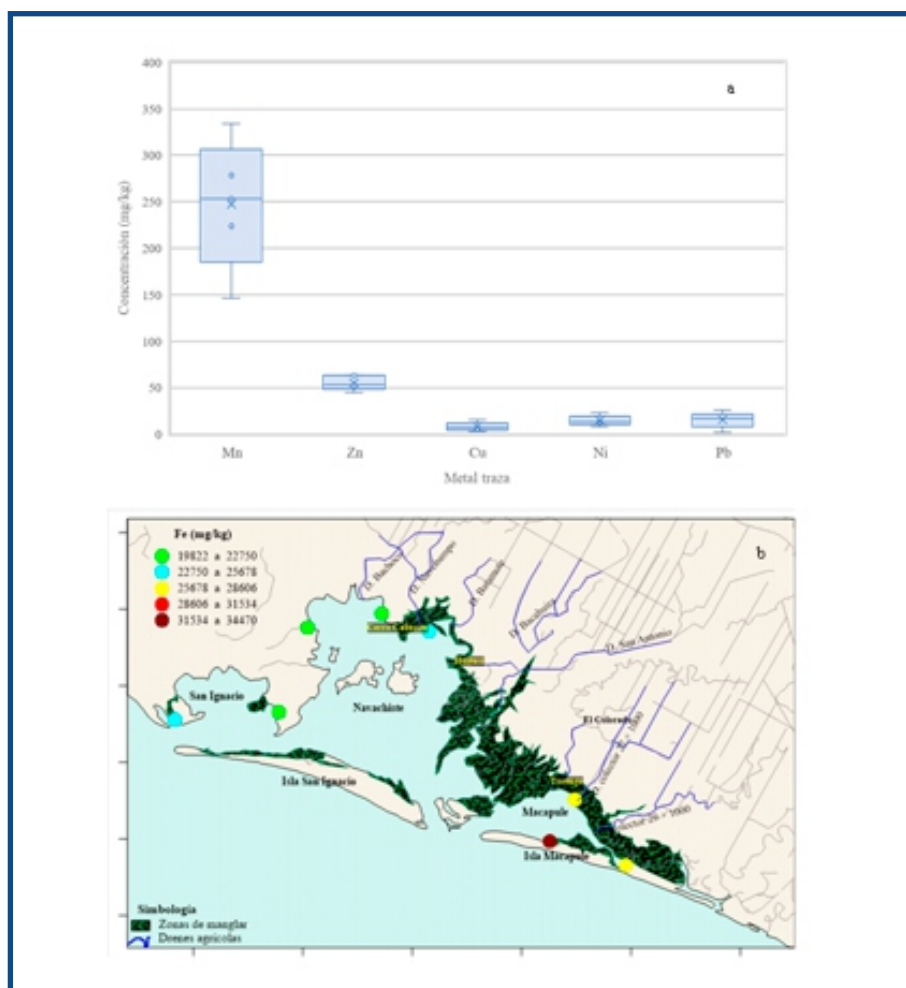


Figura 5. Concentración (mg/k1) de metales traza (a) y distribución espacial en los sedimentos (b) del sistema lagunar

Para establecer afinidades y posibles fuentes de procedencia de los elementos, se obtuvo el coeficiente de correlación de los elementos. En el caso de Fe es un elemento normalizador conservativo junto con Al, Sc, Li y Cs que aportan información de los procesos que alteran la concentración y especiación de los elementos en sedimentos costeros y estuarinos, como la variabilidad natural de las contribuciones antropogénicas (Anikiyev *et al.*, 1989, Loring, 1991). Para el complejo lagunar se empleó el Fe como normalizador y las correlaciones por arriba de 0.6 fue con Zn ($r^2 \geq 0.97$) con los datos de 2017 en ambas temporadas de colecta y en 2019 con Cu ($r^2 \geq 0.65$), Zn ($r^2 \geq 0.8$) y Ni ($r^2 \geq 0.9$) cuyas correlaciones son altas en ambos periodos (Tabla I).

Tabla I

Coeficiente de correlación entre la concentración de metales traza en los sedimentos

	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Pb
Fe	1.00					
Mn	0.42	1.00				
Zn	0.97	0.28	1.00			
Cu	0.70	-0.14	0.68	1.00		
Ni	0.45	-0.30	0.64	0.26	1.00	
Pb	-0.49	0.10	-0.60	-0.46	-0.73	1.00

► DISCUSIÓN

La concentración de Fe, Mn, Zn y Cu en el tejido de *A. tuberculosa*, *B. polylepis* y *Sphoeroides sp.* fue alta a pesar del sitio y fecha de colecta, estos son elementos esenciales y constituyentes de enzimas, vitaminas, hormonas y pigmentos respiratorios, o como cofactores en el metabolismo y otras funciones (Tacon, 1989). La secuencia de concentración obtenida en el presente estudio es similar a la señalada por Krishan, Saion, Halimah, Yap (2023) para el tejido de *Cerithidae obtusa* (molusco) y sedimentos de Sungai Besar Sepang. Además de las correlaciones de Fe, Pb, Ni y Cd que atribuyen a una asociación con los sedimentos y a reflejar las concentraciones ambientales de los metales. La presencia de estos elementos se asocia dos fuentes: i) natural, el entorno, los hábitos alimenticios y las particularidades de la especie (almejas de sangre); ii) a la influencia antropogénica de las actividades

productivas. El género *Anadara*, también se le conoce como “almejas de sangre” por la presencia de hemoglobina que le confiere el color rojo a la hemolinfa, es una proteína globular que contiene Fe, es importante en la fisiología y supervivencia de la almeja (Espinoza, Zapata-Vívenes, Lodeiros, 2022), debido que donde habitan las condiciones son cambiantes (salinidad, cambios de marea, oxígeno, contaminación) y con el tiempo pueden generar una fragilidad mecánica u osmótica (Orbach, Zeling, Yedgar, Barshtein, 2017). Por otro lado, Duran y Gómez (2001) en tejido de *A. tuberculosa* de Punta Chame (Panamá) observaron mayor contenido de Fe (296.15 a $358 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) asociado a pigmentos respiratorios y al arrastre de minerales (magnetita e ilmenita) en temporada de lluvias. En costas de Nicaragua, Aguirre-Rubí *et al.* (2019) observaron en época seca más As (7.3 - $12.7 \mu\text{g g}^{-1}$), Cd (0.5 - $13.1 \mu\text{g g}^{-1}$), Cu (3.5 - $5.2 \mu\text{g g}^{-1}$) y Zn (68.4 - $95.9 \mu\text{g g}^{-1}$), con excepción de Cd y As, el contenido es bajo con respecto a los datos del programa de monitoreo de moluscos (NOAA) (Kimbrough, Johnson, Lauenstein, Christensen, Apeti, 2008). Tomando como referencia los datos de la NOAA, se observó que el contenido de Cu y Ni en *A. tuberculosa* son bajos en el sistema lagunar, no así para Cd y Pb cuyos valores oscilan de bajos a altos relacionados a las descargas de aguas residuales provenientes de la agricultura y las comunidades. Frías-Espericueta *et al.* (2010) reportaron en *C. corteziensis* de $5.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a $18.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de Cd para esta misma localidad, que es semejante a lo obtenido y atribuyen a la misma causa como también a procesos biogeoquímicos en el golfo de California. Delgadillo-Hinojosa, Macias-Zamora, Segovia-Zavala, Torres-Valdés (2001) en el golfo de California y Segovia-Zavala *et al.* (2011) en el canal de Ballenas, destacan que Cd disuelto tiene una relación positiva con los fosfatos, debido a la producción y remineralización de materia orgánica. Las concentraciones superficiales de Cd en el golfo de California son de 25 a 100 veces mayores a las aguas superficiales del Océano Pacífico norte, relacionado a la mezcla de marea y masas de agua, aporte fluvial, afloramiento de la corriente de California (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2001). Probablemente, estas aguas enriquecidas en Cd ingresan al sistema lagunar por las bocas (Ajoro, Vasiquilla y La Bocanita) e influyen en las condiciones del sistema

debido que Sánchez Lindoro, Jiménez- Illescas, Espinosa Carreón, Obeso Nieblas (2017) señalan hay una conexión continua y muy dinámica.

En Punta Chame (Panamá), Durán, Fuentes y Gómez (2004) reportaron en *A. tuberculosa* $3.9 \mu\text{g Cd g}^{-1}$ y $0.58 \mu\text{g Cu g}^{-1}$ en resto de tejido blando (RT), y $0.75 \mu\text{g Cd g}^{-1}$, $0.36\text{-}0.42 \mu\text{g Cu g}^{-1}$ en gónada-glándula digestiva (GGD), que aumentan en la época de lluvia por su capacidad de filtración y a las diferentes fuentes de elementos. A través de la filtración los moluscos concentran contaminantes a un nivel superior al de su entorno (Lee, Lovatelli, Ababouch, 2010), estimaciones de la tasa de filtración en *A. tuberculosa* oscilan de $1.43 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ y $3.27 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ en costas de Costa Rica (Wong, González, Antillón, Glenn, 1997), de 0.332 a $0.441 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ en bahía Altata (México) (Nieves *et al.*, 2009), $0.041 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ en el manglar Cayapas, Ecuador (Arizaga-Gamboa y Lemos, 2016). No hay coincidencias entre los datos porque depende de varios factores, sin embargo, muestran la importancia de este proceso en los organismos que habitan ambientes afectados por vertidos antropogénicos. Es por ello, que en los últimos años la calidad sanitaria e inocuidad de los recursos marinos en la zona costera es relevante por la contaminación microbiana y química (fertilizantes, pesticidas agrícolas, derrames petroleros, afluentes domésticos e industriales) (Lee *et al.*, 2010).

Por otro lado, en músculo de *Spherooides sp.* se observó mayor contenido de Fe ($27\text{-}78.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), Mn ($1.2\text{-}20.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y Pb ($2.9\text{-}9.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), y los datos de Cu, Ni y Cd fueron semejantes entre *Spherooides sp.* y *B. polylepis*. Con excepción de Cd y Pb, todos los elementos son esenciales y cumplen diversas funciones en los organismos (enzimas, vitaminas, hormonas, pigmentos respiratorios o cofactores, entre otras funciones) (Tacon, 1989). Sin embargo, el músculo es donde se encontraron las menores concentraciones y los mayores en intestinos e hígado, que se relaciona a los hábitos alimenticios de ambas especies dada la presencia de restos de organismos y partículas del sedimento en ambas especies. Esto coincide con lo reportado por Targett (1978), que indica que el género *Spherooides* es reconocido como carnívoro y consumen anfípodos, isópodos en etapas tempranas, bivalvos, gasterópodos y cangrejos braquiuros en juveniles a adultos (10 % de la

dieta es detritus). En Ría Lagartos (Yucatán), Chi-Espínola y Vega-Cendejas (2013), en *S. testudineus* se encontró gasterópodos, macrofitas, cangrejos braquiuros, en menor cantidad anfípodos, cangrejos ermitaños, pasto marino y detritus. También observaron partículas de sedimento en el intestino de algunos ejemplares, que lo asocian a la captura accidental de sus presas en el fondo, particularidad que probablemente contribuye a la absorción de elementos por la descomposición del material orgánico y considerando que en los sedimentos los niveles de Fe, Mn y Zn son mayores. Arizaga-Bamboa y Lemos (2016) destacan que sedimentívoros y la meiofauna, captan los metales al ingerir partículas de los sedimentos contaminados, las aguas poro del sedimento y los metales presentes en las bacterias que viven asociadas al sedimento.

Con respecto a *B. polylepis* tiene una alimentación omnívora, incluye erizos de mar, pequeños crustáceos, moluscos, ocasionalmente de detritus y algas (Mendoza-Cruz y Gómez del Prado, 2012). En otras especies como *B. vetula* en Belice, destacan principalmente los cangrejos y quitones, en menor importancia los moluscos, que son organismos que habitan desde lechos arenosos, pastos marinos hasta fragmentos de coral (Reinthal, Kensley, Lewis, 1984). En el caribe Colombiano, Von Schiller y García (2000) encontraron que las presas principales de *B. vetula* son: crustáceos, moluscos y equinodermos. Encontraron arena ocasionalmente, atribuida al modo de alimentación. En la misma localidad, Castellanos-Jiménez, Polo-Silva, Sanjuan-Muñoz, Delgado-Huertas (2021) indican que *B. capriscus* se alimenta en zonas costeras de la red trófica bentónica, que consiste en: percebes (crustáceo), bivalvos, gasterópodos, equinodermos, en mayor cantidad. En el sistema lagunar en varios de los ejemplares se observaron partículas del sedimento que oscila de arena media a fina al interior, siendo fina en las zonas de manglar donde se capturaron los organismos. En ambas especies de peces, la descomposición del material orgánico en el intestino libera los nutrientes como los metales adsorbidos en las partículas del sedimento como en la materia orgánica, debido que se reconocen como ligandos.

En los sedimentos del sistema lagunar, Fe y Mn son los elementos más abundantes, que Siegel (2002) refiere influyen en la precipitación o adsorción de otros elementos en los suelos y sedimentos. Otros componentes del fondo son el ácido húmico, los minerales arcillosos (Förstner, Muller, y Stoffers., 1978; Förstner, 1987), los óxidos de Al, sílice amorfo, sulfatos o fosfatos (Mills y Saiers, 1993), cuya capacidad de adsorción se relaciona al tamaño de la partícula (radio superficie-masa) (Warren y Zimmerman, 1993) y demuestran que las arcillas, los óxidos y el material orgánico (tamaño $\leq 2 \mu\text{m}$) acumulan más metales traza (Chester, 2003). De esta manera, la ingesta directa o accidental de las partículas del sedimento representa un riesgo para la biota y los consumidores por la presencia de metales de importancia ambiental que proceden de diferentes fuentes en el sistema lagunar.

El sistema lagunar es principalmente somero, sobre todo al interior de Navachiste y Macapule, donde Sánchez Lindoro *et al.* (2017) estimaron 16 días para el recambio de agua al interior de bahía Navachiste y 2.2 días para bahía Macapule, tiempo que permite modificar las condiciones ecológicas del sistema por las actividades antropogénicas alrededor. Romero Beltrán *et al.* (2021) estimaron un tiempo de recambio de agua con el golfo de California de 33.4 días, ambas estimaciones indican un tiempo que puede provocar la sedimentación y dispersión del material procedente de los campos agrícolas y otras fuentes. Martínez López, Escobedo Urías, Reyes Salinas, Hernández Real (2007) indicaron que la influencia agrícola aporta nitritos, amonio, materia orgánica y metales pesados cerca de las salidas de drenaje. La mayor actividad agrícola ocurre en el ciclo otoño-invierno, cuyas acciones comprenden la preparación de los suelos, riegos, uso de agroquímicos, limpieza de canales y drenes. El riego por inundación de los campos y la limpieza de los drenes permite que el agua empleada incluya diversos contaminantes y se descarguen al interior del sistema, hay que incluir la actividad acuícola que utiliza antibióticos y alimento para su producción. A nivel mundial, el agua con tendencias eutróficas por incremento de N y P en la zona costera es una problemática y requiere ser evaluada (Selman *et al.*, 2008).

Romero Beltrán *et al.* (2021) identifican cuatro fuentes de vertimientos en el sistema lagunar: las granjas camaronícolas ($253.36 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$), los drenes agrícolas ($872.7 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$), desde la subcuenca ($65.4 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) y de las precipitaciones ($254.54 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$), solo las aguas agrícolas comprenden un 60 % de los vertimientos y contribuyen con fósforo ($236 \text{ t} \cdot \text{año}^{-1}$) y nitrógeno ($1,754 \text{ t} \cdot \text{año}^{-1}$) (86.7 %), seguido de las granjas acuícolas (9.6 % de P y 6.7 % de N). La superficie agrícola en el municipio de Guasave se estima en 181,000 ha de riego y se aplican N-P (gases y granulados de amoníaco, urea y mezclas) (Cuadras-Berrelleza *et al.*, 2021). La materia prima de los fertilizantes fosforados es la fosforita, que incluye diferentes metales traza (Ca, Co, Cd, Ni, V, Cu, Cr, Mn, Ag, Mo, Se, Sr, U, Zn, otros) algunos de importancia ambiental, que pueden incorporarse a los suelos agrícolas y al sistema lagunar (Álvarez Arellano y Páez Osuna, 1995). Jiao, Chen, Chang, Page (2012) indican que el uso constante de fertilizantes en zonas con intensa producción agrícola representa un riesgo por la acumulación de metales dañinos (As, Cd, Pb) en los suelos y afectan las cadenas alimenticias, incluyendo la salud humana.

En Argentina, Martí, Burba, Cavagnaro (2002) reportaron en fertilizantes fosfatados $10.9 \text{ mg Pb kg}^{-1}$, $10.4 \text{ mg Cd kg}^{-1}$ y en nitrogenados $4.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de Pb, $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de Cd, que son absorbidos por las plantas y otra cantidad se dispersa por la influencia de los riegos y lluvias temporales a los cuerpos de agua adyacentes. El estudio químico de otros fertilizantes alternativos para una agricultura sustentable, también incluyen metales, como es la composta de lombriz que puede proporcionar $17,139 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de As y $2,190 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de Cd; y por cada $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N aplicado aporta $76,176 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de Pb, y para el fosfato diamónico (DAP) se calcula $6,394 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de As y $2,057 \text{ mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de Cd (Rodríguez Ortiz *et al.*, 2014). Por otro lado, análisis en materias primas (gallinaza, pasto de corte, estiércol vacuno y cascara de maní) y abonos orgánicos (compost y humus) reportan Cu, Pb, Ni y Cd en niveles permisibles con base a la Norma Global EPA, sin embargo, consideran que con el tiempo podrían acumularse en el suelo y ser absorbido por los cultivos que provocan riesgos en los consumidores (Dueñas-Rivadeneira y Intriago Flor, 2022).

La influencia de la actividad agrícola en el sistema lagunar es importante al considerar la superficie que se emplea, es una actividad intensiva, el tipo de riego, la cantidad y diversidad de fertilizantes que se emplean. Los organismos planctónicos y las especies filtradoras están más expuestas a los metales disueltos en agua o asociados a partículas (Arizaga-Gaboa y Lemos, 2016), aspecto que se observa al considerar los niveles de *A. tuberculosa*, *B. polylepis* y *Sphoeroides sp.*, además que el sitio donde se capturaron recibe agua de los drenes 27+1000 y 29+1000 (bahía Macapule). El Consejo de cuenca de los ríos Fuerte y Sinaloa (2005) que las aguas de drenes están enriquecidas en material particulado, agroquímicos (plaguicidas, fertilizantes), bacterias y otros, que provienen de las poblaciones, campamentos de jornaleros, granjas acuícolas y campos agrícolas en los alrededores.

Es por ello, que organismos filtradores (*A. tuberculosa*) y otros que habitan o se alimentan en zonas someras y fangosas como las zonas de manglar, son susceptibles de incrementar los niveles de metales en algunos tejidos (sistema digestivo, hígado, piel) como se pudo observar con *B. polilepis* y *Sphoeroides sp.*

Los datos en sedimentos del complejo lagunar son semejantes a los datos de referencia (Burton, 2002; Contreras Pérez, Mendoza y Gómez, 2004) y de otras localidades que reflejan las condiciones naturales. Los datos no sobrepasan los niveles guía de protección para la vida marina (Canadian sediment quality guidelines, 2025), sin embargo, la presencia de Cd y Pb junto con los volúmenes de descarga de las actividades productivas que se reportan, permiten señalar que es un ambiente con alta presión antropogénica sobre la biodiversidad (Enríquez-Andrade *et al.*, 2005), situación que incrementará con el aumento de la población y requerimientos alimenticios (Schubel, 1994). Por otro lado, niveles de metales en las especies de peces analizadas son escasas, el contenido de Cd, Pb, Cu en los organismos si llegan a sobrepasar los niveles de referencia de la FAO-OMS (2018) y del reglamento 2023/945 la Unión Europea, relacionado a la ingesta de partículas del fondo y las condiciones del sistema lagunar. Frias-Espericueta *et al.* (2010) reportaron concentraciones de Pb en *Mugil cephalus* (2.07-3.05 mg kg⁻¹) y en *Scomberomorus sierra* (0.10-3.95 mg kg⁻¹) del Estero de Urías y

Mazatlán, respectivamente, que son semejantes a lo encontrado al presente estudio, aunque algunos organismos registraron más Pb al interior de Navachiste y Macapule por la influencia de las descargas, sobrepasando el límite máximo para el consumo humano (1 mg kg^{-1}) de peso fresco (4 mg kg^{-1} de peso seco) en crustáceos y peces de las normas oficiales mexicanas (NOM-027-SSA1-1993, NOM-242-SSA1-2009). Límites permisibles para Fe y Mn no se cuentan, las concentraciones de metales variaron entre los organismos atribuido a característica intrínsecas de cada uno y al medio donde habitan. Aspectos que también señalan Tanhan *et al.* (2022), que observaron mayor contenido en moluscos que en peces de Cd, Fe, Mn, Zn. En el caso de moluscos es recomendable depurarlos como indican Lee *et al.* (2010) para evitar la ingesta de virus y bacterias, aunque con los metales en concentraciones elevadas no es práctico. Hay que añadir la presencia de contaminantes emergentes, como microplásticos que pueden incorporar metales de importancia ambiental al sistema lagunar y la sorción está afectada por la salinidad y temperatura (Yu, Yang, Zhu, Bai, Mac, 2019). Por tal motivo, se debe evaluar los daños a mediano y largo plazo en el complejo lagunar, así como las estrategias de manejo considerando el incremento de las actividades antropogénicas y los desechos que se vierten.

► LITERATURA CITADA

Acosta-Velázquez, J., Vázquez-Lule, A.D. (2009). Caracterización del sitio de manglar San Ignacio – Navachiste – Macapule, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F.

Aguirre-Rubí, J.R., Ortíz-Zarragoitia, M., Izaguirre, U., Etxebarria, N., Espinoza, F., Marigómez, I. (2019). Prospective biomonitor and sentinel bivalve species for pollution monitoring and ecosystem health disturbance assessment in mangrove-lined Nicaraguan costas. *Science of the total environment*. 649 : 186 - 200 .
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.269>

- Álvarez Arellano, A., Páez Osuna, F. (1995).** Estudio geoquímico de siete muestras de las formaciones fosfáticas del sur de la península de Baja California, México. *Geofísica Internacional*. 34 (4) : 411 - 416 .
<http://dx.doi.org/10.22201/igeof.00167169p.1995.34.4.1046>
- Arizaga-Gamboa, R.E., Lemos, E. (2016).** Determinación del grado de contaminación por metales pesados en bivalvos (*Anadara tuberculosa*) en la reserva ecológica manglares Cayapas Mataje Cantón San Lorenzo de la Provincia de Esmeraldas 2015. *Universidad Agraria del Ecuador*. 12 p .
https://www.uagraria.edu.ec/publicaciones/revistas_cientificas/13/048-2017.pdf
- Bánfalvi, G. (2011).** Heavy metals, trace elements and their celular effects. en: Bánfalvi, G. (eds) Cellular effects of heavy metals. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0428-2_1
- Barroso-Soto, I., Castillo-Gallardo, E., Quiñonez-Velázquez, C., Morán-Angulo, R. (2007).** Age and growth of the finescale Triggerfish, *Balistes polylepis* (Teleostei: Balistidae), on the Coast of Mazatlán, Sinaloa, Mexico. *Pacific Science*. 61: 121-127. <http://dx.doi.org/10.1353/psc.2007.0002>
- Berlanga-Robles, C. A. & Ruíz-Luna, A. (2003).** Los sistemas acuáticos costeros de Sinaloa. En: J.L. Cifuentes-Lemus, J. Gaxiola-López (eds.) *Atlas de los ecosistemas de Sinaloa*. (197-205). El Colegio de Sinaloa. México. https://www.researchgate.net/profile/Arturo_Ruiz-Luna/publication/282252213_Los_sistemas_acuaticos_costeros_de_Sinaloa/links/5609976008ae576ce63e3318/Los-sistemas-acuaticos-costeros-de-Sinaloa.pdf?__cf_chl_tk=VnbOyduqG2lB5IIQl4SHILM8DCn8qI1fwP_5SKLuUKo-1745256551-1.0.1.1-wZmM1WLv2AJLxDUVIc9wh3j7fFzyny6gPhGS8RWavUk

- Breder, R. (1982).** Optimization studies for reliable trace metal analysis in sediments by atomic absorption spectrometric methods. *Fresenius Z. Ana. Chem.* 313: 395-402. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF00495841.pdf>
- Bryan, G.W., Langston, W. J., Hummerstone, L. G., Burt, G. R. (1985).** A guide to the assessment of heavy metal contamination in estuaries using biological indicators. *Marine Biological Association of UK*. 4: 1-92. <http://plymsea.ac.uk/271/>
- Burton, GA. (2002).** Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*. 65 - 76. <https://link.springer.com/article/10.1007/s102010200008>
- Canadian Council of ministers of the environment (CCME) (2025).** Guidelines. <https://ccme.ca/en/current-activities/canadian-environmental-quality-guidelines>
- Carrasquilla-Henao, M., González-Ocampo, H. A., Luna González, A., Rodríguez Quiroz, G. (2013).** Mangrove forest and artesanal fishery in the southern part of the Gulf of California, Mexico. *Ocean & coastal management*. 83: 75-80.
- Castellanos-Jiménez, M.C., Polo-Silva, C.J., Sanjuan-Muñoz, A., Delgado-Huertas, A. (2021).** Trophic inferences of the gray triggerfish *Balistes capriscus* based in stable isotopes analyses, in the Colombian caribbean. *Journal of Sea Research*. 178: 102140. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2021.102140>
- Castro-Elenes, M., Rodríguez-Meza, G. D., Pérez-González, E., González-Ocampo, H. A. (2021).** Trace metal residues in swimming warrior crab *Callinectes bellicosus*: A consumption risk. *Frontiers in Environmental science*. 9:772221. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.772221>
- Chester, R. (2003).** *Marine geochemistry*. Unwin Hyman. DOI:10.1002/9781118349083
- Chi Espinola, A. A., & Vegas Cendejas, M. E. (2013).** Hábitos alimenticios de *Sphoeroides testudineus* (Perciformes: Tetraodontidae) en el sistema lagunar de Ría Lagartos, Yucatán, México. *Rev. Biol. Trop.* 61(2): 849-858. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442013000300028

- Consejo de cuenca de los Ríos Fuerte y Sinaloa. (2005).** *Programa de gestión del agua para el saneamiento en las cuencas de los Ríos Fuerte y Sinaloa*. Grupo de Seguimiento y Evaluación. Culiacán, Sinaloa. 43 p.
- Contreras Pérez, J. B., Mendoza, C. L. & Gómez, A. (2004).** Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina. *Ciencia y Sociedad*. 29(1): 38-71. <https://www.redalyc.org/pdf/870/87029103.pdf>
- Crossland, C.J., Baird, D., Ducrotoy, D.B., & Lindeboom, H. (2005).** The coastal zone – a domain of global interactions. en C.J. Crossland, H.H. Kremer, H.J. Lindeboom, J.I. Marshall Crossland, M.D.A. Le Tissier (Eds), *Coastal Fluxes in the Anthropocene*. (1-37). Global Change — The IGBP Series. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-27851-6_1
- Cuadras-Berrelleza, A.A., Peinado-Guevara, V.M., Portillo-Molina, R., Ahumada-Cervantes, R., Leyva-Morales, J.B., Peinado-Guevara, H.J., & Cervantes-Rosas, M. A. 2021.** Prácticas agrícolas y sustentabilidad en cultivos de Maíz en Guasave, Sinaloa. *Ra Ximhai*. 17(3): 355-385. <https://doi.org/10.35197/rx.17.03.2021.15.ac>
- Delgadillo-Hinojosa, F., Macias-Zamora, J.V., Segovia-Zavala, J.A., & Torres-Valdés, S. 2001.** Cadmium enrichment in the Gulf of California. *Marine Chemistry*. 75(1-2): 109-122. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(01\)00028-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(01)00028-7)
- Diarte-Arellano, I. (2007).** Revisión de la literatura: Intoxicación por plaguicidas por plaguicidas organofosforados en Sinaloa. *Archivos de Salud de Sinaloa*. 1(2): 62-68. <https://biblat.unam.mx/hevila/ArchivosdesaludenSinaloa/2007/vol1/no2/4.pdf>
- Dueñas-Rivadeneira, J. P., Intriago Flor, F. G. (2022).** Contenido de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en abonos orgánicos y las materias primas para su elaboración. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*. 27: 26-35. https://www.researchgate.net/publication/262617038_Contentido_de_metales_pesados_en_abonos_organicos_sustratos_y_plantas_cultivadas_en_organoponicos

- Durán, I. L., Gómez, J. A. 2001.** Concentración de hierro, cobre y zinc en los tejidos de *Anadara tuberculosa* (Pelecypoda: Arcidae) durante la estación lluviosa y la estación seca (octubre 1998-marzo 1999), en Punta Chame, Panamá, República de Panamá. *Scientia (Panamá)*. 16 (1): 43 - 53. https://www.researchgate.net/publication/362961818_Concentracion_de_hierro_cobre_y_zinc_en_los_tejidos_de_Anadara_tuberculosa_Pelecypoda_Arcidae_durante_la_estacion_lluviosa_y_la_estacion_seca_octubre_1998-marzo_1999_en_Punta_Chame_Panama_Republica_d
- Durán, I. L., Fuentes, M. V., Gómez, J. A. (2004).** Concentración de cadmio, plomo y cobre en *Anadara tuberculosa* del manglar de la isla Taborcilla, Punta Chame, Republica de Panamá. *Tecnociencia*. 6 (2): 91 - 104. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/663>
- Enríquez-Andrade, R., Anaya-Reyna, G., Barrera-Guevara, J.C., Carvajal-Moreno, M. A., Martínez-Delgado, M. E., Vaca-Rodríguez, J., Valdés-Casillas, C. 2005.** An Analysis of critical areas for biodiversity conservation in the Gulf of California Region. *Ocean & Coastal Management*. 48: 31-50. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2004.11.002>
- Ernst, W.H.O., Peterson, P. J. (1994).** The role of bio-markers in environmental assessment. Terrestrial plants. *Ecotoxicology*. 3: 180–192. <https://doi.org/10.1007/bf00117083>
- Escobar, E. 2002.** *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. CEPAL-ECLAC. Naciones Unidas. 50: 67. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/6411-la-contaminacion-rios-sus-efectos-areas-costeras-mar>
- Espinoza, K., Zapata-Vívenes, E., Lodeiros, C. 2022.** Parámetros hemocitarios y química de la hemolinfa en reproductores de la concha prieta *Anadara tuberculosa* (Arcoidea: Arcidae). *Rev. Peru. Biol.* 29 (4): e23624. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v29i4.23624>

- Food and agricultura organization of the united nations (FAO). (2004).** Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. <https://www.fao.org/4/y3557s/y3557s00.htm#TopOfPage>
- Food and agricultura organization of the united nations (FAO)-OMS (2018).** Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. Codex alimentarius. 75. https://sitios1.dif.gob.mx/alimentacion/docs/CodexCXS%20193-1995_Contamiantes_y_Toxinas.pdf
- Förstner, U., Muller, G., Stoffers, P. (1978).** Heavy element contamination in estuarine and coastal sediments: sources, chemical association and diagenetic effects. en UNESCO/SCOR. *Biogeochemistry of estuarine sediments*. (49-69) <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf00000032842>
- Förstner, U. (1987).** Sediment-associated contaminants an overview of scientific bases for developing remedial options. *Hydrobiologia*. 149: 221-246. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00048663>
- Frías-Espéricueta, M.G., Osuna-López, J.I., Flores-Reyes, S., López-López, G., Izaguirre-Fierro, G. (2005).** Heavy metals in oyster *Crassostrea corteziensis* from Urias lagoon, Mazatlán, México, associated with different anthropogenic discharges. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 74: 996-1002. DOI: 10.1007/s00128-005-0678-z
- Frías-Espéricueta, M.G., Osuna-López, J.I., Izaguirre-Fierro, G., Aguilar-Juárez, M., Voltolina, D. (2010).** Cadmio y plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México: 20 años de estudios. *CICIMAR Océanides*. 25(2): 121-134. <https://doi.org/10.37543/oceanides.v25i2.88>
- Gogoi, A., Mazumder, P., Kumar Tyagi, V., Tushara Chaminda, G.G., Kyounjin Una, A., Kumar, M. (2018).** Occurrence and fate of emerging contaminants in water environments: A review. *Groundwater for sustainable development*. 6: 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.12.009>
- González-Farías, F., Hernández-Garza, M. R., & Díaz- González, G. (2006).** Organic carbon and pesticide pollution in a tropical coastal lagoon-estuarine system in northwest Mexico. *International Journal of Environment and Pollution*, 26(1/2/3), 234–253. <http://dx.doi.org/10.1504/IJEP.2006.009109>

- González-Ocampo, H.O., Parra-Olivas, C., Pérez Gonzales, Rodríguez Meza, G.D. (2024).** *Rhizophora mangle* L. bioindicator of environmental exposure to heavy metals in the Navachiste lagoon complex, Sinaloa, Mexico. *Mar. Poll. Bull.* 209:117131. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117131>
- Green Ruíz, C., Páez Osuna, F. (2003).** Heavy metal distribution in surface sediments from a subtropical coastal lagoon system associated with an agricultural basin. *Bull. Environm. Contam. Toxicol.* 71: 52-59.
- Inman, D. L. (2002).** Nearshore processes. *UC San Diego Sciencie.* 181(4094): 20-32.
- Jara-Marini, M. E., Tapia-Alcaraz, J. N., Dumer-Gutiérrez, J. A., García-Rico, L., García-Hernández, J., Páez-Osuna, F. (2013).** Comparative bioaccumulation of trace metals using six filter feeder organisms in a coastal lagoon ecosystem (of the central east Gulf of California). *Environ. Monit. Assess.* 185: 1071-1085.
- Jiao, W., Chen, W., Chang, A. C., Page, A. L. (2012).** Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications: A review. *Environmental Pollution.* 168: 44-53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2012.03.052>
- Kimbrough, K. L., Johnson, W.E., Lauenstein, G.G., Christensen, J.D., Apeti, D.A. (2008).** *An Assessment of Two Decades of Contaminant Monitoring in the Nation's Coastal Zone.* Silver Spring, MD. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 74. 1 0 5 . https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/2499/noaa_2499_DS1.pdf
- Krishan, K., Saion, E., Halimah, M.K., Yap Ch.K. (2023).** Utilizing mollusk soft tissue and shells as biomarkers for monitoring heavy metal pollution in mangrove forests. *MethodsX.* 11: 102281. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102281>
- Lee, R., Lovatelli, A., Ababouch, L. (2010).** Depuración de bivalvos: aspectos fundamentales y prácticos. *FAO Documento técnico de pesca.* N . 5 1 1 . R o m a . <https://www.fao.org/4/i0201s/i0201s00.htm>

- Lohmann, R., Breivik, K., Dachs, J., Muir, D. (2007).** Global fate of POPs: Current and future research directions. *Environmental pollution*. 150 (1) : 150 - 165 .
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.051>
- Marcovecchio, J.E., Botté, S., Domini, C.E., Freije, R.H. (2007).** Heavy metals, major metals, trace elements. en L. M. L. Nollet, L. S. P. de Gelder (eds.). Handbook of water analysis. CRC Press.
doi.org/10.1201/9781420006315
- Martí, L., J. N. Burba y M. Cavagnaro. (2002).** Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos. *Rev. FCA. U N C u y o*. X X X I V (2) : 43 - 48 .
https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/2829/martiagrarias2-34-02.pdf
- Martínez-López, A., Escobedo-Urías, D., Reyes-Salinas, A., Hernández-Real, M. T. 2007.** Phytoplankton response to nutrient runoff in a large lagoon system in the Gulf of California. *Hidrobiológica*, 17 (2) : 101 - 112 .
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972007000200002
- McNaught, A.D., Wilkinson, A. (2019).** Compendium of chemical terminology: The Gold Book. 2nd edn. Blackwell Science, London. <https://goldbook.iupac.org/>
- Mendoza Cruz, M., Gómez del Prado, M.C. (2012).** Infracomunidad parasitaria de *Balistes polylepis* Steindachner, 1876 (Tetraodontiformes: Balistidae) al este de bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *The Biologist*. 10.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4183739>
- Michel Rubio, A.A. (2019).** Determinación de metales pesados y plaguicidas organoclorados en músculo de pez cochito (*Balistes polylepis*) del complejo lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule y su riesgo potencial para la salud humana. Tesis maestría. IPN-CIIDIR Sinaloa.
- Mills, L.A., Saiers, J.E. (1993).** Particle-associated transport of pollutants in subsurface environments. en S.S. Rao (ed.) *Particulate matter and aquatic contaminants*. (105-126). CRC Press. Boca Raton.

- Mitsch, W. J., Gosselink, J. G. (2000).** The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological economics*. 35(1): 25-33. doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00165-8
- Montoya Hansen, M.D. (2023).** Riesgo a la salud humana por el consume de ostión de placer (*Crassostrea corteziensis*) y su contenido de plaguicidas organoclorados y metals pesados en el complejo lagunar Navachiste, Sinaloa, México. Tesis maestría. IPN-CIIDIR Sinaloa.
- Muñoz Armenta, G. (2018).** Efecto carcinogénico y no carcinogénico por consume de botete (*Sphoeroides spp*) contaminado con plaguicidas organoclorados y metales pesados capturado en el sistema lagunar Navachiste, Sinaloa, México. Tesis de maestria. IPN-CIIDIR Sinaloa.
- Navratil, T., Minarik, L. (2011).** Trace elements and contaminants. En: Cilek, V. (ed.). *Earth system: history and natural variability*. U N E S C O - E O L S S . https://www.researchgate.net/publication/313525890_Trace_elements_and_contaminants
- Nieves, M., Román Reyes, J. C., Piña Valdez, P., Medina Jasso, A., Leal, S., Miranda Baeza, A., Muñoz Durán, G. (2009).** Balance energético de *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) a diferentes temperaturas. *Rev. Invest. Mar.* 30(23): 135-144. https://www.researchgate.net/publication/265685921_Balance_energetico_de_Anadara_tuberculosa_Sowerby_1833_a_diferentes_temperaturas
- O'Geen, A.T., Budd, R., Gan, J., Maynard, J.J., Parikh, S.J., Dahlgren, R.A. (2010).** Chapter Ome – Mitigating nonpoint source pollution in agricultura with constructed and restored wetlands. *Advances in agronomy*. 108: 1-76. ([https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08001-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08001-6))
- Orbach, A., Zeling, O., Yedgar, S., Barshtein, G. (2017).** Biophysical and biochemical markers of red blood cell fragility. *Transfus Med. Hemother.* 44(3): 1873-187. <https://doi.org/10.1159/000452106>

- Páez-Osuna, F. (2003).** Efectos de la camaronicultura en la zona costera de Sinaloa. en: J.L. Cifuentes-Lemus, J. Gaxiola-López (eds.) *Atlas de los ecosistemas de Sinaloa*. (215-224). El Colegio de Sinaloa. México. https://www.researchgate.net/profile/Arturo_Ruiz-Luna/publication/282252213_Los_sistemas_acuaticos_costeros_de_Sinaloa/links/5609976008ae576ce63e3318/Los-sistemas-acuaticos-costeros-de-Sinaloa.pdf?_cf_chl_tk=VnbOyduqG2lB5IIQl4SHILM8DCn8qI1fwP_5SKLuUKo-1745256551-1.0.1.1-wZmM1WLv2AJLxDUVIc9wh3j7fFzzny6gPhGS8RWavUk
- Páez Osuna, F., Ramírez Reséndiz, G., Ruíz Fernández, A.C., Soto Jiménez, M.F. (2007).** La contaminación por nitrógeno y fósforo en Sinaloa flujos, fuentes, efectos y opciones de manejo. UNAM. El Colegio de Sinaloa. <https://es.scribd.com/document/428432578/La-Contaminacion-Por-Nitrogeno-y-Fosforo-en-Sinaloa>
- Pedraza Cervantes, I.F. (2020).** Riesgo cancerígeno y no cancerígeno por consumo de pata de mula (*Larkinia grandes*) y almeja china (*Chionopsis gnidia*) del complejo lagunar Navachiste, por su contenido de metales pesados y plaguicidas organoclorados. Tesis maestría. IPN-CIIDIR Sinaloa.
- Peng, J., Song, Y., Yuan, P., Cui, X., Qui, G. L. (2009).** The remediation of heavy metals contaminated sediment. *Journal of hazardous materials*. 161 (2-3) : 633-640. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.061>
- Ramírez-Zavala, J. R. 2000.** *Estudio de camaronicultura en el Estado de Sinaloa*. Universidad Autónoma de Sinaloa. Mazatlán, Sinaloa, México. 49 p.
- RAMSAR. (2008).** The list of wetlands of International Importance. <http://www.ramsar.org/pdf/sitelist.pdf>.
- Ramsar. (2015).** Humedales de México. <http://ramsar.conanp.gob.mx/lsr.php>

Reglamento (UE) 2023/945 de la comisión de 25 de abril de 2023 relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos por el que se deroga el Reglamento (CE) n°. 1881/2006. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R0915>

Reinthal, P.N., Kensley, B., Lewis, S. (1984). Dietary shifts in the quenn triggerfish, *Balistes vetula*, in the absence of its primary food item, *Diadema antillarum*. *P.S.Z.N.I: Marine Ecology*. 5(2): 191-195. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1984.tb00314.x>

Richir, J., Gober, S. 2016. Trace elements in marine environments: occurrence, threats and monitoring with special focus on the coastal Mediterranean. *J. Environ. Anal. Toxicol.* 6(1): 1000349. DOI: 10.4172/2161-0525.1000349

Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma, FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7d70ca8d-7503-4839-8d6b-8250e9add8ac/content>

Rodríguez Ortiz, J. C., Alcalá Jáuregui, J. A., Hernández Montoya, A., Rodríguez Fuentes, H., Ruiz Espinoza, F. H., García Hernández, J. L., Díaz Flores, P. A. (2014). Elementos traza en fertilizantes y abonos utilizados en agricultura orgánica y convencional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(4): 6 9 5 - 7 0 1 . https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000400013

Romero Beltrán, E., Rendón Martínez, J. R., Gaspar Dillanes, M. T., Osuna Bernal, D. A., Mauricio Payán, J. A., Medina Osuna, P. M., Romero Correa, A., Castillo Lejarza, M., Valdez Ledón, P. (2021). *Estimación de la capacidad de carga de sistemas abiertos y cerrados en el estado de Sinaloa: lagunas costeras de Sinaloa y Presa Picachos, Sinaloa*. CRIAP-Mazatlán. Agricultura-INAPESCA. México.

- Ruíz-Luna, A. J., Acosta-Velazquez, Berlanga-Robles, C.A. (2005).** Expansión de la camaronicultura sobre humedales costeros en Sinaloa, México. *Semana Geomática Barcelona* “Los sensores de alta resolución y sus aplicaciones. Barcelona, España. https://www.researchgate.net/publication/355945523_Expansio_n_de_la_camaronicultura_sobre_humedales_costeros_en_Sinaloa_Mexico
- Salomons, W., Förstner, U. (1984).** Metals in the hydrocycle. Springer-Verlag. Berlin. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-69325-0_3
- Sánchez-Lindoro, F. J., Jiménez- Illescas, A. R., Espinosa-Carreón, T. L., Obeso-Nieblas, M. (2017).** Modelo hidrodinámico en el Sistema lagunar Navachiste, Guasave, Sinaloa, México. *Revista de Biología marina y Oceanografía*. 52(2): 219-231. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572017000200003>
- Sauceda-López, R. y Gómez-Soto. (2003).** La actividad agrícola y su impacto en el medio ambiente. en J.L. Cifuentes-Lemus, J. Gaxiola-López (eds.) *Atlas de los ecosistemas de Sinaloa*. (417-425). El Colegio de Sinaloa. México. https://www.researchgate.net/profile/Arturo_Ruiz-Luna/publication/282252213_Los_sistemas_acuaticos_costeros_de_Sinaloa/links/5609976008ae576ce63e3318/Los-sistemas-acuaticos-costeros-de-Sinaloa.pdf?__cf_chl=tk=VnbOyduqG2lB5IIQl4SHILM8DCn8qI1fwP_5SKLuUKo-1745256551-1.0.1.1-wZmM1WLv2AJLxDUVIc9wh3j7fFzyny6gPhGS8RWavUk
- Schubel, J. R. (1994).** Coastal pollution and waste management. en National Research Council. *Environmental Science in the Coastal Zone: Issues for Further Research*. (124-172). doi: 10.17226/2249.
- Secretaría de Salud (SSA). (1993).** NOM-027-SSA1-1993, Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.
- Secretaría de Salud (SSA). (1995).** NOM-117-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, hierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

- Secretaria de Salud (SSA). (2009).** NOM-242-SSA1-2009, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.
- Segovia-Zavala, J. A., F. Delgadillo-Hinojosa, M. L. Lares-Reyes, M. A. Huerta-Díaz, A. Muñoz-Barbosa, E. Santamaría del Ángel, E. V. Torres-Delgado, S. A. Sañudo-Wilhelmy. (2011).** Distribuciones verticales de hierro, cobre y cadmio disueltos en el canal de Ballenas, Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 37 (4 A) : 457 - 469 .
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802011000400007
- Selman, M., Greenhalgh, S., Diaz, R., Sugg, Z. (2008).** Eutrophication and hypoxia in coastal áreas: A global assessment of the state of knowledge. World Resources Institute. 1: 6.
https://www.researchgate.net/publication/285775211_Eutrophication_and_hypoxia_in_coastal_areas_a_global_assessment_of_the_state_of_knowledge
- Siegel, F. R. (2002).** *Environmental geochemistry of potentially toxic metals*. Springer. Germany. 218 p.
http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/58217/1/Frederic%20R.%20Siegel_2002.pdf
- Tacon, A. (1989).** Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de Capacitación. Documento de campo 4. FAO - Italia .
<https://www.fao.org/4/ab492s/ab492s00.htm#:~:text=Debido%20a%20que%20la%20mayor%C3%ADa%20de%20los,la%20fertilizaci%C3%B3n%2C%20compostas%20y%20dietas%20alimenticias%20suplementarias.&text=1%20El%20papel%20del%20alimento%20natural%20y,sistemas%20de%20cultivo%20extensivo%2C%20semiintensivo%20o%20intensivo.>
- Tanhan P, Lansubsakul N, Phaochoosak N, Sirinupong P, Yeesin P, Imsilp K. (2022).** Human health risk assessment of heavy metal concentration in seafood collected from Pattani Bay, Thailand. *Toxics*. 26;11(1):18. doi: 10.3390/toxics11010018.

- Targett, T.E. (1978).** Food resource partitioning by the Pufferfishes *Sphoeroides spengleri* and *S. testudineus* from Biscayne Bay, Florida. *Marine Biology*. 49: 83-91. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00390732>
- Von Schiller, D., García, C.B. (2000).** Observations on the diet of *Balistes vetula* (Pisces: Balistidae) in the gulf of Salamanca, Colombian Caribbean. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 29: 35-40. <http://www.scielo.org.co/pdf/mar/v29n1/v29n1a03.pdf>
- Warren, L.A., Zimmerman, A.P. (1993).** Trace element-suspended particulate matter associations in a fluvial system: physical and chemical influences. en S.S. Rao (Ed.) *Particulate matter and aquatic contaminants*. (127-155). CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Wittig, R. 1993.** General aspects of bio-monitoring heavy metals by plants. en: Market, B. (ed.). *Plants as bio-monitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial environment*. VCH Press, Weinheim, pp. 3-27
- Wong, E., González, M.I., Antillón, F., Glenn, E. (1997).** Efecto de varios agentes, a diferentes niveles de pH, sobre la tasa de filtración de la piangua, *Anadara tuberculosa* (Mollusca: Arcidae). *Rev. Biol. Trop.* 45(4): 1453-1457. https://tropicalstudies.org/rbt/attachments/volumes/vol45-4/14_Wong_Anadara_tuberculosa.pdf
- Wuana, R.A., Okieimen, F.E. (2011).** Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42, 111-122. <http://dx.doi.org/10.5402/2011/402647>
- Yu, F., Yang, Ch., Zhu, Z., Bai, X., Mac, J. 2019.** Adsorption behavior of organic pollutants and metal ion micro/nanoplastics in the aquatic environment. *Science of the total environment*. 694: 133643. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133643>