

# MACROFAUNA EN EL PACÍFICO MEXICANO: ESTADO DEL CONOCIMIENTO Y RETOS METODOLÓGICOS PARA EVALUAR EL ESTADO DE SALUD DE LOS FONDOS MARINOS

Karla Mariana Rivera Juárez<sup>1</sup>, Victoria María Díaz Castañeda<sup>2</sup>  
y Norma Angélica Santibañez Aguascalientes<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Índices Bentónicos y Gestión de Ecosistemas Acuáticos, Facultad de Ciencias Biológicas, BUAP CU2

<sup>2</sup>Departamento de Ecología Marina, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), Baja California, México. Karla M. Rivera-Juárez, karla.riveraj@alumno.buap.mx

Victoria M. Díaz-Castañeda, vidiaz@cicese.mx

\*Autor de correspondencia: norma.santibanez@correo.buap.mx

<https://doi.org/10.32399/CIBIOS-BUAP.fcb.2954-5218.2025.4.12.35>

## Resumen

Los ecosistemas bentónicos del Pacífico mexicano albergan una alta diversidad de macrofauna que desempeña funciones esenciales para el mantenimiento del funcionamiento ecosistémico. Debido a su escasa movilidad, ciclos de vida relativamente largos y sensibilidad a los cambios ambientales, estos organismos constituyen bioindicadores eficaces del estado ecológico de los ecosistemas marinos y costeros. Este trabajo presenta una revisión de la literatura científica publicada durante el periodo comprendido entre 1984 y 2025 sobre la macrofauna del Pacífico mexicano, con el objetivo de evaluar el grado de avance del conocimiento y analizar la viabilidad de aplicar índices bentónicos, particularmente AMBI y M-AMBI. La búsqueda bibliográfica permitió compilar un total de 265 publicaciones, de las cuales el 92.1% correspondió a artículos científicos. La mayoría de éstos se ha centrado en enfoques ecológicos y taxonómicos descriptivos, con un desarrollo limitado de aproximaciones funcionales y metodológicas estandarizadas orientadas a la evaluación ambiental. Por lo que la

aplicación de índices bentónicos en el Pacífico mexicano aún enfrenta retos significativos, como la ausencia de condiciones de referencia locales, ausencia de calibración regionales y la existencia de bases de datos incompletas, lo que resalta la necesidad de fortalecer los enfoques funcionales de la región.

**Palabras clave:** índices bentónicos, AMBI, M-AMBI, estado ecológico

### Abstract

Benthic ecosystems of the Mexican Pacific host a diversity macrobenthic fauna that performs essential functions in ecosystem maintenance, including bioturbation, nutrient recycling, sediment stabilization, and transfer of energy to higher trophic levels. Due to their limited mobility, relatively long-life cycles, and sensitivity to physicochemical changes in sediments, these organisms are effective bioindicators of the ecological status of marine and coastal ecosystems. This study reviews the literature published over the last 35 years on the benthic fauna of the Mexican Pacific and examines the potential application of benthic indices, particularly AMBI and M-AMBI, which are widely used internationally to assess seafloor environmental quality. The review indicates that most studies have focused on ecological and taxonomic description, with little development of functional approaches or standardized methodologies for environmental assessment. Despite significant advances in the Gulf of Mexico, the application of benthic indices in the Mexican Pacific still faces challenges, including the lack of locally reference conditions, the absence of regional calibrations, and incomplete biological databases.

**Keywords:** benthic indices, AMBI, M-AMBI, ecological status.

### Introducción

Los océanos cubren aproximadamente el 70% de la superficie del planeta y los sedimentos marinos constituyen uno de los hábitats más extensos de la Tierra (Gray 2009). El ambiente bentónico se organiza en distintas zonaciones marinas determinadas por la profundidad, presión, temperatura, disponibilidad de luz y tipo de sustrato. Estas incluyen la supralitoral, intermareal y la submareal, así como las zonas más profundas batial, abismal, que comprende la mayor parte (75%) de los hábitats bentónicos, y hadal, caracterizada por condiciones afóticas, sin disponibilidad de luz para la fotosíntesis (Lalli & Parsons, 1997) (Figura 1).

En este contexto, el término “bentos” se utiliza para referirse a la flora y fauna que habita dentro, sobre o en las proximidades de los sustratos del fondo de los ambientes acuáticos. Estas especies se caracterizan porque, en alguna fase de su ciclo de vida, mantienen una estrecha asociación con los sustratos o los sedimentos de los fondos (Reynolds, 2006). Dentro del bentos, los animales bentónicos o zoobentos se clasifican de acuerdo con la posición que ocupan en el sustrato, distinguiéndose dos grupos: i) infauna conformada por organismos que viven total o parcialmente dentro del sedimento, incluye desde gasterópodos, anfípodos, poliquetos, nematodos, etc., y ii) epifauna compuesta por organismos que viven sobre los sedimentos o adheridos a sustratos duros, son abundantes en las zonas intermareales rocosas y arrecifes de coral, incluyen a los corales, mejillones, percebes, equinodermos y esponjas (Walag, 2021). El zoobentos refleja una amplia diversidad evolutiva y adaptativa, de los 32 phyla de animales reconocidos en el planeta, 29 incluyen especies bentónicas (Giere,

2023).

Adicionalmente, la fauna bentónica puede organizarse en fracciones definida por el tamaño de los organismos, generalmente determinado por el tamaño de malla utilizado durante el muestreo. Bajo este criterio, los organismos retenidos en tamices de 1 Qm, 63 Qm y 500 Qm se denominan microfauna, meiofauna y macrofauna, respectivamente (Higgins y Thiel, 1992). El presente trabajo está limitado al componente de la macrofauna que, en términos de diversidad, incluye algunos integrantes del zoobentos, como poliquetos, crustáceos y moluscos, principalmente.

Las comunidades bentónicas desempeñan un papel clave en el funcionamiento de los ecosistemas marinos y el mantenimiento de múltiples procesos ecológicos que ocurren en la interfase agua-sedimento. A través de sus actividades biológicas, estos organismos influyen en la dinámica de los sedimentos y la estructura de los ecosistemas costeros y oceánicos, contribuyendo al mantenimiento de diversos servicios ecosistémicos (Lam *et al.*, 2020).

Sin embargo, en las últimas décadas, diversas actividades humanas, como la urbanización costera, la contaminación, el dragado y la pesca de arrastre, han afectado el crecimiento, reclutamiento y mortalidad de las especies bentónicas, modificando la estructura de las comunidades y su funcionalidad ecológica (Lohrer *et al.*, 2010; Villnäs *et al.*, 2013; Dannheim *et al.*, 2014; Thrush *et al.*, 2017). Estas perturbaciones han contribuido a una pérdida acelerada de biodiversidad y una alteración significativa de los procesos ecológicos que sustentan el funcionamiento de los ecosistemas marinos (Sala & Knowlton, 2006; Wright *et al.*, 2006; Butchart *et al.*, 2010; McCauley *et al.*, 2015; IPBES, 2019).

En este contexto, los índices bentónicos que integran información sobre el nivel de sensibilidad y tolerancia de la macrofauna frente a gradientes de perturbación ambiental (Borja *et al.*, 2024) se han consolidado como herramientas eficaces para evaluar el estado de salud de los ecosistemas marinos y costeros. No obstante, la aplicación de estos enfoques requiere un conocimiento sólido sobre los atributos comunitarios de la fauna bentónica (distribución, composición y abundancia) y de la disponibilidad de información ecológica y taxonómica que permita calibrar adecuadamente dichos índices.

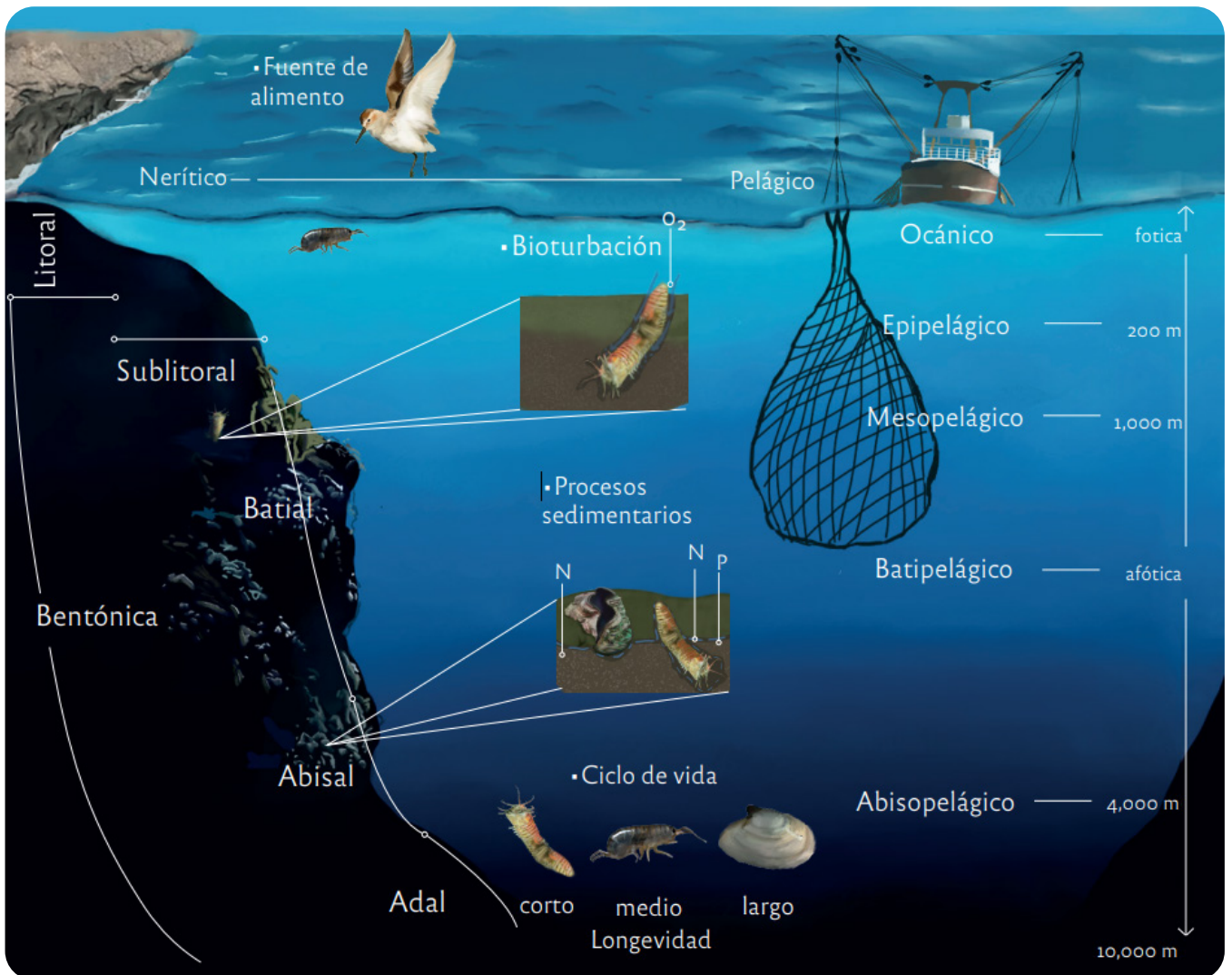
En el caso del Pacífico mexicano, el conocimiento sobre la fauna bentónica se encuentra dispersa en numerosos estudios con diferentes enfoques, escalas espaciales y metodologías, lo que dificulta su integración para fines de evaluación ambiental. En este contexto, el objetivo de este trabajo radica en sistematizar el conocimiento disponible sobre la macrofauna bentónica de esta región y exponer las implicaciones metodológicas derivadas de la literatura existente para la aplicación de índices bentónicos en esta región. Con ello, se busca fortalecer el marco conceptual y técnico que sustente el desarrollo de herramientas evaluación y gestión ambiental adaptadas a las condiciones oceanográficas del Pacífico mexicano.

## **2. Importancia ecológica de la macrofauna bentónica**

La macrofauna interviene activamente en procesos físicos, químicos y biológicos que mantienen la productividad y la estabilidad de los fondos marinos (Figura 1). A través de la bioturbación, los organismos mezclan partículas, modifican la matriz sedimentaria y favorecen el reciclaje de nutrientes mediante su interacción con comunidades microbianas (Mermillod-Blondin & Rosenberg, 2006). Sus actividades de alimentación y locomoción promueven el intercambio de materia y energía en la interfase agua-sedimento, integrando la dinámica bentónica con los ciclos biogeoquímicos del

carbono, nitrógeno y fósforo (Kristensen et al., 2012; Kauppi *et al.*, 2023). Asimismo, la macrofauna constituye un componente clave de las redes tróficas, transfiriendo energía desde los sedimentos hacia niveles tróficos superiores como peces, aves y mamíferos marinos (Oleszczuk *et al.*, 2021). Muchas especies presentan ciclos de vida relativamente largos y reclutamiento lento, lo que contribuye a la estabilidad de las poblaciones locales, aunque también puede limitar su capacidad de recuperación ante perturbaciones (Levin, 1984).

En conjunto, estas funciones resaltan el importante papel de la macrofauna como un componente clave en el mantenimiento de la calidad ambiental y la resiliencia de los ecosistemas marinos.



**Figura 1.** Principales funciones ecológicas de la macrofauna bentónica en ecosistemas marinos. Elaboración propia.

### 3. Uso de la macrofauna como bioindicadores en México

En ecología, un indicador es una variable o conjunto de variables que permiten describir y evaluar el estado, la estructura o el funcionamiento de un ecosistema frente a presiones naturales o antropogénicas (Borja *et al.*, 2012; Rice & Rochet, 2005). En los ambientes marinos, se han desarrollado índices bentónicos para identificar cambios

en la diversidad y estructura de las comunidades que habitan los fondos blandos, especialmente en zonas afectadas por actividades humanas, como la pesca de arrastre, la acuicultura o la contaminación orgánica (Borja *et al.*, 2015, 2019, 2024). Estos índices son útiles porque simplifican la complejidad ecológica en valores o métricas que pueden emplearse tanto en investigación científica como en la gestión ambiental (Rice *et al.*, 2012; Santibañez-Aguascalientes *et al.*, 2025).

Las especies de la macrofauna son utilizadas para este propósito porque se mueven poco, reflejando las condiciones locales del ambiente; tienen ciclos de vida relativamente largos (> 1 año), lo que permite registrar cambios en el tiempo; muestran una amplia variedad de respuestas ecológicas ante el disturbio (Spilmont, 2013). Uno de los índices más utilizados a nivel mundial es el AZTI's Marine Biotic Index (AMBI) (Borja *et al.*, 2000) y el multivariado de AMBI (M-AMBI) (Muxika *et al.*, 2007). Estos índices clasifican a las especies de macrofauna en cinco grupos ecológicos (GE), según su nivel de sensibilidad ante presiones humanas o tolerancia al enriquecimiento orgánico de los sedimentos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Grupos ecológicos de la macrofauna según el índice AMBI (Borja *et al.*, 2000).

Grupo ecológico	Definición	Características
GE I	Especies sensibles	Habitan en ambientes limpios y bien oxigenados, su desaparición temprana indica un posible deterioro ambiental
GE II	Especies indiferentes	Habitan tanto en lugares con condiciones naturales como con perturbaciones leves. Su disminución junto con las sensibles puede indicar deterioro progresivo.
GE III	Especies tolerantes	Su presencia aumentan en lugares con perturbación moderada, como exceso de materia orgánica o bajos niveles de oxígeno
GE IV	Especies oportunistas de segundo orden	Dominan en ambientes con fuerte contaminación orgánica, donde la diversidad biológica disminuye
GE V	Especies oportunistas de primer orden	Especies con estrategia r, con ciclos de vida cortos y con tasas altas de reproducción. Son comunes en zonas severamente impactadas.

En México, el uso de los índices AMBI y M-AMBI ha permitido evaluar el estado ecológico de los fondos marinos, principalmente en el sur del Golfo de México (Dominguez-Castaneda, 2012; Santibañez-Aguascalientes *et al.*, 2018, 2023). El esquema metodológico ha combinado índices biológicos, variables ambientales y contaminantes para: 1) interpretar la condición bentónica bajo situaciones de defaunación (Santibañez-Aguascalientes *et al.*, 2018), 2) establecer condiciones de referencia desde ambientes sublitorales hasta batiales, validando su calibración y aplicación en la región (Santibañez-Aguascalientes *et al.*, 2020), 3) integrar esta información previa con indicadores socioeconómicos de municipios costeros, mostrando cómo la calidad bentónica se relaciona con la presión humana (Santibañez-Aguascalientes *et al.*, 2021), 4) analizar cambios espacio-temporales bajo diferentes disturbios naturales y antropogénicos (Santibañez-Aguascalientes *et al.*, 2023). Este tipo de estudios han establecido un marco metodológico sólido para la calibración y aplicación de los ín-

lices bentónicos en el sur del Golfo de México. No obstante, el Pacífico mexicano aún presenta una notable carencia de evaluaciones similares, a pesar de su alta diversidad bentónica y el incremento de las presiones humanas en sus costas. Esta situación se relaciona, entre otros factores, con la dispersión de la información disponible, las diferencias en enfoques de investigación y la ausencia de programas de monitoreo bentónico sistemáticos en la región. Estas limitaciones se discuten con mayor detalle en la sección de Perspectivas a futuro.

#### 4. Estudios del zoobentos en el Pacífico mexicano

Se realizó una búsqueda bibliográfica de los trabajos publicados entre diciembre de 2024 a diciembre de 2025 citados en las bases de datos Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Springer, ResearchGate, y Google Scholar, con el objetivo de compilar estudios sobre el zoobentos del Pacífico mexicano, no obstante, el análisis detallado y la discusión se restringió al componente de la macrofauna. Además, se consultaron repositorios institucionales como los de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) (<https://bibliotecas.buap.mx/>), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (<https://repositorio.unam.mx/>) y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) (<https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2>). Las publicaciones identificadas abarcan un período comprendido entre 1984 al 2025.

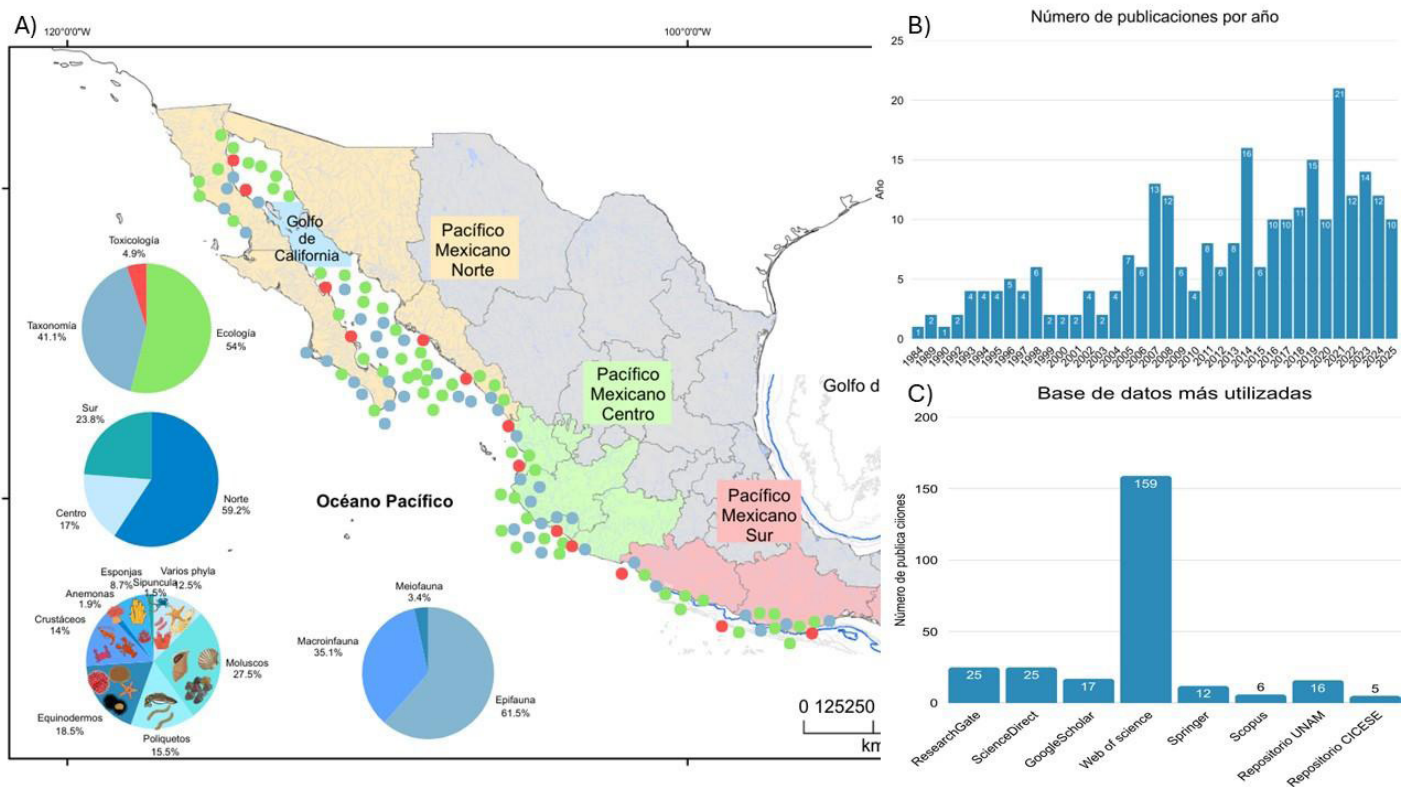
La búsqueda se realizó utilizando combinaciones de palabras clave en español e inglés, incluyendo: “Mexican Pacific”, “zoobentos”, “macrofauna”, “macrobenthic”, “marine invertebrates”, “ecosystem function” y “benthic indicators”. Como resultado, se identificó un total de 265 publicaciones, de las cuales la mayoría correspondieron a artículos científicos (92.1%), seguidos por tesis de maestría (3.8%), tesis de licenciatura (1.9%), tesis doctorales (1.5%), y libros especializados (0.8%) (Figura 2).

Los resultados obtenidos en las diferentes bases de datos fueron integrados en una base de datos en Excel para su revisión y depuración. El proceso de selección se realizó en tres etapas, primero se eliminaron registros duplicados entre las diferentes bases de datos consultadas; segundo, se realizó un filtrado preliminar mediante la revisión de títulos y resúmenes, con el fin de excluir publicaciones que no correspondían al Pacífico mexicano o que no abordarían directamente al componente de la macrofauna bentónica. Finalmente, se revisó el texto completo de estudios potencialmente relevantes para verificar su pertinencia dentro del enfoque de esta revisión. Estas publicaciones fueron incorporadas a la base de datos final utilizada para el análisis bibliométrico y está disponible como material suplementario.

En cuanto a los enfoques de los estudios, el 54% abordó aspectos ecológicos, el 41.1% taxonómicos, y el 4.9% toxicológicos, reflejando un interés predominante en la descripción y estructura de las comunidades bentónicas. Respecto al tipo de fauna analizada, los trabajos se concentran principalmente en epifauna (62%), seguida de macrofauna (35%) y meioinfauna (3%). Este patrón muestra que, aunque diversos componentes del bentos han sido estudiados en el Pacífico mexicano, una porción importante se enfoca en macrofauna bentónica (35%), que constituye el foco principal del presente estudio. Considerando los grupos taxonómicos de la macrofauna, los más investigados fueron moluscos (28%), equinodermos (19%), anélidos (15.5%) y crustáceos (14%), mientras que los menos estudiados incluyeron poríferos (9%), cnidarios y sipuncúlidos (<5%). Estos valores reflejan la composición de la literatura analizada en este estudio y no necesariamente la totalidad de la producción científica sobre el zoobentos de la región. A nivel regional, la distribución de los estudios se

distribuyó de la siguiente forma: Pacífico norte (59%), Pacífico sur (24%) y Pacífico centro (17%).

En conjunto, estos resultados reflejan un panorama aún fragmentado del conocimiento sobre la fauna bentónica en el Pacífico mexicano. La mayor parte de las investigaciones se ha concentrado en aspectos descriptivos, con menor desarrollo en enfoques funcionales o de evaluación ambiental. Es necesario fortalecer los estudios sobre la macrofauna e incorporar análisis multiescalares que integren la diversidad funcional, la conectividad ecológica y la respuesta a perturbaciones naturales y antrópicas, a fin de avanzar hacia una evaluación integral de la salud de los ecosistemas marinos en esta región.



**Figura 2.** Síntesis de los estudios de la fauna bentónica recopilados en el Pacífico mexicano. A) Distribución geográfica de los estudios a lo largo del Pacífico mexicano, clasificados por temática: ecología (verde), taxonomía (azul) y toxicología (rojo). Los puntos de color indican la ubicación de cada estudio, agrupados por región (norte, centro y sur). Los gráficos de pastel insertos muestran: (1) la proporción de estudios por temática, (2) el porcentaje de publicaciones por región del Pacífico, (3) los phyla más representativos, y (4) la distribución de los componentes bentónicos (meiofauna, macrofauna, epifauna). B) Número anual de publicaciones registradas entre 1984 y 2025. C) Número total de publicaciones encontradas en cada base de datos consultada. Elaboración propia

### 5. Perspectivas a futuro

El conocimiento generado sobre la fauna bentónica del Pacífico mexicano representa un acervo valioso que aún no ha sido plenamente provechado para la evaluación ambiental. Los estudios realizados en las últimas décadas han producido una cantidad considerable de datos ecológicos y taxonómicos que, a pesar de su heterogeneidad metodológica, representan un acervo científico importante. Si esta información se integra y sistematiza mediante bases de datos regionales estandarizados, podría constituir la base para el desarrollo de herramientas de diagnóstico comparables a las

implementadas en otras regiones del país (Material Suplementario Tabla 2).

Uno de los principales retos metodológicos consiste en la integración y estandarización de la información bentónica existente, en particular de los registros de macrofauna. Las bases de datos generadas en el Pacífico mexicano provienen de proyectos con distintos objetivos, metodologías y escalas espacio-temporales, lo que dificulta su comparación y aprovechamiento conjunto. Además, gran parte de esta información permanece dispersa o no es compartida entre grupos de investigación, lo que limita la construcción de bases de datos regionales integrales que reflejen el estado ecológico de los fondos marinos.

Este patrón se refleja en la síntesis realizada (Tabla 2), donde, si bien la mayoría de los estudios reportan listados taxonómicos (frecuentemente >50% en todas las regiones), la disponibilidad de datos cuantitativos es más limitada. La abundancia se reporta en una proporción variable de estudios (30-60%), mientras que la biomasa es escasamente considerada (<10%). Asimismo, la inclusión de variables ambientales es inconsistente, particularmente en regiones centro y sur. Como resultado, solo entre 18 y 25% de los estudios cuentan con información mínima necesaria (listado de especie y abundancia) para la aplicación de índices bentónicos como AMBI y M-AMBI, lo que evidencia una limitada reutilización potencial de la información existente para evaluaciones ecológicas.

La aplicación de índices bentónicos debe considerar un proceso metodológico que incluya la calibración y estandarización de los datos generados en la región de estudio, para comparar sus resultados y la consolidación de marcos de referencia globales que permitan evaluar el estado ecológico de los ecosistemas marinos (Spillmont, 2013). Sin embargo, los resultados obtenidos en la Tabla 2 evidencia que una proporción limitada de los estudios disponibles cuenta con la información mínima necesaria para este propósito, lo que pone de manifiesto no solo la dispersión de datos, sino también su baja integralidad.

En este sentido, más que continuar generando información bajo esquemas heterogéneos, se vuelve necesario transitar hacia una ruta metodológica estandarizada que garantice la interoperabilidad de los datos bentónicos desde su origen. Esto implica que los estudios futuros, independientemente de su enfoque incorporen de manera sistemática listados taxonómicos, datos de abundancia comparables, variables ambientales asociadas a los muestreos y en general metadatos claros sobre el diseño de muestreo.

Bajo este esquema, la generación de información deja de ser un esfuerzo asilado y se convierte en un componente articulado dentro de redes de monitoreo y bases de datos regionales. Iniciativas como el Sistema de Información y Análisis Marino y Costero (<https://simar.conabio.gob.mx/>) representan plataformas clave para avanzar en esta dirección. Este tipo de plataformas pueden servir como modelo para integrar la información generada por universidades, centros de investigación, particularmente por sectores productivos que realizan estudios ambientales en zonas marinas, los cuales son frecuencia cuentan con recursos para realizar campañas oceanográficas de gran escala. Como por ejemplo en el caso del Golfo de México, gran parte de los datos generados por la industria petrolera permanece restringido a un sector académico limitado, lo que impide su aprovechamiento en evaluaciones ambientales de alcance nacional (Santibañez-Aguascalientes et al., 2025).

De esta manera, el principal desafío no radica únicamente en la ausencia de información, sino en la falta de criterios comunes para su generación y uso, lo cual permitirá que los datos existentes y futuros contribuyan a la aplicación de estos índices

bentónicos como AMBI y M-AMBI, y a la toma de decisiones en la gestión de los ecosistemas marinos.

**Tabla 2.** Síntesis porcentual de la disponibilidad de datos en estudios de macrofauna bentónica del Pacífico mexicano (ver Material Suplementario). n= número total de estudios por región.

Región	Grupo taxonómico (%)	Lista de especies (%)	Abundancia (%)	Biomasa (%)	Variables ambientales (%)	Potencial para índices bentónicos (%)
Norte (n=156)	Moluscos (21.8)	44.1	23.5	5.88	29.4	18.6
	Poliquetos (21.1)	84.8	42.4	6.06	63.6	
	Crustáceos (16.6)	61.5	19.2	11.5	46.2	
	Varios (14.7)	65.2	56.5	34.8	56.5	
	Equinodermos (10.9)	58.8	29.4	0	23.5	
	Anemonas (3.2)	80	0	0	0	
	Sipunculidos (0.6)	100	0	0	100	
Centro (n= 46)	Moluscos (41.3)	52.6	36.8	0	31.6	19.6
	Equinodermos (32.6)	60	46.7	0	13.3	
	Crustáceos (13)	83.3	33.3	0	33.3	
	Varios (6.5)	33.4	100	33.3	66.7	
	Esponjas (4.3)	100	0	0	0	
	Poliquetos (2.2)	0	0	0	0	
Sur (n= 63)	Moluscos (39.6)	42.9	38.1	0	19	24.5
	Equinodermos (32.1)	52.9	29.4	0	5.88	
	Poliquetos (15.1)	100	37.5	0	25	
	Varios (11.3)	33.3	50	0	16.7	
	Crustáceos (7.5)	75	50	0	25	
	Esponjas (7.5)	50	75	0	25	
	Sipunculidos (5.6)	66.7	0	0	0	

## Conclusiones

La revisión de la literatura científica publicada entre 1984 y 2025 evidencia que el Pacífico mexicano alberga una elevada diversidad de macrofauna, la cual desempeña funciones ecológicas fundamentales para el funcionamiento y la estabilidad de los ecosistemas marinos. Sin embargo, el conocimiento generado hasta ahora se encuentra fragmentado y predominantemente enfocado en descripciones ecológicas y taxonómicas, con una limitada incorporación de enfoques funcionales y herramientas estandarizadas para la evaluación ambiental. A pesar del amplio uso y validación de índices bentónicos como el AMBI y el M-AMBI a nivel internacional, su aplicación en el Pacífico mexicano es aún limitada. Los resultados de este estudio mostraron que, aunque existe una base de datos importante de información taxonómica, solo una fracción de ellos (entre el 18 y el 25%) cuenta con los datos mínimos necesarios para su aplicación, lo que evidencia una limitada reutilización e integración del conocimiento disponible. Entre las causas identificadas, incluyen la ausencia de condiciones de referencias locales, la variabilidad metodológica y la escasa integración de variables ambientales.

En este contexto, más que la generación de nuevos datos, el principal reto radica en establecer criterios estandarizados que permitan integrar y comparar la información existente y futura. En este sentido, resulta prioritario avanzar hacia una ruta metodológica estandarizada que promueva la interoperabilidad de los datos bentónicos, mediante la incorporación sistemática de información taxonómica, abundancia, variables ambientales y metadatos de muestreo.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo a la estudiante de Diseño Gráfico Evelyn Olivares Montes de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por la elaboración de la figura 1. Asimismo, agradecemos a los revisores por sus comentarios constructivos y sugerencias, que contribuyeron a mejorar sustancialmente este manuscrito.

## Referencias

- Borja, Á., Franco, J., & Pérez, V. (2000). A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40(12), 1100-1114.
- Borja, Á., J. Mader, & Muxika, I. (2012). Instructions for the use of the AMBI index software 777 (Version 5.0). *Revista de Investigación Marina*, 19: 71-82.
- Borja, Á., Marín, S. L., Muxika, I., Pino, L., & Rodríguez, J. G. (2015). Is there a possibility of ranking benthic quality assessment indices to select the most responsive to different human pressures? *Marine Pollution Bulletin*, 97, 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.030>
- Borja, Á., Bricker, S., Dauvin, J.-C., Elliott, M., Harrison, T., Marques, J.-C., Weisberg, S., & West, R. (2024). Classifying ecological quality and integrity of estuaries. En D. Baird & M. Elliott (Eds.), *Treatise on estuarine and coastal science* (2nd ed., pp. 158-204). Academic Press.
- Borja, Á., Bricker, S., Dauvin, J.-C., Elliott, M., Harrison, T., Marques, J.-C., Weisberg, S., & West, R. (2024). Classifying ecological quality and integrity of estuaries. En D. Baird & M. Elliott (Eds.), *Treatise on estuarine and coastal science* (2nd ed., pp. 158-204). Academic Press.
- Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J. P. W., Almond, R. E. A., et al. (2010). *Global biodiversity: Indicators of recent declines*. *Science*, 328, 1164-1168. <https://doi.org/10.1126/science.1187512>
- Dannheim, J., Brey, T., Schröder, A., Mintenbeck, K., Knust, R., & Arntz, W. E. (2014). *Trophic look at soft-bottom communities: Short-term effects of trawling cessation on benthos*. *Journal of Sea Research*, 85, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.09.005>

- Domínguez-Castanedo, N. C. (2012). Evaluación de la calidad ambiental bentónica de la plataforma interna del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México). Repositorio UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/evaluacion-de-la-calidad-ambiental-bentonica-de-la-plataforma-interna-del-parque-nacional-sistema-arrecifal-veracru-99467>
- Giere, O., & Schratzberger, M. (2023). *New horizons in meiobenthos research*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-16634-2>
- Gray, J. S., & Elliott, M. (2009). *Ecology of marine sediments: From science to management* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Higgins, R. P., & Thiel, H. (1992). *Introduction to the study of meiofauna*. Smithsonian Institution Press.
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES Secretariat. <https://ipbes.net/global-assessment>
- Kauppi, L., Göbeler, N., Norkko, J., Norkko, A., Romero-Ramirez, A., & Bernard, G. (2023). *Changes in macrofauna bioturbation during repeated heatwaves mediate changes in biogeochemical cycling of nutrients*. *Science of The Total Environment*, 898, 165606. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165606>
- Lam-Gordillo, O., Baring, R., & Dittmann, S. (2020). Ecosystem functioning and functional approaches on marine macrobenthic fauna: A research synthesis towards a global consensus. *Marine Environmental Research*, 154, 104868. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104868>
- Lalli, C. M., & Parsons, T. R. (1997). *Biological oceanography: An introduction* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Levin, L. A. (1984). *Life history and dispersal patterns in a dense infaunal polychaete assemblage: Community structure and response to disturbance*. *Ecology*, 65(4), 1185-1200. <https://doi.org/10.2307/1938318>
- Lohrer, A. M., Thrush, S. F., & Hewitt, J. E. (2010). *Ecosystem functioning in a disturbance-recovery context: Contribution of macrofauna to primary production and nutrient release on intertidal sandflats*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 390(1), 6-13. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2010.04.035>
- McCauley, D. J., Pinsky, M. L., Palumbi, S. R., Estes, J. A., Joyce, F. H., & Warner, R. R. (2015). *Marine defaunation: Animal loss in the global ocean*. *Science*, 347(6219), 248-254. <https://doi.org/10.1126/science.1255641>
- Mermillod-Blondin, & Rosenberg (2006). Ecosystem engineering: The impact of bioturbation on biogeochemical processes in marine and freshwater benthic habitats. *Aquatic Science*, 68 (4): 434-442. DOI: 10.1007/s00027-006-0858-x
- Muxika, I., Borja, Á., & Bald, J. (2007). *Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive*. *Marine Pollution Bulletin*, 55, 16-29.
- Oleszczuk, B., Dybwad, C., Silberberger, M. J., Peeken, I., Grzelak, K., Wiedmann, I., Winogradow, A., & Kędra, M. (2021). *Macrofauna and meiofauna food-web structure from Arctic fjords to deep Arctic Ocean during spring: A stable isotope approach*. *Frontiers in Marine Science*, 8, 707785. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.707785>
- Reynolds, C. S. (2006). *Benthic ecology*. In S. E. Jorgensen & B. D. Fath (Eds.), *Encyclopedia of environmental metrics*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470057339.vab010>
- Sala, E., & Knowlton, N. (2006). *Global marine biodiversity trends*. *Annual Review of Environment and Resources*, 31, 93-122. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.31.020105.100235>
- Santibañez-Aguascalientes, N. A., Borja, Á., Kuk-Dzul, J. G., Montero-Muñoz, J. L., & Ardisson, P.-L. (2018). Assessing benthic ecological status under impoverished faunal situations: A case study from the southern Gulf of Mexico. *Ecological Indicators*, 91, 679-688. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.048>
- Santibañez-Aguascalientes, N. A., Borja, Á., & Ardisson, P.-L. (2021). *Sustainability situations for the southern Gulf of Mexico seafloor, based on environmental, benthic, and socioeconomic indicators*. *Science of the Total Environment*, 797, 147726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147726>
- Santibañez-Aguascalientes, N. A., Borja, Á., & Ardisson, P.-L. (2023). *Assessing the large-scale and long-term changes in the southern Gulf of Mexico benthic ecological status under natural and human-induced disturbances*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 283, 108282. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108282>

Santibañez-Aguascalientes, N. A., Ascencio-Aguirre, L. A., & Ortiz-Lozano, L. D. (2025). Los índices bentónicos como instrumentos de diseño de políticas públicas para el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. En 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.

Spilmont, N. (2013). *The future of benthic indicators: Moving up to the intertidal*. *Open Journal of Marine Science*, 3, 75–85. <https://doi.org/10.4236/ojms.2013.32A008>

Thrush, S. F., Hewitt, J. E., Kraan, C., Lohrer, A. M., & Pilditch, C. A. (2017). *Changes in the location of biodiversity-ecosystem function hot spots across the sea floor landscape with increasing sediment nutrient loading*. *Proceedings of the Royal Society B*, 284, 20162861. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2861>

Villnäs, A., Norkko, J., Hietanen, S., Josefson, A. B., Lukkari, K., & Norkko, A. (2013). *The role of recurrent disturbances for ecosystem multifunctionality*. *Ecology*, 94(10), 2275–2287. <https://doi.org/10.1890/12-1716.1>

Walag, A. M. P. (2021). *Understanding the world of benthos: An introduction to benthology*. In *Ecology and biodiversity of benthos*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821161-8.00002-7>

Wright, J. P., Naeem, S., Hector, A., Lehman, C., Reich, P. B., Schmid, B., & Tilman, D. (2006). *Conventional functional classification schemes underestimate the relationship with ecosystem functioning*. *Ecology Letters*, 9, 111–120. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00850.x>