

Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad del agua de 4 islas del archipiélago de Jambelí

Benthic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in 4 islands of the Jambeli archipelago



Kevin Procel Vidal¹
Jhean Pierre Vasconez Zambrano¹
Alex Dumany Luna Florin¹
Juan Gabriel Paredes Moran¹

✉ <https://orcid.org/0000-0001-8085-8610>
✉ <https://orcid.org/0000-0002-2610-3708>
✉ <https://orcid.org/0000-0003-4975-405X>
✉ <https://orcid.org/0009-0007-7074-360X>

¹Universidad Técnica de Machala UTMACH | Machala - Ecuador | CP 070151

✉ kprocel3@utmachala.edu.ec

<http://doi.org/10.26423/rctu.v12i1.867>
Páginas: 10- 22

Resumen

Los macroinvertebrados bentónicos son indicadores claves para evaluar la calidad del agua. Este estudio analiza la biodiversidad y distribución de comunidades de macroinvertebrados bentónicos en cuatro islas del Archipiélago de Jambelí. Se establecieron muestreos en tres zonas, utilizando metodologías estandarizadas. Se identificaron 16 especies pertenecientes a 14 familias distribuidas en cuatro filos, siendo Mollusca el más representativo. Los índices ecológicos indicaron biodiversidad moderada y contaminación media, con valores de Shannon-Wiener entre 1 y 2 Bits/ind y índice de Pielou más equitativo en Costa Rica y San Gregorio. El índice trófico FFG indicó una base trófica estable, mientras que AMBI reflejó una ligera perturbación ambiental debido a la presencia de especies tolerantes a la contaminación. El análisis estadístico indicó diferencias considerables en diversidad y calidad de agua (ANOVA, $p < 0.05$), mientras que Chi cuadrado mostró un porcentaje mayor de colectores en Costa Rica, sugiriendo acumulación de materia orgánica.

Palabras clave: Especies dominantes, Índices, Macroinvertebrados, Manglar.

Abstract

Benthic macroinvertebrates are key indicators for assessing water quality. This study analyzes the biodiversity and distribution of benthic macroinvertebrate communities on four islands of the Jambeli Archipelago. Sampling was established in three zones, using standardized methodologies. Sixteen species belonging to 14 families distributed in four phyla were identified, Mollusca being the most representative. Ecological indices indicated moderate biodiversity and medium contamination, with Shannon-Wiener values between 1 and 2 Bits/ind and a more equitable Pielou index in Costa Rica and San Gregorio. The FFG trophic index indicated a stable trophic base, while AMBI reflected a slight environmental disturbance due to the presence of pollution-tolerant species. Statistical analysis indicated considerable differences in diversity and water quality (ANOVA, $p < 0.05$), while Chi-square showed a higher percentage of collectors in Costa Rica, suggesting accumulation of organic matter.

Keywords: Dominant species, Indexes, Macroinvertebrates, Mangrove.

Recepción: 25/03/2025 | Aprobación: 09/05/2025 | Publicación: 27/06/2025

1. Introducción

Los manglares se caracterizan por tener condiciones ambientales extremas, tales como variaciones amplias en la salinidad, amplias oscilaciones del oleaje y mareas, vientos fuertes, temperaturas elevadas, baja humedad relativa y suelos fangosos [1, 2], además, ocupan un espacio estratégico en la interfaz entre los ecosistemas terrestres y marinos, predominando en zonas costeras y estuarios de regiones tropicales y subtropicales [3]. Estas particularidades afectan la composición y organización de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos [4, 5, 6].

Los macroinvertebrados bentónicos definidos como aquellos con tamaños superiores a 500 μm [7], presentan diferentes niveles de sensibilidad y tolerancia a presiones ambientales, por lo que las variaciones de las condiciones naturales del ecosistema o actividad antrópica pueden influir en su composición, abundancia y distribución [8, 9]. Los macroinvertebrados bentónicos aportan datos significativos sobre el estado ecológico y los efectos de las actividades productivas en el ecosistema manglar [10], contribuyendo significativamente a la estabilidad funcional del ecosistema [11, 12]. Factores como la temperatura, el oxígeno disuelto y la disponibilidad de nutrientes influyen directamente en la estructura de las comunidades de macroinvertebrados [13, 14], lo que se traduce en que la disminución en la diversidad y distribución en las comunidades de macroinvertebrados, lo que suele evidenciarse cuando se detectan perturbaciones en la calidad del agua [15, 16]. Debido a su sensibilidad, los macroinvertebrados bentónicos, son utilizados como bioindicadores para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos, aplicando índices comunitarios como los de Shannon-Wiener, Pielou e índices para evaluar la calidad ambiental de los ecosistemas marinos costeros (AMBI),

además del índice trófico FFG, permitiendo un análisis estadístico mediante la aplicación de métodos estadísticos como ANOVA, SIMPER y Chi cuadrado [17, 18, 19, 20].

El Archipiélago de Jambelí, ubicado en la provincia de El Oro, es considerado uno de los ecosistemas de manglar más importantes del sur del Ecuador [21]. Este sitio contiene distintas especies de manglar, que contribuyen a la estabilización de los suelos, protección ante variaciones climáticas y la creación de hábitats para numerosas especies [22]. Sin embargo, en las últimas décadas, el Archipiélago de Jambelí ha enfrentado serios problemas ambientales debido a actividades humanas como la acuicultura intensiva, deforestación, sobreexplotación de especies para el consumo humano [21]. Estas actividades han incrementado los niveles de nutrientes, contaminantes persistentes, deteriorando la calidad del agua, afectando la biodiversidad, en particular a las comunidades macro bentónicas, las cuales son sensibles a cambios en la salinidad, el sustrato y la disponibilidad de nutrientes [23].

El presente estudio evalúa la estructura y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua en el ecosistema manglar de 4 islas del Archipiélago de Jambelí, provincia de El Oro, Ecuador, a través del análisis de comunidades de macroinvertebrados bentónicos e índices comunitarios y tróficos basados en la presencia y ausencia de macroinvertebrados, con el fin de identificar el impacto de las actividades antrópicas sobre la biodiversidad.

2. Materiales y Métodos

Área de estudio

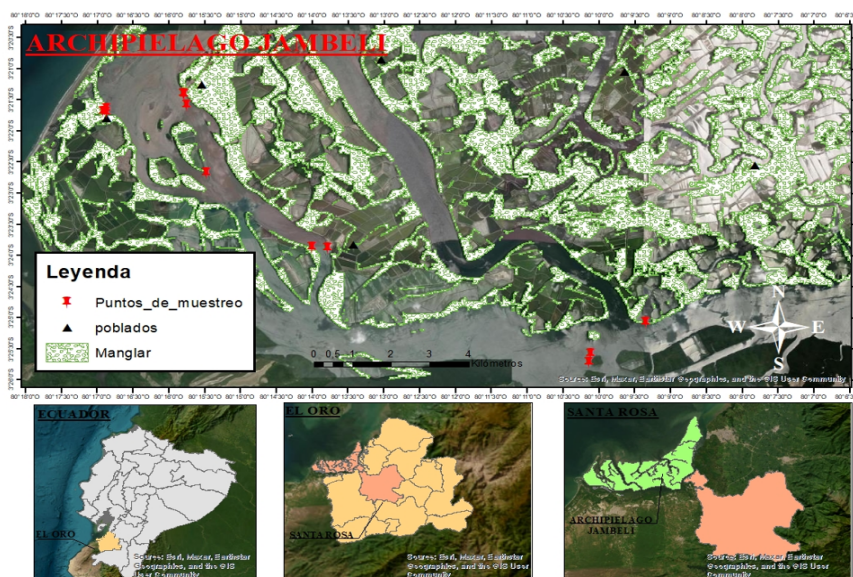


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio y distribución de puntos de muestreo.

El Archipiélago de Jambelí, ubicado frente a la costa de la provincia de El Oro, al sur del golfo de Guayaquil, en Ecuador (Figura 1), se sitúa en las coordenadas geográficas 3°21'56,02" S Latitud Sur y 80°6'38,88" W Latitud Norte, con una extensión de 300 km² [22]. Este conjunto de

islas e islotes constituye un área de gran importancia ecológica, albergando ecosistemas acuáticos, manglares del sistema Jama-Zapotillo y zonas intervenidas para actividades humanas [24], se encuentran predominantemente en el suroeste del país, en la región occidental. Los suelos

del archipiélago presentan características arcillo-limosas y franco arcillo-limosas, adaptados para múltiples usos, como actividades recreativas, el establecimiento de camarónicas y la producción agrícola/acuícola [25].

Las condiciones climáticas de la región están definidas por precipitaciones anuales que oscilan entre 200 y 700 mm, con un régimen climático que varía entre tropical megatérmico seco y tropical megatérmico semiárido [19]. La temperatura promedio anual del archipiélago fluctúa entre 25 y 26 °C, lo que favorece la biodiversidad y las actividades productivas de la zona [24].

Puntos de muestreo

La selección de puntos de muestreo se realizó mediante herramientas cartográficas, Arcgis [26], Earthexplorer [27], en el que se seleccionaron 4 sectores estratégicos (Isla Costa Rica, Isla San Gregorio, Isla Buena Vista, Isla Tembleque), fundamentados en criterios de accesibilidad operativa, considerando factores logísticos para la ejecución eficiente del trabajo de campo, de los cuales se tomaron muestras de cada sector en 3 distintas zonas (Intermareal, Estero, Manglar) de la misma [28].

Muestreo de macroinvertebrados

La recolección de macroinvertebrados bentónicos en los puntos de muestreo ubicados en la zona intermareal y manglar se establecieron cuadrantes 3 m x 3 m, en la cual para la extracción de sedimentos se introdujo a 30 cm de profundidad un recipiente cilíndrico (25 cm x 25 cm x 30 cm) de manera perpendicular en el suelo, estos sedimentos se filtraron a través de tamices con una apertura de 0,5 mm, procedimiento que se complementó con recolección manual dentro del mismo cuadrante [29]. Para lo que corresponde a la zona de estuario se determinó transectos de 5 m de longitud, donde se implementó una Red D-net de 500 micras para la recolección de los macroinvertebrados bentónicos [30, 31]. Las muestras recolectadas se fijaron en alcohol al 95 % en el campo, en recipientes herméticos de vidrio, con su respectiva etiqueta de identificación del sector de donde se tomó la muestra, finalmente al llegar al laboratorio, los macroinvertebrados recogidos se conservaron en formol al 5 % para su posterior caracterización [32].

Parámetros físicos

La evaluación de los parámetros físicos del agua se llevó a cabo in situ en cada punto de muestreo. Se empleó el multiparámetro portátil APERA modelo PC400S, equipado con dos sondas, para determinar el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica. Previo al muestreo, el equipo fue calibrado siguiendo las especificaciones del fabricante, garantizando la precisión y confiabilidad de las mediciones.

Caracterización de macroinvertebrados bentónicos

Se realizó la identificación, cuantificación y caracterización de los macroinvertebrados bentónicos, utilizando un estereomicroscopio Q170-T Trinocular de alta precisión (*Better Scientific*), lo cual permitió un análisis detallado de las características morfológicas de los especímenes. Para la identificación, se emplearon claves taxonómicas específicas [24, 33, 34] y se determinó el nivel taxonómico hasta familia, en los casos en que fue posible. Este proceso se fundamentó en criterios morfológicos estandarizados para cada grupo de macroinvertebrados [35]. Adicionalmente, se utilizó la

base de datos WoRMS [36] para corroborar y optimizar la identificación de los individuos, que posteriormente fueron contabilizados. Una vez identificados y contabilizados los macroinvertebrados, se calculó los índices ecológicos, que permitieron evaluar la calidad del agua, basados en los criterios implementados en el estudio de Lu (2021) [37].

Índices ecológicos

Índice de dominancia (Y)

Los índices de dominancia hacen referencia al grado en que las especies prevalecen en gran proporción en el ecosistema [38], pueden ser analizados mediante la aplicación de ecuaciones específicas, como las propuestas en el estudio de Ni *et al.* (2024) [11].

$$P_i = \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

$$Y = P_i * f_i \quad (2)$$

Donde:

P_i = Proporción de individuos o abundancia relativa de especies i.

N = Número total de individuos muestreados.

n_i = Número de individuos de la especie i.

f_i = Frecuencia absoluta de la especie i, corresponde a la cantidad de veces que la especie i aparece en las muestras.

Índice de diversidad de ShannonWiener (H)

Shannon Wiener representa la diversidad máxima alcanzada cuando todas las especies presentan una distribución equitativa en términos de abundancia, cuantificando la heterogeneidad de una comunidad, integrando la riqueza de las especies y la proporción en las que están distribuidas dentro del ecosistema [11, 39, 40, 41].

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (3)$$

Donde:

P_i = Proporción de individuos o abundancia relativa de especies i.

S = Número de especies registrada en la muestra.

Según Lu (2021) [37] el índice de Shannon-Wiener evalúa la calidad del agua de la siguiente forma: limpio (>3); contaminación media (1 a 3); contaminación fuerte (0 a 1).

Índice de uniformidad de Pielou (J)

El índice de uniformidad de Pielou es una métrica derivada del índice de Shannon que cuantifica la equidad en la distribución de la abundancia de las especies dentro la comunidad biológica [11, 38, 39, 40, 42].

$$J = \frac{H}{H_{max}} \quad (4)$$

$$H_{max} = \ln S \quad (5)$$

Donde:

H = Índice de Shannon.

H_{max} = Diversidad máxima posible.

Según Lu (2021) [37] el índice Pielou evalúa la calidad del agua de la siguiente forma: limpio (>0,8); contaminación ligera (0,5 a 0,8); contaminación media (0,1 a 0,5); contaminación fuerte (<0,1).

Índice trófico de grupos funcionales de alimentación

Es una herramienta en ecología acuática que evalúa la estructura y función de comunidades de macroinvertebrados bentónicos mediante la clasificación de organismos según su modo de alimentación (colectores, depredadores, trituradores, raspadores y parásitos) [20, 43]. Este enfoque analiza la proporción de cada grupo funcional, proporcionando información sobre la disponibilidad de recursos y las condiciones del ecosistema, siendo útil como bioindicador de la calidad del agua y la salud del hábitat acuático [44].

$$Proporción\ de\ un\ FFG = \frac{Num\ individuos\ del\ FFG}{N} * 100 \quad (6)$$

Donde:

N = Número de individuos del FFG = Cantidad de macroinvertebrados bentónicos pertenecientes a un grupo funcional específico.

N = Número total de individuos muestreados.

Índice de AMBI

El índice de AMBI nos permite obtener estimaciones sobre la calidad de agua junto a las comunidades de macroinvertebrados que habitan los bentos [19].

$$UnMBio = \frac{\sum (y_i * F_i)}{\sum F_i} \quad (7)$$

Donde:

i = Grupo ecológico de AMBI, corresponde a los valores de 1 a 5 dependiendo la sensibilidad a la contaminación.

F_i = Frecuencia relativa, corresponde a la abundancia de especies en cada grupo.

$\sum F_i$ = Suma de individuos totales en todas las categorías ecológicas.

Procesamiento de datos

Se realizó un análisis estadístico utilizando el software R, ampliamente utilizado en estudios ecológicos y de bioestadística [45]. Para examinar las diferencias entre grupos de muestra, se empleó la prueba de análisis de Varianza (ANOVA) utilizando la función `aov()` del paquete `stats` [46]. Con el propósito de identificar las variables que contribuyeron significativamente a las diferencias observadas entre las comunidades de macroinvertebrados, se realizó un análisis de *SIMilarity PERcentage* (*SIMPER*) mediante la función `simper()` del paquete `vegan` [47]. La prueba de *ANalysis Of SIMilarities* (*ANOSIM*) utilizando la función `anosim()` del paquete `vegan`, permitió evaluar la significancia estadística de las diferencias en la composición de las comunidades entre los sitios de muestreo [47]. Dada la naturaleza categórica del índice de Grupo Funcional de Alimentación (FFG), se utilizó la prueba de Chi-cuadrado a través de la función `chisq.test()` del paquete `stats`, permitiendo determinar si existían asociaciones significativas entre los grupos de FFG y los sitios de muestreo [48].

3. Resultados y Discusión

Se identificó 16 especies de macroinvertebrados bentónicos en los 4 sitios del área de estudio. Las especies bentónicas pertenecen a 14 familias dentro de cuatro filos (Artrópoda, Cnidaria, Echinodermata, Mollusca) (Tabla. 1) y cinco clases (*Bivalvia*, *Echinoidea*, *Gastropoda*, *Hydrozoa* y *Malacostraca*). Artrópoda ocupó 6 especies en 1 clase, 6 familias y 43 individuos, lo que representa aproximadamente el 37,5% del número total de especies y el 10,94% del número total de individuos muestreados. Mollusca ocupó 8 especies en 2 clases, 6 familias y 328 individuos, lo que representa aproximadamente el 50% del número total de especies y el 83,46% del número total de individuos muestreados. El filo Cnidaria y Echinodermata, ocupan el mismo número de especies, familia y clase (1), lo que representa 6,25% del número total de especies cada uno. El número de individuos de Cnidaria es 18 individuos y Echinodermata con 4 individuos (Figura 2).



Figura 2. Distribución de macroinvertebrados por clase y familia en el Archipiélago Jambelí, 2024.

La especie dominante de la fauna bentónica en el área de estudio fue *Cerithium stercusmuscarum* (Figura. 3), dado que esta tiene una amplia distribución en los puntos de muestreo exceptuando los puntos ubicados en estuario

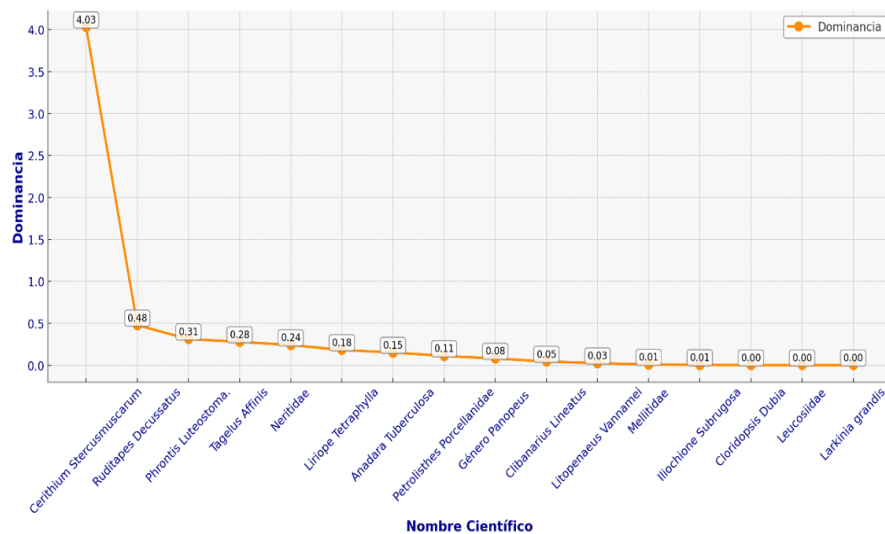


Figura 3. Diagrama de dominancia de las especies muestreadas en el Archipiélago Jambelí, 2024.

Esto se debe principalmente a su capacidad de tolerar variaciones en las condiciones de su entorno [49]. Sin embargo, Sotelo *et al.* (2015) [50] mencionan que, *Cerithium stercusmuscarum* cuenta con poca movilidad, sirviendo como bioindicadores de degradación de la calidad de agua al tener pocas posibilidades de recolonizar en hábitats aledaños.

Tabla 1: Listado de macroinvertebrados bentónicos del Archipiélago Jambelí, 2024.

N°	Nombre científico	Filo	Clase	Familia	Zonas de muestreo											
					Manglar				Estuario				Intermareal			
					CT	TB	BV	SG	CT	TB	BV	SG	CT	TB	BV	SG
1	<i>Tagelus affinis</i>	Mollusca	Bivalvia	Solecurtidae	1	0	1	0	0	0	0	0	9	0	10	1
2	<i>Ruditapes decussatus</i>	Mollusca	Bivalvia	Veneridae	0	0	0	5	0	0	0	0	36	0	0	0
3	<i>Anadara tuberculosa</i>	Mollusca	Bivalvia	Arcidae	0	10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4	<i>Anadara tuberculosa</i>	Mollusca	Bivalvia	Arcidae	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0
5	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Artropodos	Malacostraca	Penaeidae	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
6	<i>Cloridopsis dubia</i>	Artropodos	Malacostraca	Squillidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	<i>Litopenaeus vannamei</i>	Artropodos	Malacostraca	Penaeidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
8	<i>Género panopeus</i>	Artropodos	Malacostraca	Panopeidae	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0
9	<i>Panopeus purpureus</i>	Artropodos	Malacostraca	Panopeidae	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10	<i>Petrolisthes porcellanida</i>	Artropodos	Malacostraca	Porcellanidae	0	0	0	6	0	0	0	0	0	16	0	0
11	Familia Leucosiidae	Artropodos	Malacostraca	Leucosiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
12	<i>Neritidae</i>	Mollusca	Gastropoda	Neritidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
13	<i>Neritidae</i>	Mollusca	Gastropoda	Neritidae	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	<i>Phrontis luteostoma</i>	Mollusca	Gastropoda	Nassariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
15	Familia Neritidae	Mollusca	Gastropoda	Neritidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
16	Familia Neritidae	Mollusca	Gastropoda	Neritidae	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
17	<i>Cerithium stercusmuscarum</i>	Mollusca	Gastropoda	Cerithiidae	20	0	24	8	0	0	0	6	11	0	13	15
18	<i>Cerithium stercusmuscarum</i>	Mollusca	Gastropoda	Cerithiidae	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	<i>Phrontis luteostoma</i>	Mollusca	Gastropoda	Nassariidae	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
20	<i>Cerithium stercusmuscarum</i>	Mollusca	Gastropoda	Cerithiidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	76	0	0
21	<i>Iliocheone subrugosa</i>	Mollusca	Bivalvia	Veneridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
22	<i>Iliocheone subrugosa</i>	Mollusca	Bivalvia	Veneridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
23	<i>Ruditapes decussatus</i>	Mollusca	Bivalvia	Veneridae	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
24	Familia mellitidae	Echinodermata	Echinoidea	Mellitidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
25	<i>Clibanarius lineatus</i>	Artropodos	Malacostraca	Diogenidae	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	2
26	<i>Liriope tetraphylla</i>	Cnidaria	Hydrozoa	Geryoniidae	0	0	0	0	6	3	4	5	0	0	0	0
27	<i>Larkinia grandis</i>	Mollusca	Bivalvia	Arcidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

La mayor cantidad de macroinvertebrados fueron tomados en el ecosistema intermareal, con un total de 255 individuos, lo que equivale al 77,74 % del número total de macroinvertebrados (Tabla 1). Además, se observa que la mayor cantidad de individuos por isla se obtuvieron en la Isla Tembleque, con un total de 123 macroinvertebrados, equivalente al 37,5 % del total de especímenes. Mientras tanto, el ecosistema con el menor registro de individuos registrados fue el manglar, con un total de 24 individuos que equivalen al 7,31 % de todos los individuos, siendo

la isla Tembleque la que cuenta con menos registros (3). Estos datos concuerdan con lo mencionado por León & Salvador, (2019) [51] que indican que la mayor cantidad de individuos reportados en ambientes intermareales fueron del filo mollusca (Figura 2). Los datos concuerdan con lo señalado por Morán & Salas, (2018) [52] quienes sugieren que la abundancia se debe a que su fuente de alimentación es la vegetación. Sin embargo, el estudio de Lárez (2021) [53] contrasta estos resultados debido a la escasez de moluscos encontrados en la zona intermareal.

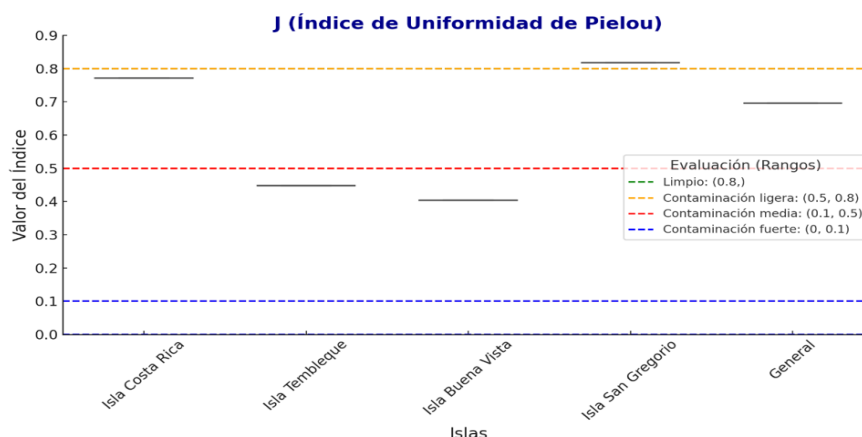


Figura 4. Evaluación de calidad de agua mediante Índice de Uniformidad de *Pielou* (J).

La uniformidad de la distribución de los macroinvertebrados en el marco de especies registradas (Figura 5). Si el valor se encuentra cerca de 1, indica que existe una distribución equitativa, lo que refleja equilibrio ecológico. Así mismo, valores inferiores indican una mayor predominancia de especies, lo que va de la mano con afectaciones en el entorno o deterioro ambiental del sector analizado (Figura 4) [40, 42, 54].

Los valores de uniformidad más altos corresponden a las islas de Costa Rica y San Gregorio, llegando a tener valores próximos a 0,8, lo que representa una óptima estructura de las comunidades, equitativamente distribuida (Figura 4). Sin embargo, estos datos se ubican en el límite entre entornos limpios y entornos que poseen valores inferiores, siendo un indicador de una probable afectación en la distribución ecológica ocasionada por condiciones

ambientales desfavorables [38].

En cambio, se determinaron valores de 0,5 correspondientes a las islas Tembleque y Buena Vista, ubicándolas dentro del apartado de contaminación media. Estos valores se relacionan con la alteración en la calidad del agua, lo que permite un aumento de especies resilientes y disminuye la diversidad que poseía el entorno [55, 56]. Así mismo Pumasupa *et al.* (2021) [40] comentan que la valoración baja de J' se relaciona con una abundancia superior de taxones tolerantes, demostrando una reducción de la distribución de las especies. Estos datos son similares con estudios elaborados en su respectiva zona, en los cuales los cambios de distribución de los macroinvertebrados comprueban que existe una degradación en la calidad del agua ocasionada por actividades antrópicas y deterioro ambiental [42, 50].

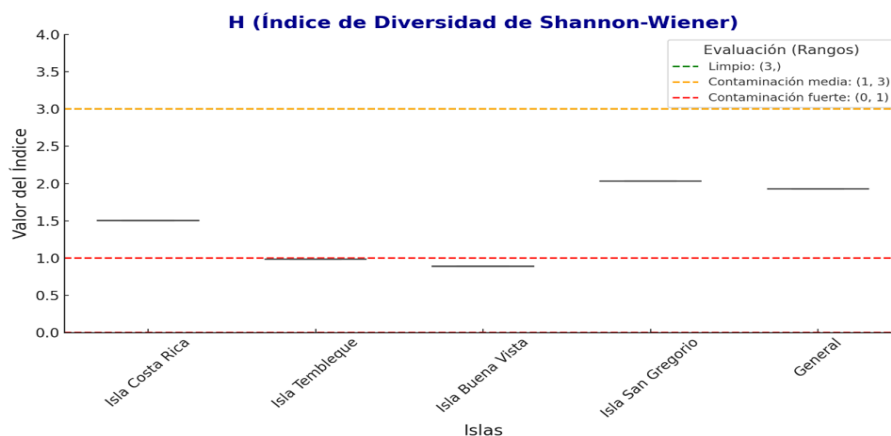


Figura 5. Evaluación de calidad de agua mediante Índice de Diversidad de *Shannon-Wiener* (H).

La evaluación de la calidad del agua, mediante el indicador *Shannon-Wiener*, mezcla la diversidad de especies junto con la equitatividad en su distribución, brindando una medición de la variabilidad ecológica (Figura 5). La representación de valores altos (>3) están correlacionados con ecosistemas con diversidad alta, siendo los valores inferiores (<1) aquellos que representan un menor nivel de variabilidad ecológica, y probablemente, la incidencia de macroinvertebrados bentónicos tolerantes a la contaminación [49, 57, 58].

Los valores obtenidos no fueron superiores a 3 en ninguna de las islas evaluadas, lo que refleja un nivel de biodiversidad media a baja junto con una contaminación media según lo establecido (Figura 5). El valor más alto (≈ 2) se encuentra determinado en la isla San Gregorio, lo que indica una estructura comunitaria razonablemente diversa, en referencia con el resto de las islas evaluadas. Sin embargo, estos valores son inferiores a los necesarios para considerarlo como un ecosistema prístino. Por el contrario, se determinaron

valores próximos a 1 en las Islas Tembleque y Buena Vista, siendo indicadores de que existe una contaminación fuerte, representando una disminución considerable en la heterogeneidad biológica, con la posibilidad de contar con especies proliferantes en ambientes eutrofizados.

Investigaciones como las de Roldán, (2024) [51] y Figueroa *et al.*, (2003) [50] indican que la estructura comunitaria se encuentra modificada por variables ambientales, minimizando la presencia de individuos sensibles y beneficiando a las especies con mayor nivel de tolerancia

a la contaminación. Esto concuerda con lo mencionado por Morelli *et al.* (2014) [38] indicando que los ríos con porcentajes altos de materia orgánica van a tener bajos índices de diversidad de macroinvertebrados, implicando una disminución de especies frágiles y aumentando la presencia de individuos resistentes a cambios. Por otro lado, investigaciones en Colombia han comprobado que los macroinvertebrados bentónicos reaccionan al deterioro del ecosistema, disminuyendo la equitatividad y la diversidad de las especies, comprobada en los valores bajos de *Shannon-Wiener* [51, 53, 59].

Tabla 2: Pruebas de rangos múltiple para la densidad.

Isla	Índice AMBI	Condición ecológica	Nivel de Perturbación
Costa Rica	1.97	Buena calidad ambiental	Ligera Perturbación
Tembleque	1.93	Buena calidad ambiental	Ligera Perturbación
Buena Vista	1.95	Buena calidad ambiental	Ligera Perturbación
San Gregorio	2.05	Buena calidad ambiental	Ligera Perturbación

Fuente: Elaboración propia a partir de la información obtenida de AMBI [19].

Los valores del índice AMBI, oscilan entre 1,93 y 2,05, reflejan un estado ecológico con una buena calidad ambiental y una ligera perturbación, sugiriendo ecosistemas acuáticos con una estructura biológica relativamente estable, aunque sujetos a presiones antrópicas incipientes (Tabla 2). Estos resultados concuerdan con estudio de Cárdenas & Mair (2014) [60], realizado en ramales estuarinos del Estero Salado, Ecuador, documentando que la composición taxonómica y la estructura funcional de las comunidades

de macroinvertebrados bentónicos experimentan variaciones significativas en respuesta a descargas industriales y domésticas. Dichos cambios evidencian la influencia de gradientes de contaminación orgánica e inorgánica en estos sistemas altamente dinámicos, los cuales pueden alterar la integridad ecológica del ecosistema y comprometer la resiliencia de las comunidades biológicas ante perturbaciones continuas.

Tabla 3: Clasificación de macroinvertebrados bentónicos FFG por sector del Archipiélago Jambelí, 2024.

Sector	Índice trófico FFG	
	%	Clasificación
Tembleque	26,83	Colector
	8,13	Depredador
	65,04	Raspador
San Gregorio	24,55	Colector
	10,91	Depredador
	64,55	Raspador
Buena Vista	22,58	Colector
	9,68	Depredador
	67,74	Raspador
Costa Rica	46,94	Colector
	9,18	Depredador
	43,88	Raspador

Fuente: Elaboración propia a partir de la información obtenida sobre FFG [43].

La distribución de los grupos funcionales en los cuatro sectores evaluados revela patrones interesantes que reflejan las condiciones tróficas en cada sitio. En Tembleque, San Gregorio y Buena Vista, la alta proporción de raspadores (65,04 %, 64,55 % y 67,74 %), lo que indica un ecosistema con buena calidad del agua y una base trófica sólida (Tabla 3). Estos resultados son consistentes con estudios previos que han asociado una alta proporción de raspadores con aguas bien oxigenadas y bajos niveles de degradación en la calidad del agua [61, 62]. Por otro lado, en la Costa Rica, la mayor proporción de colectores en comparación con

los otros sitios sugiere una mayor acumulación de materia orgánica en el sustrato, lo que podría estar relacionado con aportes de detritos o contaminación orgánica. Este hallazgo coincide con investigaciones que han identificado a los colectores como indicadores de perturbaciones en el ecosistema, especialmente en ambientes con acumulación de materia orgánica [20, 63]. La proporción de depredadores, aunque baja en todos los sitios (8,13 %–10,91 %), no muestra variaciones significativas, lo que sugiere que los niveles tróficos superiores están relativamente equilibrados en todos los sectores (Tabla 3).

Tabla 4: Parámetros físicos e índices aplicados por sector del Archipiélago Jambelí, 2024.

		pH	Conductividad Eléctrica	T °C	H	J	AMBI	FFG (Raspadores)
Sector	Tembleque	7,51	10,03	28,00	0,98	0,45	1,92	65,04 %
	San Gregorio	7,48	14,03	29,77	2,03	0,81	2,05	64,55 %
	Buena Vista	7,60	21,33	28,46	0,88	0,40	1,95	67,74 %
	Costa Rica	7,58	20,06	29,03	1,50	0,77	1,97	43,88 %

Tabla 5: Análisis estadísticos de parámetros físicos e índices aplicados por sector del Archipiélago Jambelí, 2024.

		pH	Conductividad Eléctrica	T °C	H	J	AMBI	FFG (Raspadores)
ANOVA	Valor F	4,56	3,78	1,23	5,78	2,45	4,89	0
	Valor P	7,48	0,05	0,35	0,02	0,12	0,04	0
Chi-Cuadrado	Valor F	0	0	0	0	0	0	15,67
	Valor P	0	0	0	0	0	0	0,01
SIMPER	Contribución (%)	25	30	2	5	3	20	15
ANOSIM	Estadístico R	0,72						
	Valor P	0,001						

Existen diferencias significativas en los datos obtenidos entre los cuatro sectores evaluados (Tembleque, San Gregorio, Buena Vista y Costa Rica), a pesar de que las variaciones en algunos parámetros, como el pH y la temperatura, fueron mínimas. El análisis de ANOVA mostró que el pH ($F = 4,56$, $p = 0,03$), la diversidad de Shannon ($F = 5,78$, $p = 0,02$) y el índice AMBI ($F = 4,89$, $p = 0,04$) presentaron diferencias significativas entre los sitios, lo que sugiere variaciones en las condiciones ambientales. Además, la conductividad ($F = 3,78$, $p = 0,05$) también mostró diferencias significativas, indicando posibles variaciones en la concentración de iones y sólidos disueltos, lo que podría estar relacionado con fuentes de contaminación de actividades productivas o aportes naturales de minerales (Tabla 5). Por otro lado, la prueba de Chi-cuadrado ($p = 0,01$) confirmó diferencias significativas en la distribución de los Grupos Funcionales de Alimentación (FFG), donde una mayor proporción de raspadores en Buena Vista (67,74 %) y Tembleque (65,04 %) sugiere una buena calidad del agua, mientras que la mayor proporción de colectores en Costa Rica (46,94 %) podría indicar la presencia de materia orgánica y una calidad ligeramente inferior (Tabla 4). Sin embargo, SIMPER identificó que la Conductividad Eléctrica (30 %) y pH son los parámetros que más contribuyeron a las diferencias entre los sectores (25 %) (Tabla 4), no obstante, el análisis ANOSIM, reveló que las condiciones ambientales e índices ecológicos varían entre islas (Tabla 5). Estos hallazgos coinciden con estudios previos que han utilizado índices biológicos para evaluar la calidad del agua, destacando la importancia de integrar múltiples parámetros para una evaluación más robusta [54, 64].

En términos generales, San Gregorio presentó la mejor calidad del agua, con alta diversidad ($H = 2,03$), alta uniformidad ($J = 0,81$) y una alta proporción de raspadores (64,55 %), lo que refleja un ecosistema saludable y equilibrado (Tabla 4). Por el contrario, Costa Rica mostró una calidad ligeramente inferior, con una mayor proporción de colectores (46,94 %) que podría estar asociada a la presencia de materia orgánica (Tabla 4). Aunque Tembleque y Buena Vista mantienen una buena calidad del agua, la baja uniformidad ($J = 0,45$ y $0,40$, respectivamente) sugiere dominancia de algunas especies, lo que podría indicar perturbaciones menores en el ecosistema (Tabla 4).

4. Conclusiones

Los resultados en el trabajo reafirman la utilidad de los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores para evaluar la calidad del agua en el Archipiélago de Jambelí. La presencia dominante del filo Mollusca evidencia su adaptabilidad a las condiciones del entorno, mientras que los valores de los índices ecológicos expresan una diversidad moderada y signos de contaminación media. El índice trófico FFG evidenció que los raspadores son el grupo predominante en todas las islas, exceptuado Costa Rica, con una mayor

proporción de colectores, que sugiere un aumento en la acumulación de materia orgánica.

El índice de AMBI reflejó una ligera perturbación en el ecosistema, la cual puede ser ocasionada por factores antrópicos que perjudican la calidad del sustrato y sus nutrientes disponibles. Los análisis estadísticos revelaron diferencias cruciales en la diversidad biológica y calidad del agua ($p < 0,05$), resaltando la conductividad eléctrica (30 %) y el pH (25 %) como los principales factores fundamentales en la diferenciación de las islas. Además, la prueba de Chi-cuadrado ($p = 0,01$) reafirmó una distribución dispareja de los grupos funcionales de alimentación, con una mayor proporción de colectores en Costa Rica, reforzando la hipótesis de acumulación de materia orgánica en ese sector.

Financiamiento:

Los autores expresan autofinanciamiento para realizar esta obra de investigación.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de autor/es:

Autor Principal 35 %: Escritura, Gestión, Recursos y Tecnología, Investigación Coautor 1: 35 %: Escritura, Gestión, Recursos y Tecnología, Investigación Coautor 2: 20 % Escritura, Gestión, Investigación Coautor 3: 10 % Escritura, Gestión, Investigación

5. Referencias

1. L. T. M. NGUYEN, H. T. HOANG, E. CHOI, Y P. S. PARK. Distribution of mangroves with different aerial root morphologies at accretion and erosion sites in Ca Mau Province, Vietnam. *Estuar. Coast. Shelf Sci* [online]. 2023, vol. 287, pág. 108324. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108324>.
2. S. PERRI, M. DETTO, A. PORPORATO, Y A. MOLINI. Distribution of mangroves with different aerial root morphologies at accretion and erosion sites in Ca Mau Province, Vietnam. *Estuar. Coast. Shelf Sci* [online]. 2022, pág. 2208.00900. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.00900>.
3. J. B. ADAMS Y A. RAJKARAN. Changes in mangroves at their southernmost. *African distribution limit. Estuar. Coast* [online]. 2021, vol. 248, pág. 107158. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107158>.

4. R. M. CASTILLO VELÁSQUEZ Y A. A. HUAMANTINCO ARAUJO. Variación espacial de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la zona litoral del humedal costero Santa Rosa, Lima, Perú. *Biol. Trop* [online]. 2020, vol. 68, n.º 1. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i1.35233>.
5. S. T. CORTES, Z. A. Z. RETUBADO, L. B. COLITA, J. E. CABALLERO, A. S. LORCA, Y R. C. ROSALES. Characterization of mangrove composition and anthropogenic marine debris accumulation in mangrove ecosystems of Mactan Island, Philippines. [Online]. 2024, vol. 0, n.º 0. Disponible en: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d251014>.
6. M. J. LÓPEZ-RODRÍGUEZ, J. M. LUZÓN-ORTEGA, J. DÍEZ CASTRO, A. TIerno-CINQUE, Y J. M. TIerno DE FIGUEROA. Functional Diversity of Macroinvertebrate Communities in River Nature Reserves of Spain. *Water* [online]. 2024, vol. 16, n.º 22, pág. 3290. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w16223290>.
7. FERNÁNDEZ, RL. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas Inf. Ambient* [online]. 2012, vol. 39, n.º 0, págs. 24-29. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4015812>.
8. MANNY P. EVIOTA, LOUELLA S. DEGAMON, ROSALÍA L. HUGO, ROSELLE E. BERTULFO, MEDIELYN M. ODTJAN, GHELEENE S. BUENAFLORES Y JERRY T. CUADRADO. Diversity of Macroinvertebrates in the Mangrove Forest of Brgy. Nabago, Surigao City, Philippines. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci* [online]. 2023, vol. 1250, n.º 1, pág. 012021. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1250/1/012021>.
9. K.-S. YAO, Y.-J. HE, P. J. VAN DEN BRINK, Y.-N. DAI, Y. YANG, Y. Y.-D. CUI. Multivariate approaches to assess the drivers of benthic macroinvertebrate communities and biotic indices in a highly urbanized fluvial-estuarine system. *Ecol. Indic* [online]. 2022, vol. 139, n.º 0, pág. 108956. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108956>.
10. M. T. RINCÓN-BELLO, F. Y. SOLER-ROMERO, D. S. CALDERÓN-RIVERA, Y R. J. SIERRA-PARADA. Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de agua en el río Chicú, Cundinamarca, Colombia Aquatic macroinvertebrates as water quality bioindicators in Chicú river. *Cundinamarca, Colombia* [online]. 2021, vol. 31, n.º 1, pág. 0. Disponible en: <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2021v31n1/Rincon>.
11. LIXIAO NI, LIN ZHOU, AMAR ALI ADAM HAMAD, CHU XU, WENLU SANG, CUNHAO DU, YUN NIE, HAOYUE LI, JIAHUI SHI AND SHIYIN LI. Community Structure and Water Quality Assessment of Benthic Macroinvertebrates in Hongze Lake. *Bull. Environ. Contam. Toxicol* [online]. 2024, vol. 112, n.º 4, pág. 58. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00128-024-03877-y>.
12. WANG, CONGCONG; ZHOU, XIONGDONG; XU, MENGZHEN; ZHANG, LINYUAN; HOU, XINJUE; WANG, ZHONGSUO; YANG, YAO; LUO, YAQI. Evaluating the ecological health of aquatic habitats in a megacity through a multimetric index model based on macroinvertebrates. *Ecol. Indic* [online]. 2023, vol. 150, n.º 0, pág. 110235. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110235>.
13. C. LIU, X. JIANG, J. SONG, Q. XU, Z. WANG, G. DING, M. LIU, Q. REN. Community structure of benthic molluscs shaped by environmental and ecological variables in the coastal waters of Changle, Fujian Province, China. *Mar. Sci* [online]. 2023, vol. 10, n.º 0, pág. 1045393. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1045393>.
14. D. MCAFEE, M. J. BISHOP, Y. G. A. WILLIAMS. Temperature-buffering by oyster habitat provides temporal stability for rocky shore communities. *Mar. Environ. Res* [online]. 2022, vol. 173, n.º 0, pág. 105536. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105536>.
15. W. ZHEN, K. KWAN, C. WANG, X. WU, G. GUO, Q. DENG, X. HUANG, X. WANG, J. ZHU, P. XU. Community structure of benthic macroinvertebrates in native and introduced mangroves of northern Beibu Gulf, China: Implication for restoring mangrove ecosystems. *Mar. Pollut. Bull* [online]. 2022, vol. 180, n.º 0, pág. 113796. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113796>.
16. A. B. ANDEM, C. O. ODEY, S. B. BESHEL, O. B. OJO, Y. M. C. ETUK. Human-Induced Impact on the Distribution and Diversity of Benthic Macroinvertebrates and Fish Fauna in the Tropical Ikang River, Nigeria. *Croat. J. Fish* [online]. 2023, vol. 81, n.º 1, págs. 1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/cjf-2023-0001>.
17. N. ANNABI-TRABELSI, M. ALI, G. BELMONTE, H. AYADI, Y. W. GUERMAZI.

- Evaluation of the Water Quality and the Eutrophication Risk in Mediterranean Sea Area: A Case Study of the Gulf of Gabès. *Environmental Sciences* [online]. 2024, vol. 15, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://doi.org/10.5772/intechopen.114108>.
18. D. K. LUKHABI, P. K. MENSAH, N. K. ASARE, M. F. A. AKWETEY, Y C. A. FASEYI. Benthic macroinvertebrates as indicators of water quality: A case study of estuarine ecosystems along the coast of Ghana. *Heliyon* [online]. 2024, vol. 10, n.º 7, e28018. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28018>.
19. BORJA, A.; FRANCO, J. Y PÉREZ, V. Un índice biótico marino para establecer la calidad ecológica del bentos de fondos blandos en ambientes costeros y estuarinos europeos. *Marine Pollution Bulletin* [online]. 2024, vol. 40, n.º 0, pág. 12. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00061-8).
20. CUMMINS, K.W. AND KLUG, M.J. Feeding ecology of stream invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics* [online]. 1979, vol. 10, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.10.110179.001051>.
21. F.-A. DIEGO, R.-C. MARTHA, T.-V. VICTOR, G.-G. ANÍBAL, Y J.-S. OSCAR. Análisis multitemporal de la superficie ocupada por la cría. [Online]. 2020, vol. 10, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/830>.
22. J. ZHIMINAICELA CABRERA, J. QUEVEDO GUERRERO, Y A. MOROCHO CASTILLO. Deforestation and vegetation cover changes in the Jambelí Archipelago, using Landsat-8 satellite images. *Manglar* [online]. 2020, vol. 17, n.º 2, págs. 153-157. Disponible en: <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.023>.
23. C. RUMISHA, H. SHUKURU, J. LYIMO, J. MAGANIRA, Y A. NEHEMIA. Benthic macroinvertebrate assemblages in mangroves and open intertidal areas on the Dar es Salaam coast, Tanzania. *Afr. J. Aquat. Sci* [online]. 2015, vol. 40, n.º 2, págs. 143-151. Disponible en: <https://doi.org/10.2989/16085914.2015.1051504>.
24. I. GORDILLO, A. QUEZADA, Y L. BRITO. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Jambelí. [Online]. 2015, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://jambeli.gob.ec/images/junio2018/PDyOT-JAMBELI-2018.pdf>.
25. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Agua y Transición Ecológica del Ecuador. *Mapa interactivo del SUIA. Geomorfología en Ecuador* [online]. 2024, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://suia.ambiente.gob.ec/>.
26. ESRI, ARCMAP. Environmental Systems Research Institute. [Online]. 2024, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://www.esri.com/>.
27. U.S. GEOLOGICAL SURVEY. EarthExplorer. *Geological Survey* [online]. 2024, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
28. Y. HOU, F. KONG, Y. LI, M. XI, Y Z. YU. Key factors of the studies on benthic macroinvertebrate in coastal wetlands: Methods and biodiversity. *Ecohydrol. Hydrobiol* [online]. 2020, vol. 20, n.º 3, págs. 424-436. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.02.004>.
29. GUERRERO. R. KERLY, PONGUILLO G. VALERIA, Y. DUQUE M. RICHARD. DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ASOCIADOS AL ECOSISTEMA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE DE LA PARROQUIA EL MORRO, GUAYAS, ECUADOR. *Ecohydrol. Hydrobiol* [online]. 2020, vol. 20, n.º 3, págs. 424-436. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.02.004>.
30. F. DARRIGRAN, A. VILCHES, T. LEGARRALDE, C. DAMBORENEA. Guía para el estudio de macroinvertebrados. [Online]. 2007, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Darrigran/publication/277100637_Guia_para_el_estudio_de_macroinvertebrados_I-Metodos_de_colecta_y_tecnicas_de_fijacion/links/5568586308aefcb861d3d006/Guia-para-el-estudio-de-macroinvertebrados-I-Metodos-de-colecta-y-tecnicas-de-fijacion.pdf.
31. I. SAMANEZ VALER, V. RIMARACHIN CHING, C. PALMA GONZALES, J. ARANA MAESTRE, H. ORTEGA TORRES, V. CORREA ROLDÁN, M. HIDALGO DEL ÁGUILA. Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. [Online]. 2014, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/M%C3%A9todos-de-Colecta-identificaci%C3%>

- B3n-y-an%C3%A1lisis-de-comunidades-biol%C3%B3gicas.compressed.pdf.
32. G. ROLDÁN PÉREZ. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. [Online]. 1996, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/wbp13.pdf>.
33. P. A. GUARDERAS, R. E. ESPINOSA, E. A. GUEVARA, Y T. SANTANDER. Cartilla de identificación de macroinvertebrados acuáticos. *Guía para el monitoreo participativo* [online]. 1996, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.2555.81447>.
34. JEYMMY MILENA WALTEROS-RODRÍGUEZ. Fichas rápidas para la identificación de macroinvertebrados acuáticos. *Unpublished* [online]. 2018, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/326188106_Fichas_rapidass_para_la_identificacion_de_macroinvertebrados_acuaticos?channel=doi&linkId=5b3cf0ae4585150d23fd6cb8&showFulltext=true.
35. A. PALMA. GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN. [Online]. 2013, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318970118_GUIA_PARA_LA_IDENTIFICACION_DE_MACROINVERTEBRADOS_ACUATICOS_DE_CHILE.
36. WORLD REGISTER OF MARINE SPECIES. World Register of Marine Species. [Online]. 2024, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://www.marinespecies.org/about.php>.
37. LU XIAOHAN. Macrobenthos community structure and water quality assessment in the middle and lower reaches of Futuan River Basin. *Acta Ecol. Sin* [online]. 2021, vol. 41, n.º 0, pág. 8. Disponible en: <https://doi.org/10.5846/stxb202001140116>.
38. E. MORELLI Y A. VERDI. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Rev. Mex. Biodivers* [online]. 2021, vol. 85, n.º 4, págs. 1160-1170. Disponible en: <https://doi.org/10.7550/rmb.45419>.
39. A. E. MAGURRAN. Ecological Diversity and Its Measurement. *Springer Netherlands* [online]. 1988, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: https://www.google.com/books/edition/Measuring_Biological_Diversity/fIjsaxmL_S8C?hl=es-419&gbpv=1&dq=pielou&pg=PA107&printsec=frontcover.
40. J. PUMASUPA, Y. FLORES, S. HUISA, D. CONDORI, M. CENTENO, T. VALDEZ, A. YAJA. Índices de calidad, estructura comunitaria y diversidad funcional: ¿Cuál aproximación permite una mejor caracterización de la calidad ambiental en ríos de la serranía suroccidental? Un análisis con datos de macroinvertebrados bentónicos en ríos de Moquegua. *Cienc. Desarro* [online]. 2021, vol. 20, n.º 1, págs. 41-56. Disponible en: <https://doi.org/10.33326/26176033.2021.1.1107>.
41. L. PLA. Biodiversity: Inference about richness and Shannon. *index*, 8 [online]. 2006, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000800008.
42. UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, E. CÁRDENAS, L. LUGO, J. GONZÁLEZ, A. TENJO. Aplicación del índice biótico de familias de macroinvertebrados para la caracterización del agua del Río Teusacá, afluente del Río Bogotá. *UDCA Actual. Divulg. Científica* [online]. 2018, vol. 21, n.º 2, pág. 0. Disponible en: <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1004>.
43. RAMÍREZ, A. AND GUTIÉRREZ-FONSECA, P.E. Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: a critical analysis and review of existing literature. *Revista de Biología Tropical (RBT)* [online]. 2014, vol. 62, n.º 0, pág. 155. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15785>.
44. ADDO-BEDIAKO, A. Spatial distribution patterns of benthic macroinvertebrate functional feeding groups in two rivers of the Olifants River System, South Africa. *Journal of Freshwater Ecology* [online]. 2021, vol. 36, n.º 1, págs. 97-109. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/02705060.2021.1901789>.
45. R CORE TEAM. R. A language and environment for statistical computing. Versión 4.X.X. Vienna. *Foundation for Statistical Computing* [online]. 2024, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://www.r-project.org/>.
46. GASTEZZI-ARIAS, P., RINCÓN, J. E. Composición de los macroinvertebrados según la calidad del agua en turberas de altura, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* [online]. 2023, vol. 0, n.º 0, e54605. Disponible en: <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71i1.54605>.
47. GONZÁLEZ TOKMAN, D. M.; CORREA SANDOVAL, A. V. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados en arroyos temporales del noreste de México. *International Malacology*

- Reunion, La Paz, Baja California Sur, México* [online]. 2011, vol. 0, n.º 0, pág. 0.
48. JIMÉNEZ, J. U.; ESPINO, K. A. Análisis reproducible de datos de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos para la determinación de la calidad del agua utilizando índices biológicos. *Universidad Tecnológica de Panamá* [online]. 2021, vol. 0, n.º 0, pág. 0.
 49. V. A. J. RUBY. TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE BIÓLOGO MARINO. [Online]. 2015, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2125>.
 50. M. SOTELO, A. LÓPEZ, M. A. TÓRREZ, Y W. J. ARENDT. Moluscos gasterópodos terrestres como indicadores de recuperación de bosque en los paisajes del Sur y Norcentro de Nicaragua. *Encuentro* [online]. 2015, vol. 0, n.º 2, págs. 19-29. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/encuentro.v0i102.2362>.
 51. A. LEÓN MONTERO Y M. SALVADOR BRITO. Distribución espacial de macroinvertebrados bentónicos móviles en el intermareal rocoso de San Lorenzo, Ecuador. *Téc. Rev. Las Agrocienc* [online]. 2019, vol. 0, n.º 21, pág. 17. ISSN 2477-8982. Disponible en: https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i21.1549.
 52. N. MORÁN Y J. SALAS. Nuevos Registros de la Especie en Peligro Crítico Ecuadendron acosta-solisianum Neill, 1998 (Fabales: Fabaceae) en el Cantón El Triunfo (Guayas-Ecuador). *Investigatio* [online]. 1998, vol. 11, n.º 0, págs. 89-98. Disponible en: <https://doi.org/10.31095/investigatio.2018.11.7>.
 53. L. LÁREZ, J. MENDOZA, NÉSTOR PEREIRA, M. NAVA, Y L. CABRERA. Macroinvertebrados bentónicos intermareales de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, Venezuela). [Online]. 2021, vol. 0, n.º 0, pág. 0. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6812282>.
 54. H. CANALES CUADROS, C. CABRERA CARRANZA, Y J. ARANA MAESTRE. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, Callao). *Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal. Cienc. Geográficas* [online]. 2022, vol. 25, n.º 49, págs. 295-301. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.23013>.
 55. R. FIGUEROA, C. VALDOVINOS, E. ARAYA, Y O. PARRA. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat* [online]. 2003, vol. 76, n.º 2. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2003000200012>.
 56. G. ROLDÁN PÉREZ. LOS MACRO INVERTEBRADOS Y SU VALOR COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exactas Físicas Nat* [online]. 2024, vol. 23, n.º 88, págs. 375-387. Disponible en: [https://doi.org/10.18257/raccefyn.23\(88\).1999.2870](https://doi.org/10.18257/raccefyn.23(88).1999.2870).
 57. C. PAREDES, J. IANNAONE, Y L. ALVARIÑO. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad de agua en dos ríos de Cajamarca y Amazonas. *Perú* [online]. 2004, vol. 44, n.º 0, pág. 0. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/263084090-MACROINVERTEBRADOS_BENTONICOS_COMO_INDICADORES_BIOLOGICOS_DE_LA_CALIDAD_DE_AGUA_EN_DOS_RIOS_DE_CAJAMARCA_Y_AMAZONAS_PERU/citations#fullTextFileContent.
 58. G. PASCUAL, J. IANNAONE, Y L. ALVARIÑO. Macroinvertebrados bentónicos y ensayos toxicológicos para evaluar la calidad del agua y del sedimento del río Rímac, Lima, Perú. *Rev. Investig. Vet. Perú* [online]. 2020, vol. 30, n.º 4, págs. 1421-1442. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17164>.
 59. J. ALOMÍA, J. IANNAONE, L. ALVARIÑO, Y K. VENTURA. MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO HUALLAGA, PERÚ. *The Biologist* [online]. 2017, vol. 1, n.º 2. Disponible en: <https://doi.org/10.24039/rtb2017151144>.
 60. CÁRDENAS, M. Y MAIR, J. Caracterización de macroinvertebrados bentónicos de dos ramales estuarinos afectados por la actividad industrial, Estero Salado-Ecuador. *Intropica* [online]. 2014, vol. 9, pág. 118. Disponible en: <https://doi.org/10.21676/23897864.1439>.
 61. CÁRDENAS, M. Y MAIR, J. EL YAAGOUBI, S., EL ALAMI, M., HARRAK, R., AZMIZEM, A., IKSSI, M. and AOULAD MANSOUR, M.R. *Assessment of functional feeding groups (FFG) structure of aquatic insects in North-western Rif - Morocco* [online]. 2023, vol. 11, e104218. Disponible en: <https://doi.org/10.3897/BDJ.11.e104218>.
 62. UWADIAE, R.E. Macroinvertebrates functional feeding groups as indices of biological assessment in a tropical aquatic ecosystem:

- implications for ecosystem functions. [Online]. [s.f.]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334745987_Macroinvertebrates_functional_feeding_groups_as_indices_of_biological_assessment_in_a_tropical_aquatic_ecosystem_implications_for_ecosystem_functions.
63. I. CAMARA, M. KRA, N. KOUADIO, M. KONAN, E. EDIA, L. DOUMBIA, A. OUATTARA, D. Composition, Structure and Functional Feeding of Aquatic Entomofauna in Kodjouboué Lake: Water Quality Assessment. *Open Journal of Ecology* [online]. 2020, vol. 10, n.º 4, págs. 160-176. Disponible en: <https://doi.org/10.4236/oje.2020.104011>.
 64. CARRASCO BADAJOZ, C., RAYME CHALCO, C., ARANA MAESTRE, J., ÁLVAREZ TOLENTINO, D., AYALA SULCA, Y. AND SANCHEZ PEÑA, M. Aquatic macroinvertebrate trophic guilds, functional feeding groups, and water quality of an Andean urban river. *Frontiers in Environmental Science* [online]. 2022, vol. 10, pág. 1003207. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1003207>.



Artículo de **libre acceso** bajo los términos de una **Licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional**. Se permite que otros remezclem, adapten y construyan a partir de su obra sin fines comerciales, siempre y cuando se otorgue la oportuna autoría y además licencien sus nuevas creaciones bajo los mismos términos.