



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA**

**“ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS COMUNIDADES DE
MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN EL RÍO ATRAVEZADO. COMUNA
LIBERTADOR BOLÍVAR - PROVINCIA DE SANTA ELENA.”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previa a la obtención del título de:

BIÓLOGA

AUTOR:

De La Cruz Rodríguez Kerly Fabiola

TUTOR ACADÉMICO:

Ph.D. Erika Salavarría Palma.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA**

**“ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS COMUNIDADES DE
MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN EL RIO ATRAVEZADO. COMUNA
LIBERTADOR BOLÍVAR - PROVINCIA DE SANTA ELENA.”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previa a la obtención del título de:

BIÓLOGA

AUTOR:

De La Cruz Rodríguez Kerly Fabiola

TUTOR ACADÉMICO:

Ph.D. Erika Salavarría Palma.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024

DECLARACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de Docente Tutor del Trabajo de Integración Curricular, "**Análisis temporal de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el río Atravezado.**

Comuna Libertador Bolívar. Provincia de Santa Elena.", elaborado por De La Cruz Rodríguez Kerly Fabiola, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias de Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Bióloga. Me permito declarar que luego de haber dirigido su desarrollo y estructura final del trabajo, se cumple y se ajusta a los estándares académicos. Razón por la cual, apruebo en todas sus partes encontrándose apto para la evaluación docente especialista.

Atentamente



Ph.D. Erika Salavarría Palma.
DOCENTE TUTOR
C.I. 0912260387

DECLARACIÓN DEL DOCENTE DE ÁREA

En mi calidad de Docente Especialista, del Trabajo de Integración Curricular, "Análisis temporal de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el río Atravezado. Comuna Libertador Bolívar. Provincia de Santa Elena.", elaborado por De La Cruz Rodríguez Kerly Fabiola, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias de Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Bióloga. Me permito declarar que luego de haber evaluado el desarrollo y estructura final del trabajo, se cumple y se ajusta a los estándares académicos. Razón por la cual, declaro que se encuentra apto para su sustentación.

Atentamente



Blgo. Xavier Piguave Preciado, M.Sc.

DOCENTE DE ÁREA

C.I. 0913435046

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a:

A Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza a lo largo de este camino académico, pues es el quien me mantiene llena de vida y con salud.

A mis padres, Luis De La Cruz Del Pezo y Petita Rodríguez Alejandro, en especial a mi querida mamita, por todos sus años de amor, paciencia y apoyo incondicional, supo darme valores, principios, aconsejarme y guiarme por el camino del bien, su sacrificio ha sido fundamental en mi desarrollo personal y académico. Gracias por su confianza en mí y por estar a mi lado en cada paso del camino.

A mi pareja Héctor Freire Villacis, desde el momento que compartí contigo mis sueños y metas académicas, has estado a mi lado, alentándome y brindándome el apoyo emocional que necesitaba en los momentos más desafiantes. Tu presencia constante ha sido mi mayor fortaleza y quiero que sepas cuanto valoro tu apoyo inquebrantable. Gracias porque sé que siempre podré contar contigo en las buenas y en las malas, este logro también es tuyo.

A mis hermanos y demás familiares quienes aportaron un granito de arena para que pudiera llegar a este momento de mi vida.

Kerly Fabiola De La Cruz Rodríguez

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un profundo agradecimiento a las autoridades de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), a las autoridades, docentes de la Facultad de Ciencias del Mar, por su valiosa contribución en la promoción y apoyo del conocimiento técnico y científico para la formación profesional de los jóvenes de la provincia de Santa Elena. Su labor incansable ha sido de gran importancia para brindar oportunidades educativas de calidad y facilitar el desarrollo académico de la comunidad estudiantil.

A la Ph.D. Erika Salavarría Palma, le agradezco profundamente por ser mi tutora y orientarme, por brindarme su paciencia, su tiempo, su confianza y conocimientos para el desarrollo de este trabajo final.

Kerly Fabiola De La Cruz Rodríguez

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por KERLY FABIOLA DE LA CRUZ RODRÍGUEZ como requisito parcial para la obtención del grado de Biólogo/a de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Trabajo de Integración Curricular Aprobado el: 16 de julio de 2024.



Ing. Jimmy Vilón Moreno, M.Sc.
DIRECTOR DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Blgo. Xavier Piguave Preciado, M.Sc.
PROFESOR DE ÁREA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Blga. Erika Salavarría Palma, Ph.D.
DOCENTE TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Blgo. Richard Duque Marín, Mgt.
DOCENTE GUÍA DE LA UIC II
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Lic. Pascual Roca Silvestre, Mgtr
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo, **KERLY FABIOLA DE LA CRUZ RODRÍGUEZ**, declaro bajo juramento que la responsabilidad por las ideas, contenido y análisis de los resultados expuestos en este trabajo de Integración Curricular pertenecen exclusivamente a los autores, y el patrimonio intelectual de los mismos, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE).

Kerly de la Cruz

Kerly Fabiola De La Cruz Rodríguez

C.I. 2450641424

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
2.	JUSTIFICACIÓN	11
3.	OBJETIVOS	13
3.1.	OBJETIVO GENERAL	13
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4.	HIPÓTESIS	14
6.	MARCO TEÓRICO	15
6.1.	Definición de río	15
6.2.	Importancia de los ríos	15
6.3.	Distribución de ríos en Ecuador	16
6.4.	Importancia del río Atravezado en el ecosistema acuático	17
6.5.	Los factores ambientales que influyen en las comunidades de macroinvertebrados	17
6.6.	Uso de técnicas y métodos biológicos para calidad de agua	19
6.7.	Estado Ecológico	21
6.8.	Bioindicadores de calidad de agua	22
6.9.	Características generales de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores	23
6.10.	Variable temporal y espacial	25
6.10.1.	Variable temporal o estacional	25
6.10.2.	Variable espacial	26
6.11.	Diversidad de macroinvertebrados en la Provincia de Santa Elena....	27

6.12.	Biología y Ecología de los macroinvertebrados acuáticos de aguadulce	28
6.13.	Características ecológicas de los principales grupos de macroinvertebrados acuáticos	30
6.13.1.	Ephemeroptera.....	30
6.13.2.	Plecoptera	32
6.13.3.	Trichoptera	33
6.13.4.	Coleoptera	34
6.13.5.	Diptera	34
6.13.6.	Odonata	35
6.13.7.	Megaloptera.....	37
6.13.8.	Lepidoptera.....	37
6.13.9.	Nematomorpha	39
6.13.10.	Tricladida.....	40
6.13.11.	Anelida	41
6.13.12.	Mesogastropoda.....	41
6.13.13.	Coleoptera	42
6.13.14.	Decapoda.....	43
6.14.	Parámetros físicos-químico de la calidad de agua	44
6.14.1.	pH	45
6.14.2.	Temperatura.....	46
6.14.3.	Oxígeno Disuelto (OD)	46
6.14.4.	Salinidad.....	47
6.15.	Índices biológicos utilizados en el estudio de macroinvertebrados....	48
6.15.1.	Índice BMWP o Grupo de Trabajo para el Monitoreo Biológico.	49

6.15.2.	Índice de Shannon-Weaver	50
6.15.3.	Coefficiente de correlación de Pearson	51
7.	MARCO METODOLÓGICO	53
7.1.	ÁREA DE ESTUDIO	53
7.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	54
7.2.1.	Investigación observacional experimental	54
7.3.	DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	54
7.4.	FASE DE CAMPO	55
7.4.1.	Investigación de campo	55
7.4.2.	Estaciones De Muestreo	55
7.4.3.	Determinación de la cobertura de agua y partes de un río	56
7.4.4.	Método de Muestreo	56
7.4.5.	Variables Ambientales	57
7.4.6.	Recolecta de muestras	57
7.5.	FASE DE LABORATORIO	59
7.5.1.	Registro de datos	59
7.6.	FASE DE ANÁLISIS	59
7.6.1.	Cálculos de índices biológicos	59
7.6.2.	Mapa de geofrecenciación	60
7.6.3.	Clasificación de macroorganismos según BMWP	60
7.6.4.	Shannon – Weaver	61
7.6.5.	Correlación de Pearson	61
8.	RESULTADOS	62
8.1.	IDENTIFICACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS	62

8.1.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS ORGANISMOS TEMPORADA HÚMEDA VS TEMPORADA SECA.....	64
8.2. CLASIFICACIÓN LOS ORGANISMOS MEDIANTE EL ÍNDICE DE MONITOREO BIOLÓGICO (BMWP).....	65
8.3. Representación la calidad ecológica mediante herramienta de Sistema de Posicionamiento Geográfico.....	67
8.4. ÍNDICES ECOLÓGICOS PARA LOS MACROINVERTEBRADOS ENCONTRADOS EN LA TEMPORADA HÚMEDA Y SECA.....	70
8.5. ÍNDICE DE VARIANZA	74
8.6. CORRELACIÓN DE PEARSON DE PARÁMETROS AMBIENTALES 75	
8.7. Correlación entre los órdenes encontrados y los parámetros fisicoquímicos utilizados	77
9. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
9.1. DISCUSIÓN.....	84
9.2. CONCLUSIONES.....	87
9.3. RECOMENDACIONES	91
10. BIBLIOGRAFÍA	93
11. ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sitios de muestreos.....	55
Tabla 2. Claves taxonómicas utilizados en la identificación	58
Tabla 3. Total de organismos identificados por Orden, Familia y genero.....	63
Tabla 4. Familias de macroinvertebrados con su respectivo indicador de calidad de agua.	66
Tabla 5. Calidad biológica del agua – Índice BMWP.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Principales bioindicadores	21
Figura 2 Especie del orden Ephemeroptera	31
Figura 3 Especie del orden Plecoptera	32
Figura 4 Especie del orden Trichoptera	33
Figura 5 Especie del orden Coleoptera	34
Figura 6 Especies del orden Diptera	35
Figura 7 Especie del orden Odonata	36
Figura 8 Especie del orden Megaloptera.....	37
Figura 9 Especie del orden Lepidoptera.....	38
Figura 10 Especie del orden Nematomorpha	39
Figura 11 Especie del orden Tricladida	40
Figura 12 Especie del orden Anelida	41
Figura 13 Especie del orden Mesogastropoda	42
Figura 14 Especie del orden Coleoptera	43
Figura 15 Especie del orden Decapoda.....	44
Figura 16 Zona de estudio, Comuna Libertador Bolívar	53
Figura 17 Representación geográfica de las comunidades de macroinvertebrados y el estado ecológico del río.....	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje poblacional de macroinvertebrados encontrados en el río Atravezado.	63
Gráfico 2. Distribución según la temporada húmeda y seca	64
Gráfico 3. Tendencia del índice de Shannon para la temporada húmeda, por cada familia encontrada	70
Gráfico 4. Tendencia del índice de Shannon para la temporada seca, por cada familia encontrada	71
Gráfico 5. Tendencia del índice de Shannon para la temporada húmeda, por cada estación de muestreo	72
Gráfico 6. Tendencia del índice de Shannon para la temporada seca, por cada estación de muestreo	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1. Fotografías con la taxonomía de los organismos encontrados.....	106
Anexos 2. Toma de parámetros ambientales in situ.....	112
Anexos 3. Sitios de muestreos. A) Zona alta, B) Zona media, C) Zona baja.	112

ABREVIATURAS

ASPT: Puntaje promedio por taxón

BMWP: Grupo de trabajo de vigilancia Biológica.

DMA: Directiva Marco del Agua.

EPT: Ephemeroptera, Plecóptera, Trichóptera.

GLOSARIO

Bentos.- Grupo de seres vivos que habitan en el lecho de cuerpos de agua.

Bioindicador. - Organismos individuales o grupos de organismos pueden reaccionar a la contaminación ambiental mediante cambios en su aspecto físico o mediante la acumulación de sustancias contaminantes.

Brácteas. - Hoja que surge del pedúnculo de las flores de ciertas plantas, por lo general, presenta diferencias en cuanto a su forma, textura y color, en comparación con las hojas normales de la planta.

Efemerópteros. - Conocidos comúnmente como efimeras, efémeras o cachipollas, grupo de insectos que también incluye a las libélulas y los caballitos del diablo.

Índice ASPT. - Indicador significativo para la evaluación de la calidad del agua, especialmente en casos de alta diversidad.

Índice BMWP. – Índice cualitativo basado en la presencia o ausencia de diversas familias de macroinvertebrados acuáticos, a los cuales se les asigna un valor según su tolerancia a la contaminación orgánica.

Índice EPT. - Hace referencia a la cantidad de individuos de esos órdenes que se encuentran en la muestra.

Indicador Hidromorfológico. - Indicadores que evalúan tanto las diferencias entre las características hidrológicas y geomorfológicas actuales de los ríos como las características que los ríos tendrían en ausencia de alteraciones humanas.

Índice Saprobico. - Medida utilizada en ecología acuática para evaluar la calidad del agua basándose en la presencia y abundancia de macroinvertebrados acuáticos.

Necton. - Colección de organismos acuáticos que tienen la capacidad de moverse, al contrario de los organismos planctónicos, como los peces.

Quironómidos. - Son denominados como mosquitos no picadores.

Variable Temporal. – Aspecto que se mide o registra a lo largo de un período específico.

“Análisis temporal de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el río Atravezado. Comuna Libertador Bolívar. Provincia de Santa Elena.”

Autor: Kerly Fabiola De La Cruz Rodríguez

Tutor: Ph.D. Erika A. Salavarría Palma.

RESUMEN

El estado ecológico de los ríos es de suma importancia por los diversos servicios ecosistémicos que ofrecen; una de las herramientas para su determinación es a través de macroinvertebrados acuáticos. En el presente trabajo de titulación se seleccionó puntos de muestreo a lo largo del río Atravezado, se recolectó muestras de macroinvertebrados utilizando técnicas en campo, se identificó y clasificó las especies, el objetivo fue analizar desde la variable temporal las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, a través de indicadores biológicos, para la determinación del estado ecológico del río Atravezado. Comuna Libertador Bolívar. Provincia de Santa Elena. Se identificó tres estaciones de muestreo a lo largo del río, cada una con tres réplicas, en el monitoreo realizado entre los meses marzo, abril y mayo, utilizando la red tipo D y una atarraya se recolectó un total de 3 953 individuos, se registró la presencia de solo dos órdenes, cuatro familias, cinco géneros, para la temporada húmeda se contabilizó 2 687 individuos y para la temporada seca 1 266, la calidad de agua y estado ecológico del río se realizó mediante el índice de BMWP donde indicó que es de calidad mala y el rango entre puntos de muestreo fluctuó entre niveles de agua muy contaminada y altamente contaminadas, en los puntos muestreados la familia Ocypodidae registró tolerancia a un rango amplio de condiciones ambientales, la familia Portunidae en cambio mostró que tiene preferencias específicas en términos de salinidad y pH y las familias Penaeidae y Balanidae toleran tanto condiciones altas de salinidad y pH como condiciones bajas ya que se encontró en ambos puntos, concluyendo que el agua del río Atravezado está muy contaminada, se recomendó realizar análisis continuos de las variables estudiadas e investigaciones que determinen las causas de la contaminación en el sitio.

Palabras claves: Índice BMWP, Índices comunitarios, Parámetros abióticos, Macroinvertebrados, Río.

“Temporal analysis of aquatic macroinvertebrate communities in the Atravezado river. Libertador Bolívar commune. Province of Santa Elena.

Autor: Kerly Fabiola De La Cruz Rodríguez

Tutor: Ph.D. Erika A. Salavarría Palma.

ABSTRACT

The ecological status of rivers is of utmost importance for the various ecosystem services they offer; one of the tools for determining this status is through aquatic macroinvertebrates. In the present work, sampling points were selected along the Atravezado river, macroinvertebrate samples were collected using field techniques, species were identified and classified, the objective was to analyze the aquatic macroinvertebrate communities from the temporal variable, through biological indicators, for the determination of the ecological status of the Atravezado river. Libertador Bolivar Commune. Province of Santa Elena. Three sampling stations were identified along the river, each with three replicates, in the monitoring carried out between the months of March, April and May, using the D type net and a net netting, a total of 3,953 individuals were collected, the presence of only two orders, four families, five genera was registered, for the wet season 2,687 individuals were counted and for the dry season 1,266 individuals were counted, The water quality and ecological status of the river was determined using the BMWP index, which indicated poor quality and the range between sampling points fluctuated between highly polluted and highly polluted water levels; at the points sampled, the Ocypodidae family showed tolerance to a wide range of environmental conditions, while the Portunidae family showed that it has specific preferences in terms of salinity and pH, and the Penaeidae and Balanidae families tolerate both high salinity and pH conditions and low conditions, since they were found at both points.

Key words: BMWP index, Community indexes, Abiotic parameters, Macroinvertebrates, River, River.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de agua dulce, tanto lénticos como lóticos, son altamente sensibles a las alteraciones provocadas por las actividades humanas. Con el tiempo, los humanos han descartado de manera imprudente todo tipo de desechos en estos sistemas, lo que ha provocado la desaparición o reducción de diversas especies que son parte integral de las comunidades bióticas relacionadas en muchos aspectos. En estas comunidades se encuentran los macroinvertebrados acuáticos, los cuales representan una diversidad de especies que interactúan biológicamente y cuya presencia es crucial para el balance y la viabilidad de los ecosistemas acuáticos (Lozano, 2005).

Los efectos de las modificaciones ambientales han despertado un interés por comprender y proteger los ríos. Desarrollar criterios biológicos para evaluar y gestionar los efectos de las intervenciones en estos ecosistemas, mientras se intenta lograr una comprensión humana y consciente de la importancia de protegerlos (Roldan, 2003). El estado ecológico hace referencia a como se encuentra la calidad y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. Su valoración se enfoca en examinar como están los componentes biológicos que forman parte de estos sistemas. (Munné & Prat, 2009), dado que la vida acuática presente en el agua ofrece una visión integradora de los impactos ocasionados por las actividades humanas (Karr, 2006).

El estado ecológico de un río es una manera de evaluar la calidad y el funcionamiento del sistema acuático. Se considera que un estado ecológico óptimo es aquel en el que las comunidades biológicas son similares o muy cercanas a las que se encontrarían en un entorno natural sin alteraciones. Esto está relacionado con el caudal ecológico, la cantidad de agua necesaria para mantener un equilibrio adecuado en el ecosistema. En estas circunstancias tanto en condiciones físicas y químicas del agua como las características del entorno acuático deben permitir el desarrollo adecuado de las comunidades biológicas (Martínez, Correcher, Piñón, Martínez, & Pujante, 2004). Contar con información sobre el estado ecológico de un río es crucial en el proceso de gestión, ya que proporciona una visión clara de la calidad del agua y del entorno acuático al relacionar diversas variables (Volonté, Campo, & Gil, 2015).

En los ecosistemas fluviales, se utilizan varios tipos de indicadores biológicos para evaluar su estado. Estos indicadores incluyen microorganismos, plantas acuáticas y peces. Sin embargo, uno de los grupos más utilizados y reconocidos como indicadores por la Directiva Marco del Agua (DMA) del parlamento europeo y del consejo de la Unión Europea, son los macroinvertebrados acuáticos (Fernández, 2015). Los macroinvertebrados acuáticos se utilizan como indicadores ecológicos por diversas razones, según (Matus, Alemán, & Flores, 2020):

- Poseen una gran diversidad y son relativamente sencillos de recolectar en muestras.

- Los distintos grupos de macroinvertebrados tienen necesidades ecológicas específicas, lo que los convierte en indicadores sensibles a las condiciones ambientales.
- Los métodos de recolección y los índices utilizados para evaluar los macroinvertebrados acuáticos están bien establecidos y estandarizados.

Estos organismos presentan otras características esenciales como indicadores biológicos. Por un lado, su distribución amplia y diversidad taxonómica los convierte en representantes significativos de la salud y biodiversidad del ecosistema acuático. Además, son sensibles a los cambios en las variables física, químicas, hidromorfológicas e hidrológicas que ocurren en el entorno acuático, como la velocidad del agua y el tipo de sustrato. También son fáciles de recolectar y exhiben una amplia gama de respuestas frente a las perturbaciones. Por otro lado, muchos macroinvertebrados acuáticos tienen una naturaleza sedentaria y ciclos de vidas prolongados en el medio acuático, que pueden extenderse durante meses o años (Gómez, Domínguez, Rodrigues, & Fernández, 2020).

Los factores ecológicos permiten establecer una relación entre los macroinvertebrados acuáticos y las condiciones ambientales que han prevalecido durante un largo período. A diferencia de los análisis fisicoquímicos, que revelan condiciones puntuales en el momento del muestreo, los macroinvertebrados

acuáticos pueden proporcionar información sobre las condiciones ambientales a largo plazo en los ecosistemas fluviales (Arango, 2005).

El uso de indicadores biológicos, también conocidos como bioindicadores, se fundamenta en el análisis de como la comunidad de organismos que habitan en los ecosistemas fluviales responde ante una perturbación específica. Estos indicadores se valoran y usan más por su capacidad para integrar los cambios producidos en el ecosistema durante la vida de los organismos. A diferencia de los indicadores de calidad fisicoquímica, que solo proporcionan información momentánea sobre las condiciones del agua, los indicadores biológicos ofrecen una visión más amplia. Además de reflejar la calidad del agua, los indicadores biológicos también pueden detectar perturbaciones que van más allá de la contaminación, como alteraciones físicas en el curso del río y en sus riberas. Esto significa que pueden informar sobre aspectos del ecosistema fluvial, brindando una visión más completa de su estado y salud (González, Vallarino, Pérez, & Low, 2014).

En la actualidad, la bioindicación se ha convertido en una herramienta ampliamente empleada debido al notable deterioro experimentado por los cuerpos de agua y la consiguiente demanda de vigilancia, control y restauración ambiental. La contaminación del agua representa una preocupación para la salud de todas las formas de vida que habitan en nuestro planeta (Carrera & Fierro, 2001).

La mayoría de las investigaciones sobre el estado ecológico de río se fundamenta en el análisis de las propiedades físicas y químicas del agua (Tercedor, 1966). Esto proporciona una evaluación rápida pero limitada del estado de un cuerpo de agua, pero al combinar indicadores biológicos con parámetros fisicoquímicos para evaluar el estado de un recurso fluvial, se obtiene una visión más completa de los efectos perturbadores en los cursos de agua. El análisis de variables físicas y químicas, junto con el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos, son enfoques complementarios en los procesos de evaluación de las comunidades ambientales (Valverde, Caicedo, & Ramírez, 2009).

Reece y Richardson (2003), mencionan que el uso de macroinvertebrados como indicadores biológicos, son relativamente sedentarios, lo que los hace representativos del área donde se recolectan. Sus ciclos de vida son más cortos en comparación con los peces, lo que les permite reflejar rápidamente los cambios en el medio ambiente a través de alteraciones en la estructura de sus poblaciones y comunidades. Además, su hábitat se encuentra en los sedimentos, donde desempeñan un papel importante en la degradación de la materia orgánica y en los ciclos de nutrientes. También son una fuente de alimento para muchos peces. Cuando ocurre una perturbación en su entorno, los macroinvertebrados necesitan un tiempo mínimo para readaptarse, lo que significa que estos cambios pueden detectarse posteriormente a su ocurrencia. Por otra parte, la contaminación causada por actividades humanas es otro factor que puede influir en la distribución y crecimiento de la comunidad de macroinvertebrados, por lo que es importante

considerar estos factores que pueden alterar una comunidad (Giacometti & Bersosa, 2006).

En las investigaciones y estudios que involucran macroinvertebrados acuáticos, se utilizan numerosos índices. Uno de los más frecuentemente empleados es el BMWP (Biological Monitoring Working Party, en español “Grupo de Trabajo de Seguimiento Biológico”), el cual fue propuesto por Hellawel en 1970 en Inglaterra. Posteriormente, fue modificado para su aplicación en la Península Ibérica por Alba Tercedor, y adaptado para su uso en Colombia por Roldán Pérez, siendo identificado como BMWP/Col (López, Huertas, Jaramillo, Calderón, & Díaz, 2019).

El índice biótico Biological Monitoring Working Party BMWP es un método de enfoque unimétrico simple y rápido para evaluar el estado ecológico de un cuerpo de agua (Armitage et al., 1983). Este índice se basa en llegar hasta nivel de familia y los datos son cualitativos lo que hace lo hace fácil de aplicar.

Aunque los ríos tropicales experimentan condiciones variables, las comunidades de macroinvertebrados tienden a mantenerse estables frente a cambios ambientales sutiles. Sin embargo, cuando se producen variaciones extremas, se observan modificaciones en estas comunidades, lo cual indica el nivel de impacto en el recurso hídrico (Roldan, 2003).

Cando se habla de la variable temporal en relación con un río, se refiere a los aspectos y fenómenos que ocurren en el a lo largo del tiempo. Esto implica estudiar y analizar los cambios, variaciones y patrones que se presentan en diferentes momentos o periodos específicos, como días, semanas, meses o años. La dimensión temporal es fundamental para comprender la dinámica de un río, ya que permite examinar las variaciones estacionales, las fluctuaciones en los caudales, las condiciones climáticas, la sucesión en el funcionamiento y la salud del ecosistema acuático. Al considerar la variable temporal, los investigadores pueden evaluar como los cambios estacionales, las perturbaciones o los impactos humanos afectan la calidad del agua, la biodiversidad, la productividad biológica y otros aspectos del río (Hernández, 2018).

Dado el papel fundamental que desempeñan los macroinvertebrados en los sistemas dulceacuícolas, este estudio tiene como objetivo analizar desde la variable temporal o estacional las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el Río Atravezado, comuna Libertador Bolívar, Provincia de Santa Elena.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La comuna Libertador Bolívar, situada al norte de la provincia de Santa Elena es una comunidad que se destaca por un creciente desarrollo turístico (Piguave, 2017). Gracias a su ubicación geográfica privilegiada cerca de la costa y a la Cordillera Chongón Colonche, posee una diversidad de flora y fauna así mismo posee una variedad de microclimas que favorecen la conservación de estos recursos naturales. Es necesario aprovechar de manera efectiva estos recursos en beneficio de la comunidad.

El río enfrenta diversos desafíos ambientales, siendo la contaminación del agua uno de los más relevantes. Esta problemática representa una amenaza directa para las comunidades de macroinvertebrados acuáticos presentes en dicho río, los cuales actúan como indicadores clave de la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos. No obstante, el análisis temporal de estas comunidades se ve obstaculizado por dos factores principales: la insuficiencia de financiamiento adecuado y la escasez de información precisa. Estos elementos están estrechamente relacionados y limita la comprensión y capacidad de respuesta frente a la problemática de la contaminación del río.

La falta de financiamiento impide llevar a cabo investigaciones periódicas y exhaustivas que permitan evaluar adecuadamente el estado de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos a lo largo del tiempo. La carencia de recursos

financieros necesarios impide realizar muestreos frecuentes, análisis de muestras y estudios de seguimiento, dificultando así la obtención de datos actualizados y confiables sobre la biodiversidad y el estado de salud del ecosistema acuático.

Por otro lado, la deficiente información adecuada sobre la situación del río Atravezado y sus comunidades de macroinvertebrados acuáticos limita la toma de decisiones informadas y la implementación de estrategias efectivas para la conservación y mitigación de la contaminación.

A pesar de su potencial, las autoridades locales no han tomado suficientes iniciativas para promover investigaciones sobre el estado del medio dulce acuícola en la región. Esto es preocupante, ya que muchos de los organismos presentes en estos ecosistemas son fundamentales para la cadena alimenticia y existe una interrelación significativa entre ellos.

La presencia de población alrededor de estos sistemas acuáticos implica factores que pueden alterar el ecosistema como por ejemplo la contaminación en las orillas de este ecosistema lacustre. Las sustancias derramadas o vertidas en las riberas o en los ríos, así como los diferentes usos que se les da, como, por ejemplo, el lavado de ropa y los desperdicios de las personas, pueden tener un impacto antrópico significativo en estos ecosistemas (Lazo & Mejía, 2023). La presencia de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el río Atravezado-Libertador

Bolívar, pueden verse afectados por diferentes actividades que ocurren en el ecosistema, viéndose en la necesidad de trasladarse o adaptarse a sitios con menos afectación dado esto, los organismos son importantes para determinar la calidad del estado ecológico del río.

2. JUSTIFICACIÓN

Los ríos son fundamentales en nuestro planeta, ya que son indispensables para el correcto funcionamiento de los ecosistemas y otros sistemas naturales interconectados en una misma cuenca hidrográfica. La calidad del agua es parte fundamental para la supervivencia de todas las formas de vida; por lo tanto, la calidad de agua es esencial evaluarla de manera constante, sabiendo que el agua del río Atravezado, es usado en diversas actividades humanas como la agricultura, la ganadería e incluso el turismo. Estas actividades pueden alterar la calidad del agua, por lo que hay que evaluarla regularmente para garantizar su preservación y mantener un ambiente saludable para las especies dependientes de ella (Satos, 2017).

Por tal motivo el estudio de las comunidades de macroinvertebrados es un aspecto muy importante para conocer el impacto que puede tener, ya que en otras investigaciones realizadas a nivel mundial y en varios puntos del Ecuador, se ha comprobado que estos organismos toleran cambios bruscos en el ambiente o ciertas respuestas, lo que los hacen excelentes bioindicadores biológicos de la calidad de agua. De acuerdo con Hellawell et al. (1986), en su estudio “*Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management. Elsevier, New York, NY*” se menciona que los macroinvertebrados acuáticos se caracterizan por su tamaño considerable, lo cual facilita su observación a simple vista. Además, su recolección no es complicada ni requiere el uso de equipos costosos. Estos organismos tienen

ciclos de vida lo suficientemente prolongados como para permanecer en los cuerpos de agua durante un periodo considerable, lo que los convierte en indicadores sensibles para detectar posibles cambios. Por otra parte, su diversidad proporciona una amplia gama de tolerancias a diferentes parámetros de contaminación (Bravo & Restrepo, 2021)

Considerando que para este estudio no se utiliza materiales o reactivos de alto valor económico, se emplea una metodología enfrascada en el análisis de material biológico, haciéndola económicamente tentativa y factible para realizar de modo eficiente, además se puede aplicar la metodología de forma fácil y simple según los criterios de varios autores.

Los resultados obtenidos sirven como base para futuras investigaciones, generando un impacto científico y ecológico significativo en la conservación de los recursos naturales en la comunidad. Es importante destacar que esta área no ha sido previamente investigada de manera exhaustiva, sino más bien se ha realizado estudios para el desarrollo de obra civil como alcantarillado, entre otros, lo que resalta aún más la relevancia de este estudio.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar desde la variable temporal las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, a través de indicadores biológicos, para la determinación del estado ecológico del río Atravezado. Comuna Libertador Bolívar. Provincia de Santa Elena.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los macroinvertebrados acuáticos, a través de claves taxonómicas.
- Clasificar los organismos acuáticos, mediante el índice de monitoreo biológico, y su estado ecológico en el área de estudio.
- Representar la calidad ecológica del río “Atravezado”, con herramientas de Posicionamiento Geográfico.

4. HIPÓTESIS

Ho: La composición y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el río Atravezado, reflejan la calidad del agua y la salud ecológica del ecosistema fluvial.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Definición de río

Márquez (2021), define que un río es un flujo natural de agua y sedimentos, que interactúan de manera dinámica como continua con los componentes bióticos, abióticos y terrestres, cuyos procesos y funciones se desarrollan dentro de un marco espacial y temporal muy ancho. Así, el río se convierte en un flujo que conecta y sostiene los ecosistemas.

La distribución del caudal de agua en un río, llamado descarga, se produce tanto espacial como temporalmente y define el régimen hidrológico del abastecimiento. Un río tiene un espacio fluvial que debe preservarse para mantener su funcionalidad adecuada. Hernández (2018), manifiesta que esto implica garantizar un flujo constante y permitir que el río fluya debido a inundaciones regulares y excepcionales. El objetivo final es mantener la buena salud ecológica de un río, lo que llevará a su salud y equilibrio en relación con todo lo demás.

6.2. Importancia de los ríos

La cantidad, diversidad y constancia de las aguas de los ríos son fundamentales para los animales, plantas y personas que habitan a su alrededor. Estas aguas sustentan ecosistemas diversos y valiosos, el agua dulce es esencial para la vida y alberga una gran diversidad de plantas e insectos que son base de las cadenas alimenticias. Los

ríos son verdaderos hogares para numerosas especies y juegan un papel crucial en el equilibrio de la naturaleza (Gonzabay & Reyes, 2023).

Los ríos constituyen un sistema organizado y estructurado de circulación lineal y vectorial, se encargan de llevar sedimentos y fluidos importantes a través de las cuencas hidrográficas y los lugares donde desembocan, realizando complejas reacciones dinámicas, mecánicas, energéticas, químicas y bioquímicas. Con el fin de brindar alimentación y soporte a diversas formas de vida a lo largo de su trayecto (Rusínque, Moyano, & Motoya, 2022).

6.3. Distribución de ríos en Ecuador

Los ríos más extensos en la región costera en Ecuador son Esmeraldas y Guayas. La Cordillera de los Andes desempeña un papel crucial al actuar como la frontera natural que separa las cuencas hidrográficas del Pacífico y del Amazonas (Campos, Banda, & Sinichenko, 2016). La provincia de Santa Elena también cuenta con principales ríos, al límite con Manabí encontramos Ayampe, San Vicente de Loja, San José, Comuna Manglaralto, Caridad de la comuna Cadeate, Atravezado de la Comuna Libertador Bolívar, La Ponga, Valdivia, Zapote, San Pablo, etc. (Cadena, 2012).

6.4. Importancia del río Atravezado en el ecosistema acuático

El río Atravezado desempeñan un papel crucial en el ecosistema acuático de la región debido a su importancia y contribución a la biodiversidad y el equilibrio ecológico. Unos de los puntos importantes a destacar en él es el hábitat para las especies acuáticas, ya que el río proporciona una amplia variedad de especies incluyendo peces, crustáceos, macroinvertebrados, entre otros, estas especies dependen del río para su supervivencia, alimentación y refugio. También está la conexión de ecosistemas, el río actúa como un corredor fluvial, en épocas de lluvias, este recoge un considerable caudal de agua y lo deposita en el mar formando de esta manera una ensenada, llamada por los comuneros “La Boquita”, su conservación y gestión adecuada son fundamentales para garantizar la salud y el equilibrio de este importante ecosistema acuático (Galarza, Navarro, & Zúñiga, 2009).

6.5. Los factores ambientales que influyen en las comunidades de macroinvertebrados

Los ecosistemas acuáticos albergan comunidades de macroinvertebrados que se ven afectadas por diversos factores ambientales. Estos factores desempeñan un papel crucial en la composición, abundancia y distribución de las especies de macroinvertebrados (Ríos, López, & Gil, 2023). La calidad de agua es fundamental en las comunidades de macroinvertebrados, parámetros como el pH, la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto, la turbidez, los nutrientes y la presencia de

contaminantes afectan mucho a la salud y estructura de estas comunidades (Escandón & Cáceres, 2022).

El tipo y la calidad del sustrato acuático, como la composición y granulometría del sedimento, influyen en la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados. Algunas especies pueden mostrar preferencia por sustratos como grava, arena o limo, y su presencia puede estar relacionada con la disponibilidad de refugio, alimento y condiciones de desove (Gastezzi & Rincón, 2023). La presencia y densidad de vegetación acuática pueden ejercer influencia en las comunidades de macroinvertebrados. Las plantas acuáticas proporcionan refugio, alimento y sustrato para la colonización de estos organismos. Además, pueden afectar la disponibilidad de luz, oxígeno y nutrientes en el agua (Castillo & Huamantínco, 2020).

La disponibilidad y calidad de los recursos alimenticios son factores importantes que inciden en las comunidades de macroinvertebrados. Estos organismos se alimentan de materia orgánica en descomposición, detritos, algas y otros organismos acuáticos (Nossa & Sánchez, 2023). El régimen y la velocidad del flujo de agua pueden influir en la distribución y adaptación de los macroinvertebrados algunas especies pueden mostrar mayor tolerancia a aguas rápidas y turbulentas, mientras que otras prefieren aguas más tranquilas (Escobar & Montoya, 2019).

Las interacciones con otras especies, como la competencia, depredación y simbiosis, también pueden ejercer influencia en las comunidades de macroinvertebrados. La presencia de depredadores puede afectar la distribución y comportamiento de las presas, mientras que la competencia por recursos puede limitar la abundancia de algunas especies (Romero & Zúñiga, 2017).

6.6. Uso de técnicas y métodos biológicos para calidad de agua

El uso de técnicas y métodos biológicos para evaluar la calidad de agua es una herramienta importante en el monitoreo y la gestión de los recursos hídricos. Estas técnicas se basan en la observación y estudio de organismos vivos presentes en el agua, como macroinvertebrados, algas y bacterias, con el objetivo de determinar el estado y la salud del ecosistema acuático (García, Sarmiento, Salvador, & Porras, 2017).

Se ha desarrollado diversos índices bióticos basados en el uso de organismos como bioindicadores para evaluar la calidad del agua en los ecosistemas. Estos índices se han utilizado tanto a nivel global como en países que han adaptado índices específicos según las características de sus propios ecosistemas. Según Li et. al., (2010), existen varias técnicas para llevar a cabo el biomonitoreo de los ecosistemas fluviales. Técnicas que van desde índices de diversidad, índices bióticos, enfoques multimétricos, índices sapróbicos, enfoques multivariados, grupos funcionales alimentarios y por último la evaluación de múltiples rasgos biológicos. Además,

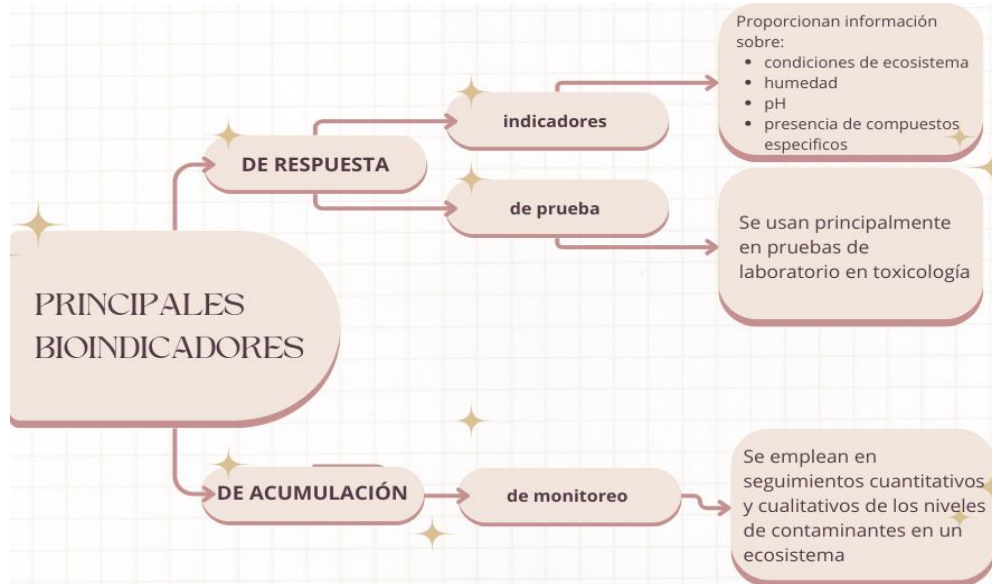
cabe destacar la existencia de otros índices utilizados, como los índices de similaridad, abundancia y diversidad (Dutan, 2021).

Los bioindicadores son utilizados como herramientas de medición para obtener información sobre la calidad del ambiente y las condiciones actuales de un organismo o ecosistema. Pueden ser organismos individuales o comunidades de organismos que responden a estímulos mediante cambios en sus funciones vitales o la acumulación de toxinas. Estos estímulos pueden ser señales de la existencia de sustancias contaminantes en el entorno y desencadenar diversas respuestas en los organismos, lo cual los convierte en indicadores útiles para detectar la presencia de contaminantes (Solórzano & Velásquez, 2019).

Existen dos categorías principales de bioindicadores: indicadores de respuesta y de acumulación. Los organismos utilizados con este propósito se clasifican como organismos indicadores, de prueba e indicadores de monitoreo. Los organismos indicadores proporcionan información sobre las condiciones de ecosistema, como la humedad, el pH o la presencia de compuestos específicos. Los organismos de prueba se usan en pruebas de laboratorio en toxicología para evaluar el riesgo al que se expone una persona. Por último, los organismos de monitoreo se emplean en seguimientos cuantitativos y cualitativos de los niveles de contaminantes en un ecosistema y sus posibles repercusiones (Mora & Tamay, 2022).

Figura 1.

Principales bioindicadores



Fuente: Modificado de Chaves, 2021.

6.7. Estado Ecológico

Se refiere a la condición general de un ecosistema en relación con su estructura, funcionamiento y procesos biológicos. Es una medida que evalúa la calidad y equilibrio del ecosistema, considerando tanto los elementos bióticos (organismos vivos) como los abióticos (factores físicos y químicos del ambiente). Para evaluar el estado ecológico, se utilizan indicadores biológicos, físicos y químicos, que incluyen la diversidad y abundancia de especies, la presencia de especies indicadoras de contaminación, la estructura de la comunidad, la calidad del agua y la disponibilidad de hábitats, entre otros. La evaluación del estado ecológico es esencial para comprender el funcionamiento del ecosistema y su

repuesta a los impactos humanos y cambios ambientales. Permite identificar problemas, establecer metas de conservación y tomar medidas adecuadas para restaurar o mantener la salud del ecosistema (Rodríguez, Ménde, Cazorla, & Alvarado, 2022).

De acuerdo con la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea en el año 2000, se define el estado ecológico como una medida que evalúa la salud global de un sistema acuático. Este estado refleja la calidad de las estructuras y el funcionamiento de los ecosistemas asociados a las aguas superficiales. Para evaluar el estado ecológico se utilizan diversos indicadores biológicos, fisicoquímicos e hidromorfológicos, los cuales están relacionados con las condiciones naturales y se consideran en ausencia de influencias o impactos humano (Enriquez, 2018).

6.8. Bioindicadores de calidad de agua

Según Lara (2020), un bioindicador es un organismo o una comunidad de organismos que tiene la capacidad de detectar la presencia de contaminantes o perturbaciones y así evaluar la salud de un ecosistema. Estos organismos proporcionan información sobre las alteraciones al experimentar cambios en su fisiología, química o comportamiento.

La utilización de bioindicadores tiene el potencial de simplificar, aunque no suplantar, las labores de campo y laboratorio, ya que implica la identificación y medición de organismo utilizando índices de diversidad para evaluar la calidad del agua (Vivarelli, 2024). Un organismo se considera indicador de calidad cuando se encuentra de manera constante en un ecosistema y su población es más abundante que la de otros organismos presentes en su hábitat, además es importante tener conocimiento sobre su ciclo de vida, estacionalidad, variaciones naturales y el grado de sensibilidad frente a niveles de contaminación para comparar las características del organismo antes y después de una perturbación ambiental. Entre los organismos que comúnmente son utilizados como bioindicadores de calidad ecosistémica se encuentran las bacterias, algas, macroinvertebrados, peces y plancton (Santillán & Guerrero, 2018).

6.9. Características generales de los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores

Roldán (2016), menciona que los macroinvertebrados acuáticos son seres vivos que se pueden percibir sin necesidad de utilizar instrumentos de aumento, ya que tienen un tamaño superior a los a 0.5 mm. Estos organismos pueden habitar adheridos al sustrato, a plantas acuáticas o troncos, lo cual se conoce como bentos. También pueden desplazarse activamente nadando en el agua, siendo denominados necton. Otros macroinvertebrados pueden encontrarse sobre la superficie del agua,

formando parte del neuston, mientras que algunos permanecen suspendidos en el agua, constituyendo el plancton (Lopez, 2018).

En los ecosistemas acuáticos, los macroinvertebrados tienen un papel fundamental en la transferencia de energía dentro de las redes tróficas. Esto significa que se alimentan de la materia orgánica producida por organismos fotosintéticos, así como de la que proviene del ecosistema terrestre, como el bosque de ribera. Posteriormente, esta energía es transferida a los organismos de mayor tamaño presentes en el ecosistema (Euceda, 2020).

Además, los macroinvertebrados desempeñan un papel importante en la dinámica de los nutrientes en los ecosistemas acuáticos, ya sean de aguas tranquilas o de corriente. Estos organismos, al moverse en busca de alimento, oxígeno o refugio, contribuyen a la remoción de nutrientes presentes en la materia orgánica en descomposición en el lecho de lagos o ríos. Yépez (2021), menciona que la cantidad de nutrientes removidos está determinada por el tamaño de los organismos, su diversidad, actividad y capacidad para ingresar y desplazarse en los sedimentos. Algunos de los organismos más comúnmente involucrados en este proceso son los oligoquetos, tubificidos, quironómidos y ciertos efemerópteros.

Según Mira et al. (2020), manifiesta que los macroinvertebrados acuáticos son ampliamente empleados como indicadores de calidad del agua debido a su

capacidad para evaluar presiones fisicoquímicas e hidromorfológicas. Estos organismos son capaces de reflejar cambios en el ambiente acuático, como la modificación del caudal y las características del lecho fluvial. Por esta razón, se consideran una herramienta valiosa en la evaluación y monitoreo de la calidad del agua, ya que sus respuestas y presencia pueden proporcionar información importante sobre el estado y la salud del ecosistema acuático. El uso de macroinvertebrados como bioindicadores se justifica en su fácil detección visual, su recolección sencilla y la disponibilidad de técnicas de recolección estandarizadas que no implican un alto costo (Osejos, Merino, Merino, & Solis, 2020).

6.10. Variable temporal y espacial

A continuación, se describen las variables ecológicas temporales y espaciales.

6.10.1. Variable temporal o estacional

Para comprender la dinámica de las comunidades de macroinvertebrados en el tiempo, se consideran variables temporales. Estas variables abarcan diferentes aspectos estacionales, como las fluctuaciones de temperatura del agua, los caudales y la disponibilidad de recursos a lo largo de las estaciones del año. Además, se analizan las variaciones diarias, estudiando los patrones de actividad y comportamiento de los macroinvertebrados en relación con el ciclo de luz y oscuridad (Córdoba, Rincón, Donato, & González, 2020). También se consideran eventos extremos, como inundaciones y sequías, que pueden afectar mucho a la composición y estructura de las comunidades. Otra variable temporal importante es

la sucesión ecológica, que permite comprender cómo se desarrollan y cambian las comunidades de macroinvertebrados a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta la colonización y extinción de especies. Por último, se analizan las tendencias a largo plazo en las comunidades de macroinvertebrados, lo cual implica evaluar cambios a lo largo de varios años o décadas y comprender los posibles efectos del cambio climático y otras perturbaciones causadas por los seres humanos (Sánchez, 2024). Estas variables temporales nos proporcionarán una visión completa de la ecología de los macroinvertebrados acuáticos en el río Atravezado y nos ayudarán a comprender mejor su respuesta y adaptación a los cambios temporales en el entorno acuático.

6.10.2. Variable espacial

Se tienen en cuenta las variables espaciales con el fin de comprender cómo se distribuyen y qué nivel de variación presentan a lo largo del río. Estas variables abarcan elementos como la ubicación geográfica de los puntos de muestreo, los cuales se seleccionan estratégicamente a lo largo del curso del río para representar distintas secciones y condiciones del hábitat (Morell, Bergues, López, & Almarales, 2020). Además, se analizan las características físicas del entorno acuático, tales como la profundidad del agua, la velocidad del flujo, la composición del lecho y la presencia de vegetación en las orillas. Estas variables espaciales nos permiten evaluar cómo los factores ambientales y las particularidades del hábitat influyen en la composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados. Asimismo,

se pueden identificar patrones de distribución espacial de las especies y evaluar la conectividad entre diferentes áreas del río (Rodríguez, 2020). Mediante el análisis de estas variables espaciales, se obtiene una comprensión más completa de la ecología de los macroinvertebrados acuáticos en el río Atravezado y sus interacciones con el entorno físico.

6.11. Diversidad de macroinvertebrados en la Provincia de Santa Elena

La provincia de Santa Elena, situada en la costa de Ecuador, albergan una gran variedad de macroinvertebrados acuáticos, lo cual es de gran importancia para los ecosistemas acuáticos locales y desempeñan diversas funciones ecológicas (Quimi, 2023).

En los ríos, arroyos y estuarios de Santa Elena se encuentran diversos tipos de macroinvertebrados acuáticos, como insectos acuáticos (como larva de mosquitos, libélulas y efemerópteros), crustáceos (como camarones de agua dulce y cangrejos), moluscos (como caracoles y mejillones de agua dulce) y anélidos (como sanguijuelas y lombrices acuáticas) (Shuriana & Seminario, 2022). Esta amplia diversidad de macroinvertebrados en Santa Elena cumple funciones esenciales en el ecosistema. Algunos de ellos actúan como descomponedores, contribuyendo a la descomposición de la materia orgánica y al ciclo de nutrientes. Otros cumplen roles de depredadores, controlando las poblaciones de otros organismos acuáticos.

6.12. Biología y Ecología de los macroinvertebrados acuáticos de aguadulce

Los macroinvertebrados son mayormente organismos bentónicos, aunque se han identificado tres principales: neuston, que incluye organismos que viven en la superficie del agua y tienen una cubierta cerosa en sus uñas, patas y exoesqueleto que los hace impermeables; el necton, que está compuesto por organismos que nadan libremente en el agua; y el bentos, que se refiere a aquellos organismos que habitan en el fondo de ríos y lagos, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y otros sustratos similares (Roldan, 2003).

Según su tamaño, los macroinvertebrados acuáticos se pueden clasificar en tres categorías. La primera es el microbento, que incluye organismos como protozoarios, rotíferos y gastrotriqueos cuyo tamaño máximo es de 0,3 mm. La segunda categoría es el mesobento o meibento, que abarca organismos con un tamaño entre 0,3 y 0,8 mm. Entre ellos se encuentran harpacticodes, ostrácodos, nematodos y pequeños anélidos. Por último, el macrobento engloba organismos con tamaños entre uno y dos mm, como moluscos, anélidos, larvas de insectos y crustáceos como anfípodos e isópodos (Esteves, 1998). Además, se ha llevado a cabo clasificaciones basadas en el ciclo de vida, la alimentación, mecanismos y estructuras que los organismos poseen para obtener su alimento. En este sentido, se pueden distinguir diferentes categorías, como herbívoros, omnívoros, carnívoros, detritívoros, micróvoros y macróvoros (Gil, 2014).

Varias familias de insectos acuáticos, como Trichóptera, Plecóptera, Crustácea, algunos dípteros y coleópteros, se alimentan de materia orgánica particulada gruesa no leñosa, como hojas en descomposición y microbiota, especialmente hongos. Además, hay algunos organismos filtradores, como ciertos Trichóptera, Díptera y Ephemeroptera, que se alimentan principalmente de materia orgánica particulada fina, microbiota y perifiton. Por otro lado, ciertas familias de efemerópteros, tricópteros, algunos dípteros, lepidópteros y coleópteros son raspadores y se basan en el perifiton, en particular diatomeas y micro capas orgánicas, como fuente de alimento. Por último, los depredadores, como odonatos, megalópteros, algunos plecópteros, tricópteros y coleópteros, pueden consumir macrocitos a través de la perforación de tallos y hojas, así como presas animales (Roldán, Bohórquez, Cataño, & Ardila, 2000).

Los macroinvertebrados de agua dulce son organismos que presentan una gran variedad de tamaño, desde los visibles a simple vista hasta los tan diminutos que requieren de una lupa o un microscópio para observarlos. Estos organismos desempeñan un papel crucial como consumidores de algas y plancton en los ríos. Además, son indicadores importantes de la calidad del agua en la que habitan. Son un recurso alimenticio fundamental para otros organismos acuáticos y los que habitan en las zonas ribereñas, como otros invertebrados, peces, anfibios y aves. Los macroinvertebrados acuáticos se agrupan en tres filos: Anélida, Molusca y Artrópoda (Fundación Santuario de la Naturaleza, 2024).

El desarrollo de los macroinvertebrados está influenciado por diversos factores, incluyendo la disponibilidad de oxígeno. Cuando hay un aumento en la cantidad de materia orgánica en el agua, se produce una proliferación de microorganismos encargados de descomponerla. Esto tiene varios efectos, entre ellos una disminución en la concentración de oxígeno disuelto en el agua y un aumento en la concentración de nutrientes inorgánicos, como el amonio y el fosfato (Allan, 1995).

La reducción del oxígeno disuelto afecta a la mayoría de los macroinvertebrados, quienes disminuyen su abundancia e incluso pueden desaparecer como respuesta a esta situación. Sin embargo, existen otros grupos que son capaces de tolerar niveles bajos de oxígeno disuelto. Estos grupos han desarrollado adaptaciones a la falta de oxígeno, como una mayor cantidad de pigmentos respiratorios especializados que les permiten capturar oxígeno en concentraciones muy bajas, o la capacidad de obtener energía a través de la fermentación anaerobia (Hoback & Stanley, 2001).

6.13. Características ecológicas de los principales grupos de macroinvertebrados acuáticos

6.13.1. Ephemeroptera

En la actualidad, se han identificado más de 3 000 especies en 42 familias y más de 400 géneros dentro del orden Ephemeroptera, que abarca la fauna global (Barber-James, Gattolliat, & Hubbard, 2008). Generalmente, estos organismos habitan en

aguas que fluyen de manera limpia y con una adecuada oxigenación. Sin embargo, algunas especies parecen tener cierta tolerancia a la contaminación. Su ciclo de vida es breve, con una vida adulta que oscila entre 3 y 5 días. Las ninfas, que son casi herbívoras, se alimentan de algas y tejidos de plantas acuáticas. A su vez, los peces se sustentan en gran parte de las ninfas de los efemerópteros, ya que son su principal fuente de alimento (Roldán, Gabriel, 1988).

Figura 2.

Especie orden Ephemeroptera



Fuente: Vogel, 2008

6.13.2. Plecoptera

Son pequeño grupo de insectos acuáticos que se encuentran en todos los continentes. Las ninfas de estos insectos habitan en aguas rápidas y bien oxigenadas, generalmente bajo piedras, troncos, ramas y hojas. Se consideran indicadores de alta calidad del agua, ya que se encuentran en ambientes limpios u oligotróficos. Se ha observado que su presencia es abundante en riachuelos con lecho rocoso, corrientes rápidas y aguas extremadamente limpias, a una altitud cercana a los 2000 metros (Gutiérrez-Fonseca, 2010).

Figura 3.

Especie del orden Plecoptera



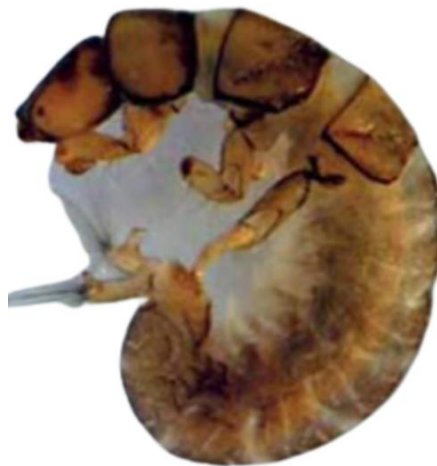
Fuente: Ladrera - Fernández (2012)

6.13.3. Trichoptera

La totalidad de las especies pertenecientes a este orden tienen un desarrollo que depende completamente del medio acuático. Con más de 13 500 especies, este grupo de insectos es uno de los más diversos en ambiente de agua dulce. Las larvas de estos insectos son acuáticas y construyen refugios fijos o móviles utilizando seda. Estas larvas habitan en aguas que fluyen rápidamente, limpias y bien oxigenadas, generalmente encontrándose debajo de piedras, troncos y material vegetal. Algunas especies de este grupo pueden encontrarse en aguas estancadas y zonas tranquilas de ríos y manantiales, donde se alimentan de material vegetal y algas. En general, estos insectos son considerados buenos indicadores de agua oligotróficas (Springer, 2008).

Figura 4.

Especie del orden Trichoptera



Fuente: Ladrera - Fernández (2012)

6.13.4. Coleoptera

La mayoría de los coleópteros acuáticos se encuentran en aguas continentales, ya sea en corrientes o en aguas estancadas. En las áreas con corrientes, los sustratos más comunes son troncos y hojas en descomposición, grava, piedra, arena, así como vegetación sumergida y emergente. Las zonas más abundantes en diversidad son en aguas poco profundas, donde la velocidad de la corriente no es muy fuerte. Estas aguas suelen ser limpias, con altas concentraciones de oxígeno y temperaturas moderadas (Arias, 2020).

Figura 5.

Especie del orden Coleoptera



Fuente: Seth Bybee, (2015)

6.13.5. Diptera

El hábitat de estos insectos es muy diverso, ya que se encuentran en una variedad de lugares como ríos, arroyos, quebradas, lagos a diferentes profundidades,

depósitos de agua en brácteas de varias plantas y agujeros en troncos. Algunas familias, como Simuliidae, se encuentran en aguas muy limpias, mientras que otras, como los Tipúlidos, prefieren aguas relativamente menos contaminadas. Por otro lado, los Chiromidos pueden habitar en aguas de baja calidad. En general, muchas de estas familias de insectos son consideradas indicadores de la alteración o perturbación del ecosistema acuático (Jara, 2002).

Figura 6.
Especie del orden Diptera



Fuente: Ladrera - Fernández (2012)

6.13.6. Odonata

Comparado con otros grupos de insectos acuáticos, el grupo de Odonata es relativamente pequeño en términos de la cantidad de especies. Actualmente, se han identificado alrededor de 5 600 especies en todo el mundo, aunque se estima que el número total podría llegar a casi 9 000 especies (Ramírez, Paulson, & Esquive, 2000).

El término “Odonata” proviene del griego “odon”, que significa diente, en referencia a las fuertes mandíbulas que poseen. Este orden se divide en dos subórdenes que se diferencian fácilmente en su morfología. Los adultos del suborden Sigoptera tienen un cuerpo delgado y delicado. La mayoría de las especies mantienen sus alas juntas cuando están en reposo. Por otro lado, las ninfas de este suborden tienen tres branquias propiamente en la parte posterior del abdomen. En contraste, los adultos del suborden Anisoptera tienen un cuerpo robusto y vuelan rápidamente. Cuando se posan, mantienen sus alas separadas (abiertas). Las ninfas de este suborden también son robustas, pero no tienen branquias externas (Buenaño, Vásquez, Zurita, Parra, & Pérez, 2018).

Figura 7.

Especie del orden Odonata



Fuente: Haber, (2014)

6.13.7. Megaloptera

Estos macroinvertebrados se encuentran en aguas de escorrentía que están limpias, y su hábitat se localiza debajo de la vegetación sumergida, piedras y troncos. Además, se caracterizan por ser depredadores de tamaño considerable. En general, se les considera indicadores de aguas oligotróficas o ligeramente mesotróficas, lo que significa que su presencia suele asociarse con la calidad y pureza de dichas aguas (Grustán, 2015).

Figura 8.

Especie del orden Megaloptera



Fuente: DEC, (2016)

6.13.8. Lepidoptera

Estos organismos viven en aguas de gran pureza y con niveles elevados de oxígeno. Su dieta se compone de algas, especialmente de diatomeas, y también están en las superficies rocosas. Se consideran indicadores de aguas limpias debido a su presencia en tales ambientes (Diez, 2016).

Existe una amplia variedad de tamaños corporales dentro de este grupo, con una envergadura alar que va desde los 3 hasta los 300 mm. Las larvas de estas especies pueden ser semiacuáticas o acuáticas, y se caracterizan por tener una cabeza esclerotizada bien definida. En la parte dorsal de estos escleritos frontales se encuentra una sutura epicraneal en forma de “Y” invertida. Las mandíbulas presentan estructuras llamadas hileras, que secretan seda y son utilizadas para construir capullos y refugios. Dentro de este orden, existen numerosas especies cuyas etapas larvales se desarrollan en el agua, e incluso algunos adultos también son acuáticos (Diez, 2016).

Figura 9.

Especie del orden Lepidoptera



Fuente: PV, FAGRO (2012)

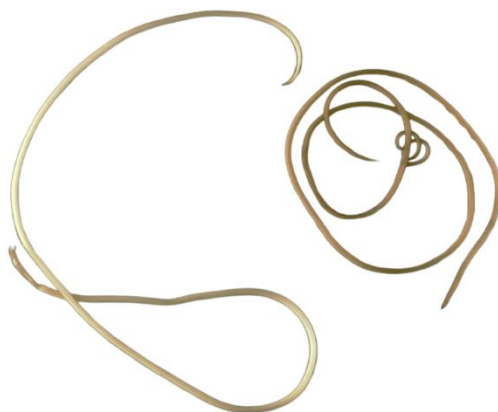
6.13.9. Nematomorpha

Conocidos como gusanos cordones o pelo de caballo (Nematomorpha), estos son los gusanos más largos y delgados del mundo. Durante muchos años, estos animales han desconcertado a las personas y su biología ha sido un misterio. En la actualidad, se ha logrado comprender su biología y su hábitat en aguas dulces, aunque aún hay aspectos que se desconocen (Tuyle, Dix, & Polo, 2015).

Estos organismos habitan en corrientes de agua limpia, donde se adhieren a la vegetación y se encuentran debajo de las piedras en las orillas de ríos y arroyos. Para completar su ciclo de vida, necesitan encontrar el huésped adecuado (Tuyle, Dix, & Polo, 2015)

Figura 10.

Especie del orden Nematomorpha



Fuente: SDP, (2014)

6.13.10. Tricladida

Son organismos que poseen una cavidad gastrovascular y una única abertura que funciona como boca y ano simultáneamente. Su cuerpo está recubierto por una capa de mucosidad producida por glándulas ubicadas debajo de la epidermis (León, 2020)

La mayoría de estos organismos habitan en ambientes acuáticos poco profundos, en corrientes y en aguas estancadas, bajo piedras, troncos, ramas, hojas y otros sustratos similares. Por lo general, prefieren aguas bien oxigenadas, aunque algunas especies pueden tolerar niveles moderados de contaminación (León, 2020).

Figura 11.
Especie del orden Tricladida



Fuente: Tricladida. (2016)

6.13.11. Anelida

Estos organismos habitan en aguas con eutrofización, altos niveles de nutrientes y materia orgánica. Se encuentran especialmente en ríos contaminados con materia orgánica y aguas residuales, lo que los convierte en indicadores de la contaminación acuática (Baez, 2015).

Figura 12.

Especie del orden Anelida



Fuente: Visuzoología, 2015

6.13.12. Mesogastropoda

El orden Mesogastropoda comprende gasterópodos prosobranquios, lo que significa que poseen las branquias ubicadas por delante del corazón. Estos gasterópodos han experimentado una reducción de los órganos pares, lo que ha llevado a una pérdida de la simetría bilateral interna, quedando solo un órgano en

su lugar (Valenciana, 2023). Numerosas especies se encuentran en ambientes de agua dulce, mientras que otras habitan en el mar y solo una pocas se desarrollan en tierra firme. En cuanto a su dieta, una gran cantidad de especies son herbívoras, aunque solo un reducido número actúa como depredadoras o parásitas.

Figura 13.

Especie del orden Mesogastropoda



Fuente: DEC, (2016)

6.13.13. Coleoptera

También conocidos como escarabajos, son un orden de insectos que pertenecen al grupo holometábolo llamado Coleoptera. Representan un poco más del 40% de la diversidad total de Hexapoda en todo el mundo. Actualmente, se estima que existen entre 360 000 y 400 000 especies identificadas. De hecho, de todas las especies descritas, los escarabajos comprenden una cuarta parte de ellas. Además de ser el orden de animales más diverso a nivel mundial, los Coleópteros también son el

grupo zoológico con el mayor número de especies en toda la biosfera (Zamora, 2009).

Figura 14.
Especie del orden Coleoptera



Fuente: Haber, (2014)

6.13.14. Decapoda

Los cretáceos son un grupo destacado de artrópodos que exhiben una gran variedad, siendo más prominente en los entornos acuáticos, en particular en los ambientes marinos. También se encuentran en ambientes de agua dulce, mientras que solo unas pocas familias son terrestres. Estos organismos desempeñan un papel significativo en los ecosistemas acuáticos debido a su abundancia numérica, biomasa y su función esencial en las redes tróficas (Lasso, 2006).

Algunos estudios muestran su sensibilidad a situaciones de eutrofización causadas por vertidos de aguas residuales, lo que reduce su abundancia. Por ejemplo, se observó este fenómeno en las especies *Diogenes pugilator* y *Galathea intermedia* en la habia de Barbate (Cádiz) durante un período de mayor impacto humano. Sin embargo, a pesar de esto, la estructura poblacional de los decápodos se mantuvo estable, lo que indica cierta tolerancia ante estas condiciones (Ruso, y otros, 2017).

Figura 15.

Especie del orden Decapoda



Fuente: Seth Bybee, (2015)

6.14. Parámetros físicos-químico de la calidad de agua

Según Neumann et al. (2015), una de las principales desventajas al evaluar la calidad del agua mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos radica en su naturaleza rutinaria y su alto costo. Además, la información proporcionada por estos análisis es puntual e indirecta. Por otro lado, según Roldan (1988), se revela que los

organismos son particularmente sensibles a parámetros como el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la temperatura.

El análisis de estos aspectos fisicoquímico del agua proporciona información crucial sobre su calidad, su aptitud para diferentes usos y la salud de los ecosistemas acuáticos. Estos datos son utilizados en investigaciones científicas, monitoreo ambiental, gestión de recursos hídricos y toma de decisiones relacionadas con el agua (Larrea, Romeu, Lugo, & Rojas, 2022).

6.14.1. pH

Según Murillo (2015), el pH del agua no representa directamente el valor de su alcalinidad o acidez, sino que es una medida de su tendencia a la acidez o alcalinidad y puede tener impactos en la vida acuática y los procesos químicos del agua. Un pH inferior a 7 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un pH superior a 7 muestra una tendencia hacia la alcalinidad. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH de entre 4 y 9, aunque muchas poseen un pH algo básico por carbonatos y bicarbonatos. La presencia de contaminación industrial se evidencia cuando el pH del agua es extremadamente ácido o alcalino (Durán, 2016).

6.14.2. Temperatura

Es un factor no biológico que regula procesos esenciales para los organismos vivos y también tiene un impacto en las propiedades químicas y físicas de otros elementos no biológicos en un ecosistema. El término “calor” implica la transferencia de energía entre un cuerpo o sistema y su entorno inmediato en ambas direcciones. La temperatura es un parámetro de mayor importancia que el calor de un cuerpo o sistema. Esto asume, por supuesto, que las únicas diferencias entre los dos entornos son el tamaño de sus respectivas cuencas hidrológicas y el contenido de calor asociados a ellas (Fuentes & Massol, 2002).

6.14.3. Oxígeno Disuelto (OD)

Es un componente no conservativo (concentración variable) que ha sido ampliamente estudiado en ecosistemas acuáticos, esencial para la vida acuática, y mantener niveles adecuados de oxígeno es importante para la salud de los organismos acuáticos. Los organismos acuáticos requieren niveles específicos de oxígeno disuelto para mantener su vida, pero estos niveles pueden variar entre diferentes especies. La presencia y distribución del oxígeno en los cuerpos de agua naturales se ve influenciada por diversos procesos, como el intercambio de gases en la superficie del agua, la fotosíntesis, el consumo de oxígeno por la respiración, la advección (movimiento horizontal del agua por cambios en la presión atmosférica cerca de la superficie) y la difusión. Dado que el oxígeno es esencial como nutrientes para la mayoría de los organismos, es importante medir las variaciones a

lo largo del tiempo de los procesos bióticos (fotosíntesis y respiración celular) y abióticos que ocurren *in situ* y que afectan su concentración y distribución. Estas variaciones son relevantes para la construcción de modelos dinámicos del funcionamiento de las comunidades acuáticas (Flores, Angel, Frías, & Gómez, 2022).

6.14.4. Salinidad

El agua es un componente fundamental en el ecosistema acuático, donde se desarrollan diversas comunidades de organismos vivos. Estas comunidades dependen de las características fisicoquímicas del agua, que pueden alterarse significativamente por diversos factores. Las masas de agua se ven influenciadas por la interacción de variables naturales, así como por la introducción de sustancias provenientes de actividades humanas (Zarsa, 2024).

Una de estas variables es la salinidad, la cual es una función compleja y dinámica del clima, la geología de la cuenca, la distancia al mar, la topografía (Guerra, 2017).

6.15. Índices biológicos utilizados en el estudio de macroinvertebrados

Los indicadores biológicos aplicados en las investigaciones de macroinvertebrados son medidas y técnicas utilizadas para analizar la calidad del agua y la condición ecológica de los ecosistemas acuáticos. Se fundamentan en establecer una relación entre las especies de macroinvertebrados y su capacidad de tolerancia a la contaminación, la utilización de indicadores biológicos implica combinar las características favorables del saprobio y la diversidad de índices, que incluyen medidas cuantitativas de diversidad de especies y datos cualitativos sobre las sensibilidades ecológicas de cada grupo taxonómico, en una única expresión numérica. Además, se ha propuesto un modelo descriptivo llamado “Gradiente de Condición Biológica” para describir los efectos de los factores estresantes en las características ecológicas (Machado, Granda, & Endara, 2018).

Es importante mencionar que existen distintos índices biológicos empleados en la investigación de macroinvertebrados, como el índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) y sus variantes, el índice ASPT (Average Score per-Taxón), el índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera, Trichóptera), entre otros. Cada uno de estos índices se basan en diferentes enfoques y consideraciones relacionadas con la clasificación taxonómica, y la elección del índice a utilizar depende del objetivo específico del estudio y las particularidades del ecosistema acuático investigado (Mosquera & Peña, 2021).

6.15.1. Índice BMWP o Grupo de Trabajo para el Monitoreo Biológico.

El grupo de Trabajo para el Monitoreo Biológico (BMWP, por sus siglas en inglés) fue creado en Inglaterra en 1970 con el objetivo de proporcionar un enfoque rápido y sencillo para evaluar el estado ecológico del agua utilizando macroinvertebrados como bioindicadores (Caicedo, 2020). Este método implica la identificación de los organismos solo hasta el nivel de familia, requiere un esfuerzo mínimo, ya que muchos de los índices ya están establecidos en guías científicas, y además no genera grandes gastos, lo que implica que se necesite una inversión económica reducida. Además, se requiere poco tiempo, ya que existe una amplia disponibilidad de información sobre la calidad del agua en diversos ecosistemas (Muños & Bonilla, 2023). Los estudios biológicos relacionados con los sistemas acuáticos han experimentado una alta demanda, ya que los parámetros fisicoquímicos proporcionan una visión limitada del agua y no permite evaluar su calidad a lo largo de periodos prolongados, los datos recopilados son de naturaleza cualitativa, es decir, se registra su presencia o ausencia (Roldan, 2003).

Al recopilar datos cualitativos, como la presencia o ausencia de ciertos organismos, se asigna un valor que varía de 1 a 10 según su grado de tolerancia a la contaminación. En consecuencia, se otorga una puntuación de 10 a las familias más sensibles y una puntuación de 1 a aquellas menos sensibles o tolerantes a la contaminación. Una de las principales ventajas del índice BMWP es que solo se

requiere conocer hasta el nivel de familia, y el valor se obtiene al sumar las puntuaciones correspondientes a cada familia (Leaño & Pérez, 2020).

6.15.2. Índice de Shannon-Weaver

El índice de Shannon, conocido como Shannon-Weaver, se usa como una métrica para cuantificar la diversidad biológica específica. Este índice se deriva de la teoría de la información y se utiliza como una medida de la entropía en el contexto de la biodiversidad (Jimeno, Martínez, Rivera, & Mendoza, 2020). El índice de Shannon-Weaver se aplica a comunidades demasiado grandes para estudiarlas por limitaciones de infraestructura, costos, tiempo, personal o por ser imposible abarcarlas por completo. Por lo tanto, su valor debe estimarse a partir de una muestra representativa. Es importante destacar que este índice no permite calcular intervalos de confianza ni realizar pruebas de hipótesis. El índice de Shannon-Weaver tiene en cuenta tres componentes principales: la riqueza de especies, su abundancia y la equitatividad (Grané, 2022).

Aunque en las últimas décadas el uso de índices de diversidad como método de bioindicación ha disminuido en importancia debido a su limitación para capturar las complejas interacciones biológicas y taxonómicas entre las especies, todavía se utilizan porque no hay otros índices que los sustituyan. El uso de este índice permite evaluar la uniformidad con la que se encuentran representadas las especies, considerando el total de especies muestreadas. Ayuda a cuantificar la diversidad

biológica específica en cada unidad de muestreo, utilizando una escala logarítmica (Aguirre, 2019).

El índice de Shannon-Weaver se define como:

$$H = - \sum_{i=1}^S \pi_i \ln \pi_i$$

En donde:

H= índice de diversidad de Shannon-Weaver

S= número de taxones o familias

i= número de orden de los taxones

Pi= indicador de abundancia relativa

Ln= logaritmo natural

6.15.3. Coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación es una medida que permite evaluar la fuerza o grado de asociación entre dos variables cuantitativas aleatorias que siguen una distribución normal bivariada conjunta. Este coeficiente es de naturaleza paramétrica y ayuda a determinar la tendencia de dos variables a estar relacionadas, también conocida como covarianza. Los valores del coeficiente oscilan entre -1 y

uno. Los valores cercanos a uno ya sean positivos o negativos, indican una correlación más fuerte entre las variables, mientras que el valor 0 indica la ausencia de correlación. El signo positivo o negativo del coeficiente de correlación indica si la relación entre las variables es positiva (directa) o negativa (inversa), y la correlación en sí no implica dependencia (Ortiz & Ortiz, 2021).

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1. ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo fue realizado en el río Atravezado, ubicado en la comuna Libertador Bolívar, perteneciente a la parroquia Manglaralto de cantón y provincia Santa Elena. El río nace de la Cordillera Chongón – Colonche y se desarrolla de Este a Oeste hasta desembocar en la playa de la comuna, es un importante cuerpo de agua en la región, con una notable diversidad de macroinvertebrados acuáticos (Rivera, 2019).

El estudio se llevó a cabo en el río Atravezado de la comuna Libertador Bolívar. Cuyas coordenadas son $1^{\circ}52'50''\text{S}$ y $80^{\circ}43'58''\text{O}$, como se muestra en la siguiente figura una mejor visualización del área de estudio.

Figura 16.

Zona de estudio, Comuna Libertador Bolívar



Fuente: Rivera (2019), modificado por De La Cruz, 2024.

7.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

A continuación se describe el tipo de investigación aplicada:

7.2.1. Investigación observacional experimental

En este estudio se realizó una investigación de tipo observacional experimental para analizar desde la variable temporal las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el río. Se realizó un muestreo combinado de macroinvertebrados acuáticos en diferentes puntos del río durante dos estaciones del año, abarcando un período de tres meses. Se recolectaron muestras de macroinvertebrados y se aplicaron indicadores biológicos para determinar el estado ecológico del río. Además, se registraron variables ambientales como la temperatura del agua, pH, nivel de oxígeno disuelto y salinidad. Los resultados obtenidos permitieron analizar las variaciones temporales en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y evaluar el estado ecológico del río Atravezado.

7.3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

El propósito fue evaluar la salud y calidad del ecosistema acuático del río Atravezado utilizando los macroinvertebrados como indicadores biológicos. Para lograr esto, se recopilaban muestras de macroinvertebrados en diferentes puntos del río, se identificaron y se analizaron los datos de índices comunitarios, abundancia, diversidad y composición de las comunidades. Este estudio permitió obtener

información importante para la toma de decisiones en la gestión y conservación de los recursos hídricos.

Los muestreos se realizaron de marzo a mayo de 2024, llevándose a cabo dos muestreos por mes, con tres puntos por cada transecto, lo que resultó un total de nueve puntos. Estos puntos fueron agrupados para el análisis posterior de los datos.

7.4. FASE DE CAMPO

7.4.1. Investigación de campo

Al inspeccionar el área de estudio que constaba de 140 metros, en el río Atravezado, se llevó a cabo la georreferenciación de los tres sitios de muestreos específicos, zona alta (40 m), zona media (40 m) y zona baja (40 m), separadas cada una con una distancia de 10m, las cuales constaban de tres replicas cada una de 10m separadas por una distancia de 5m. Además, se recolectaron muestras para identificar las diversas especies de macroinvertebrados del área.

7.4.2. Estaciones De Muestreo

Tabla 1. Sitios de muestreos

Río	Punto de muestreo	Longitud O	Latitud S
Atravezado	Zona alta	80°43' 52" O	1°52' 48" S

Zona media	80°43'58" O	1°52'51" S
Zona baja	80°44'05" O	1°52'48" S

Las estaciones de muestreos fueron tres en la zona baja, media y alta del río, realizándose tres réplicas por estación. Cada estación constó con un transepto de 40 metros y las réplicas fueron cada cinco metros. Se obtuvo las coordenadas geográficas de cada punto mediante *GPS*.

7.4.3. Determinación de la cobertura de agua y partes de un río

Según (Cotle, Galindo, González, Pineda, & Ríos, 2013), el río se divide en tres secciones distintas. La primera sección, conocida como zona alta, abarca el tramo desde la fuente del río hasta áreas más bajas. La segunda sección, denominada zona media, se encuentra entre la sección alta y la baja del río. Por último, la tercera sección corresponde a la zona baja del río, donde desemboca en un mar u océano. En esta sección, los sedimentos arrastrados desde las secciones alta y media se depositan, de acuerdo con este criterio se procedió al reconocimiento de las zonas a muestrear.

7.4.4. Método de Muestreo

A continuación, se describe el método de muestreo:

Se aplicó el método de muestreo combinado descrito por Gonzabay (2008). Con ligeras modificaciones:

1. El perímetro de las estaciones se estableció en un área de 40 x 30 metros, medido con una cinta métrica de 50 metros y delimitada por medio de una cuerda abarcando toda la zona.
2. Se establecieron 3 líneas de transepto para cada replica, formando un rectángulo.
3. Se dividieron las réplicas de acuerdo con la cobertura del agua en zona baja, media y alta.
4. Dentro de las réplicas se realizaron muestreos con una red tipo D de 30 cm de diámetro y con un ojo de malla de 500 micras.

7.4.5. Variables Ambientales

Para los muestreos se tomaron las siguientes variables ambientales: Temperatura en grados Celsius (°C); Potencialidad de hidrógeno (pH), Oxígeno Disuelto (OD) y Salinidad en unidades prácticas de salinidad (UPS), para ello se utilizó un multiparámetro de marca ®YIERYI.

7.4.6. Recolección de muestras

Para este muestreo se utilizó una red tipo *D* con un diámetro de 30 cm, con un ojo de malla de 500 micras; se realizó un barrido en las orillas o recodo con tres repeticiones para cada punto de muestreo y el sedimento se pasó por un tamiz metálico de 2 mm. Además, se efectuó una recolección manual de organismos

dentro de cada estación. Adicionalmente para la recolección de crustáceos (jaibas, cangrejos y camarón), se usó una atarraya en las estaciones.

En este estudio se empleó el método de recolección de reemplazo que consiste en que el primer muestreo los organismos se extraen para su posterior identificación, para lo cual se almacenaron en frascos plásticos de 2 litros y se preservaron en alcohol al 70 %, y luego fueron trasladados al laboratorio de la facultad Ciencias del Mar (UPSE) donde se llevó a cabo la respectiva identificación con la ayuda de un estereoscopio marca Euromex y mediante claves taxonómicas como se muestra en la tabla N° 2, se logró identificar a los organismos colectados hasta el nivel más bajo posible, y en los siguientes muestreos los organismos recolectados se cuantificaron e identificaron *in situ* para no afectar su diversidad.

Tabla 2. Claves taxonómicas utilizados en la identificación

Autor	Año	Título
(González et al., 2018)	2017	Macroinvertebrados Dulceacuícolas
(Fischer, Krupp, Schneider, Sommer & Carpenter, 1995)	1995	Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca: Pacífico Centro-Oriental
(Narváez, Piguave, & Montero, 2019)	2019	Moluscos presentes en la Isla del Amor, Provincia de el Oro
(Brusca, Brusca, & Haver, 1990)	1980	Invertebrates

7.5. FASE DE LABORATORIO

A continuación, se describe las etapas de la fase de laboratorio:

7.5.1. Registro de datos

Se procedió a crear una base de datos utilizando una hoja de cálculo (*Excel*) y se analizaron las variables ambientales, diversidad y abundancia utilizando el *software* estadístico Past 4.17.

7.6. FASE DE ANÁLISIS

Para la fase de análisis se calcularon los siguientes índices:

7.6.1. Cálculos de índices biológicos

Para determinar la salud del río Atravezado se utilizó el índice biológico Biological Monitoring Working Party (BMWP), a su vez se manejaron los índices de Shannon-Weaver y Coeficiente relacional de Pearson ya que estos son necesarios para, medir la correlación estadística entre dos variables lineales continuas como son: los factores físicos y el material biológico e indica el nivel de confianza y si estos factores tienen influencia sobre las especies. Se cuantificaron los individuos hasta el nivel más bajo posible en cada uno de los transectos, luego se tabulo los datos con la ayuda de una plantilla de Excel, y finalmente se utilizaron diferentes programas según el índice a utilizar.

7.6.2. Mapa de georeferenciación

Para la elaboración del mapa de registro de organismos y parámetros ambientales se usó el programa QGIS, donde primero se procedió a crear un polígono, luego se seleccionó a crear nueva capa de archivo shape, se procedió a colocar los datos y codificación (UFT-8), se eligió el tipo de geometría deseada (polígono), se añadieron los campos deseados y tipo correspondiente, luego click en caeptar, la capa ha sido digitalizada, a continuación se hizo click en Google Maps o dependiendo de XYZ Tiles (fondo de trabajo) que se vaya a realizar. Se centró el mnapa y quitó el zoom porque en algunos casos puede estar observando el océano; por lo cual, la pantalla se ve color celeste. Se hizo click en lápiz, al lado se desbloqueó un botón llamado “añadir polígono, se procedió a dibujar lo deseado y se finalizo con click derecho, se guardó en archivo para su posterior uso.

7.6.3. Clasificación de macroorganismos según BMWP

La clasificación de macroorganismos según el índice biológico BMWP, asigna valores a diferentes grupos de macroinvertebrados acuáticos en función de su tolerancia a la contaminación y su tolerancia a las perturbaciones ambientales. Estos valores se suman para obtener un puntaje total que indica el estado ecológico de un río (Trejos, 2022). Para la clasificación de organismos, se utilizó la tabla de Alvarado, 2002 y se asignó un valor a cada familia/Orden identificada, luego se realizó un sumatoria total de las taxas para determinar el nivel de calidad del agua en cada transecto.

7.6.4. Shannon – Weaver

El índice de Shannon-Weaver considera tanto la riqueza de especies como la equitatividad. Una vez fueron tabulados los datos se colocaron en el programa Past 4.17 esto permitió tener valores según la diversidad, abundancia y dominancia de los individuos por cada punto de muestreo.

7.6.5. Correlación de Pearson

Es una medida estadística que sirve para evaluar la relación lineal entre dos variables continuas. La desarrolló Karl Pearson (año) y se usa en análisis estadísticos para determinar la fuerza y dirección de la relación entre dos variables. Para ello se comparó los valores que fueron obtenidos en cada uno de los órdenes con los resultados de los parámetros fisicoquímicos de cada transecto.

8. RESULTADOS

8.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS

La comunidad de macroinvertebrados acuáticos que fueron recolectados en cada punto de los tres transectos establecidos en el río Atravezado, fue de 3 953 individuos, en donde se identificó solamente al grupo de Phylum Arthropoda, donde 3 573 individuos pertenecen al orden decápoda y 380 individuos al orden Sessilia (Tabla 3).

Se registró los siguientes datos: el orden decapoda mostró la mayor abundancia de la familia Penaeidae, el cual tuvo un total de 65,54 %, se encontró solo de una sola familia ya mencionada, por el contrario, en el mismo orden se presentó con menor abundancia la familia Portunidae con 8.14 %, con el único genero registrado Callinectes (Gráfico 1).

Tabla 3. Total, de organismos identificados por Orden, Familia y genero

ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	TOTAL
Decapoda			660
	Ocypodidae	Leptuca	
Decapoda			322
	Portunidae	Callinetes	
Decapoda			1 097
	Penaeidae	Litopenaeus	
Decápoda			1 494
	Penaeidae	Penaeus	
Sessilia			380
	Balanidae	Balanus	
TOTAL			3 953

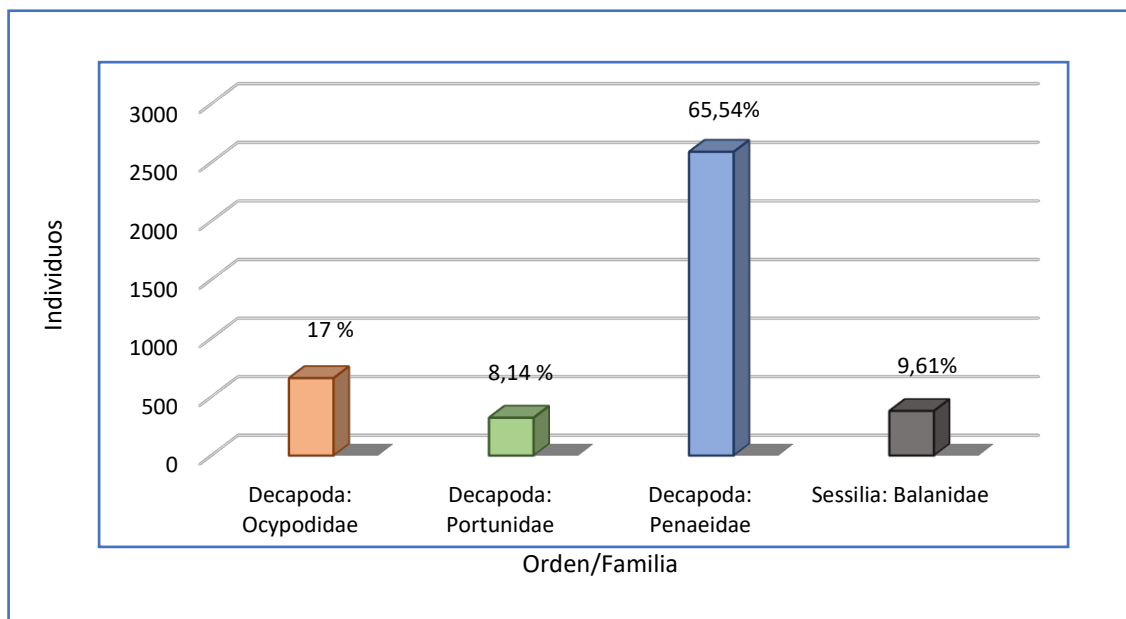


Gráfico 1. Porcentaje poblacional de macroinvertebrados encontrados en el río Atravezado.

En el gráfico uno, se muestra los dos órdenes encontrados donde el de mayor abundancia fue Decapoda con un total de 3 573 individuos, constituido por familias de la siguiente manera: Penaeidae con 65,54 % del género *Penaeus* y *Litopenaeus*,

Ocypodidae con un 17 %, Portuninae con 8,14%. El segundo orden y de menor abundancia fue Sessilia, con un total de 380 individuos, con una única familia encontrada Balanidae con un 9,61%.

8.1.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS ORGANISMOS TEMPORADA HÚMEDA VS TEMPORADA SECA

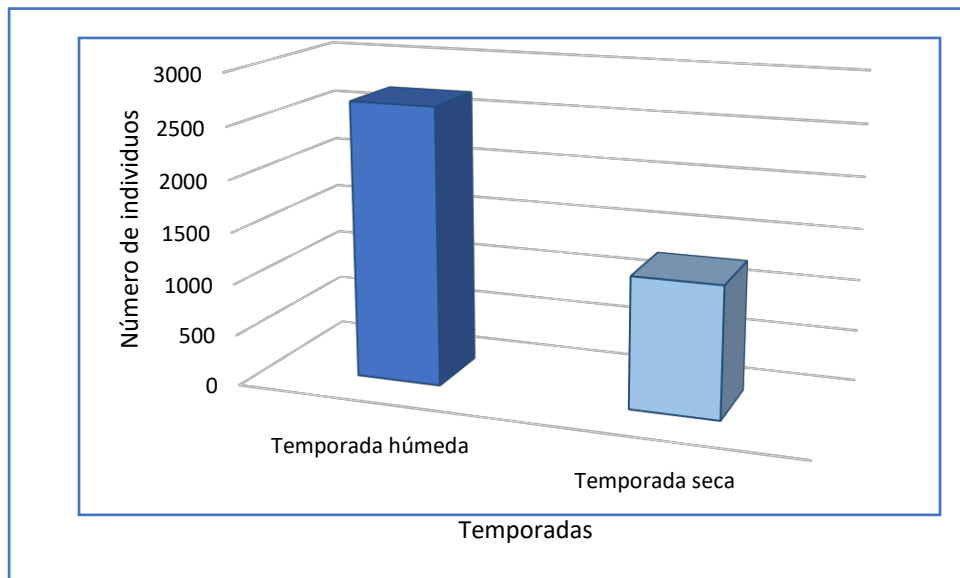


Gráfico 2. Distribución según la temporada húmeda y seca

El gráfico dos, muestra el número de organismos en dos diferentes temporadas: húmeda y seca. Se observa que durante la temporada húmeda hay una mayor cantidad de organismos (2 687) en comparación con la temporada seca (1 266). La variación en el número de organismos entre las dos temporadas puede ser influenciada por varios factores, según (Moreno, 2024).

- Disponibilidad de Recursos: durante la temporada húmeda, la disponibilidad de agua y nutrientes puede ser mayor, lo que favorece la proliferación de organismos.
- Condiciones Ambientales: la humedad y temperatura en la temporada húmeda pueden crear un entorno más favorable para la reproducción y supervivencia de los organismos.
- Ciclo de Vida: Algunas especies pueden tener ciclos de vida que coinciden con la temporada húmeda, resultando en un aumento en la población durante este período.

Estas diferencias subrayan la importancia de las condiciones climáticas en la distribución y abundancia de organismos en distintos ecosistemas.

8.2. CLASIFICACIÓN LOS ORGANISMOS MEDIANTE EL ÍNDICE DE MONITOREO BIOLÓGICO (BMWP)

Se presentan los valores de sensibilidad/tolerancia establecidos para el BMWP, en la siguiente tabla N° 4, elaborada a partir de una base de datos del río Atravezado, además de la ponderación con los valores asignados por otros estudios realizados

tanto nacional como a nivel de provincia, tales como informes técnicos y tesis universitarias, basadas en estudios sobre el estado ecológico de los ríos y sobre impactos ambientales en las cuencas que nacen de la cordillera Chongon-Colonche. La identificación se realizó a nivel taxonómico de familia, para agruparlas según su grado de tolerancia a contaminantes y designado por un valor numérico.




Tabla 4. Familias de macroinvertebrados con su respectivo indicador de calidad de agua.

Clase/Orden	FAMILIAS	BMWP
Malacostraca/Decapoda	Ocypodidae	4
Malacostraca/Decapoda	Portuninae	4
Malacostraca/Decapoda	Penaeidae	4
Thecostraca/Sessilia	Balanidae	6

(Leaño, Juan; Pérez, Deysi, 2020)

El cálculo del índice de BMWP se determinó mediante la suma de todas las puntuaciones de las familias presentes en el área de del sitio considerando el grado de tolerancia a la materia orgánica, los puntajes asignados se encuentran en un rango de 1 a 10; en donde 1 representa a las familias más tolerantes a la contaminación y 10 a las familias más sensibles, clasificando así en este estudio, tres niveles de contaminación con sus respectivos colores de identificación tabla N° 5.

Tabla 5. Calidad biológica del agua – Índice BMWP

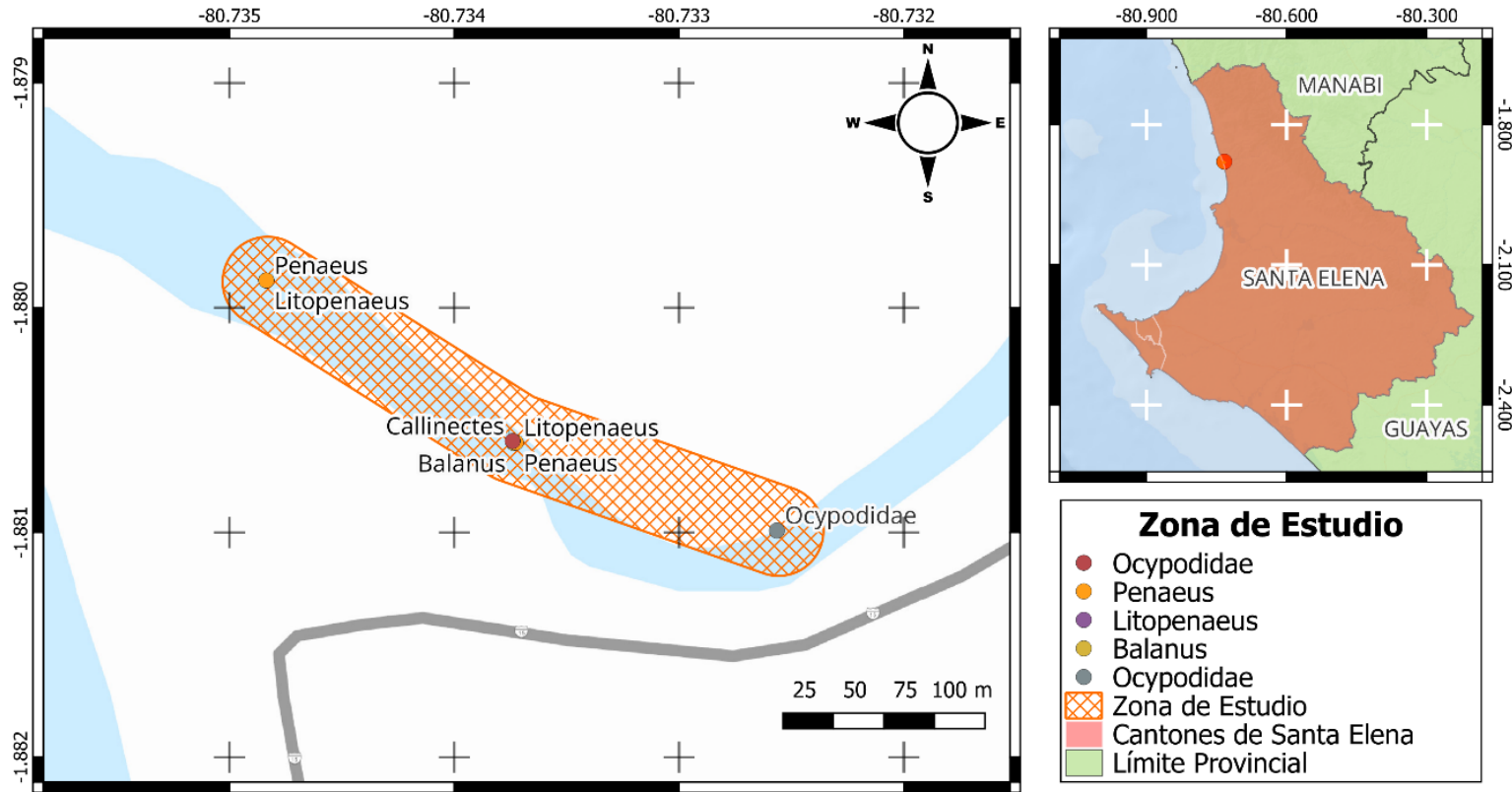
Estaciones	Rango	Significado	Calidad	Color para Gráficas o mapas
E1	<15	Aguas altamente contaminadas	Muy crítica	
E2	18	Aguas muy contaminadas	Baja calidad	
E3	<15	Aguas altamente contaminadas	Muy crítica	

8.3. Representación la calidad ecológica mediante herramienta de Sistema de Posicionamiento Geográfico.

A continuación, se representa un mapa detallado que exhibe la distribución de organismos en el área de estudio. Este mapa ha sido dividido en distintas zonas de investigación, y en cada una de ellas se encuentran representados los organismos presentes en cada estación.

Figura 17.

Representación geográfica de las comunidades de macroinvertebrados y el estado ecológico del río



Ocypodidae: Esta familia se encontró tanto en la zona alta como en la zona media.

En la zona alta los valores de salinidad fueron 22,09 ppt, temperatura 28,22 °C, pH 6,38 y oxígeno disuelto 6,37 mg/L respectivamente. En la zona media, los valores registrados fueron: salinidad 25,96 ppt, temperatura 28,21 °C, pH 5,56 y oxígeno disuelto 6,36 mg/L respectivamente.

Portunidae: Esta familia se localizó solo en la zona media, donde se registraron valores de salinidad de 25,96 ppt, temperatura de 28,21 °C, pH de 5,56 y oxígeno disuelto de 6,36 mg/L.

Penaeidae y Balanidae: Estas familias se encontraron en la zona baja y media.

En la zona baja, los valores de salinidad 26,2 ppt, temperatura 28,81 °C, pH 7,05 y oxígeno disuelto 6,04 mg/L respectivamente. En la zona media, los valores son de salinidad 25,96 ppt, temperatura 28,21 °C, pH 5,56 y oxígeno disuelto 6,36 mg/L respectivamente.

8.4. ÍNDICES ECOLÓGICOS PARA LOS MACROINVERTEBRADOS ENCONTRADOS EN LA TEMPORADA HÚMEDA Y SECA

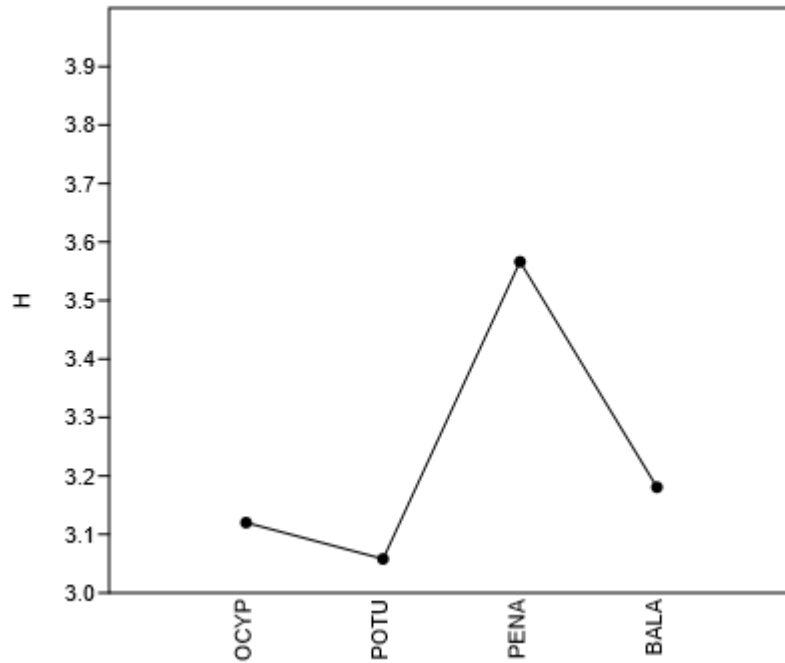


Gráfico 3. Tendencia del índice de Shannon para la temporada húmeda, por cada familia encontrada

Para la temporada húmeda, el índice de Shannon – Weaver presentó los siguientes valores:

Para la familia Ocypodidae de 3,1 el valor de H fue moderado.

Para la familia Portunidae presentó el valor de 3.05 y H es ligeramente inferior al de Ocypodidae.

Para la familia Penaeidae fue 3,6 siendo este el valor más alto y para la familia Balanidae 3,2 siendo el valor H superior a Ocypodidae y Portunidae, pero inferior a Penaeidae.

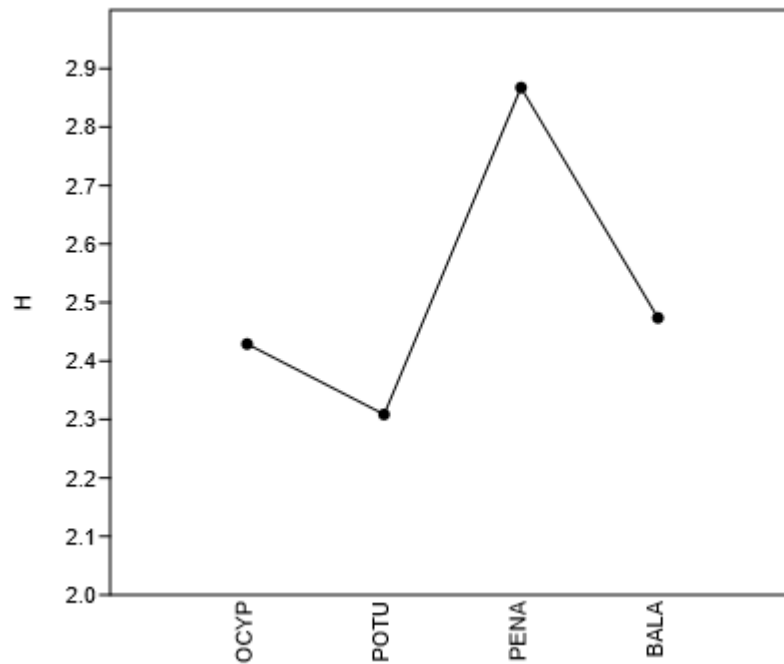


Gráfico 4. Tendencia del índice de Shannon para la temporada seca, por cada familia encontrada

Para la temporada seca, el índice de Shannon – Weaver presentó los siguientes valores:

Para la familia Ocypodidae de 2,45 el valor de H fue moderado, lo que indicó que la diversidad es aceptable, Portunidae 2,3 el valor H es menor a Ocypodidae.

Para la familia Penaeidae 2,85 siendo este el valor más alto. Esto sugiere una comunidad más balanceada y con mayor cantidad de especies y Balanidae (2,5) el

valor H es superior a Ocypodidae y Portunidae, pero inferior a Penaeidae lo que sugiere una diversidad intermedia.

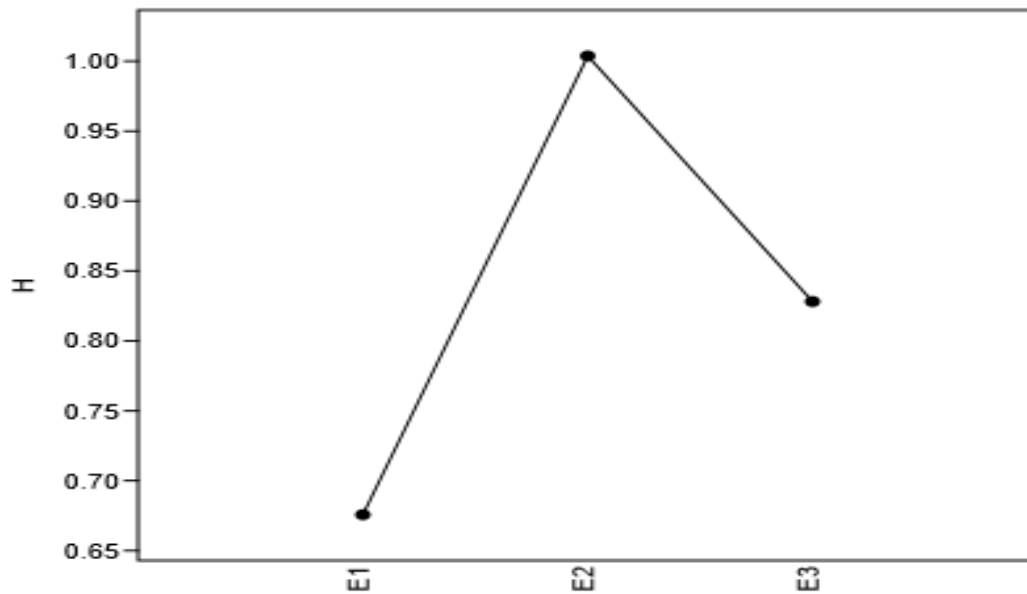


Gráfico 5. Tendencia del índice de Shannon para la temporada húmeda, por estación de muestreo

Para la temporada húmeda las estaciones de muestreo presentan una variabilidad en los valores de H, desde aproximadamente 0.65 hasta 1.00 el índice de diversidad de Shannon (H) se utiliza para medir la diversidad en una comunidad ecológica, este índice toma en cuenta tanto la riqueza como la equitatividad. Un mayor valor de H indica una mayor diversidad y equitatividad en la comunidad.

Donde para la estación uno el índice de Shannon – Weaver muestra un valor de 0.65, lo que sugiere que en esta estación hay una baja diversidad de macroinvertebrados.

Para la estación dos mostró un valor de 1.00 indicando una alta diversidad de macroinvertebrados, con una buena cantidad de especies y una distribución más equitativa de individuos entre estas especies. Por ultimo para la estación tres mostró un valor de 0.75 esto indica una diversidad intermedia. Aunque la biodiversidad no es tan baja como en en la estación uno, sigue siendo significativamente menor que en la estación dos.

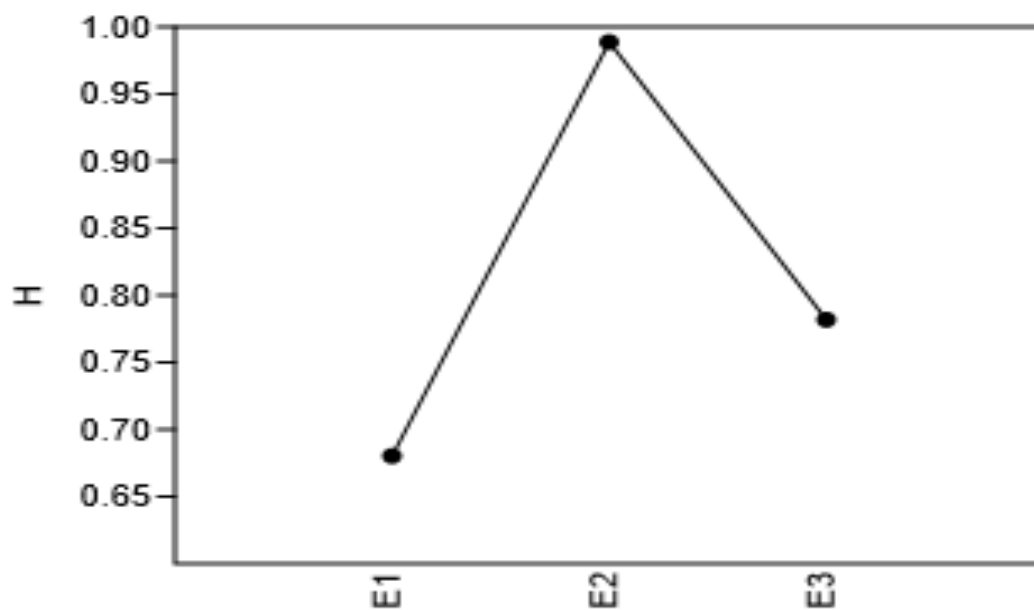


Gráfico 6. Tendencia del índice de Shannon para la temporada seca, por estación de muestreo

Para la temporada seca las estaciones de muestreo presentan una variabilidad en los valores de H, desde aproximadamente 0.65 hasta 1.00. Donde para la estación uno el índice de Shannon – Weaver muestra un valor de 0.65, lo que sugiere que en esta estación hay una baja diversidad de macroinvertebrados. Para la estación dos mostró un valor de 1.00 indicando una alta diversidad de macroinvertebrados, con

una buena cantidad de especies y una distribución más equitativa de individuos entre estas especies. Por último para la estación tres mostró un valor de 0.75 esto indica una diversidad intermedia. Aunque la biodiversidad no es tan baja como en la estación uno, sigue siendo significativamente menor que en la estación dos.

8.5. ÍNDICE DE VARIANZA

El análisis estadístico realizado mediante ANOVA revela resultados significativos y esclarecedores sobre las diferencias entre grupos evaluados. El valor de F obtenido es notablemente alto ($F= 95.02$), indicando que existe una variabilidad significativa entre los grupos en términos de la variable medida. Esta disparidad es respaldada por un valor de p extremadamente bajo ($p = 6,311E-18$), lo que sugiere que las diferencias observadas entre los grupos no son producto del azar, sino que son estadísticamente significativas.

El análisis de la varianza muestra que la varianza entre los grupos es de 0.0684296 mientras que la varianza del error fue mucho menor de 0.0131012 esto sugiere que la mayor parte de la variabilidad en los datos se debe a las diferencias entre los grupos, más que a la variabilidad dentro de los grupos.

El coeficiente Omega² calculado es de 0.7769 lo cual indica que una proporción significativa de la variabilidad total en la variable dependiente puede ser explicada por la variable independiente (grupo en este caso), reforzando la robustez de las diferencias encontradas. Además, se realizó un test de Welch debido a la presencia de varianzas desiguales entre los grupos, dando un valor de $F = 157.9$ y un p muy bajo ($p = 2.854E-15$), lo que confirma aún más la presencia de diferencias significativas entre los grupos.

El análisis Bayesiano proporciona un Factor de Bayes de $1.088E15$ lo que indica evidencia decisiva a favor de diferencias en las medias entre los grupos.

8.6. CORRELACIÓN DE PEARSON DE PARÁMETROS AMBIENTALES

Salinidad Vs pH

La correlación entre la Salinidad y el pH fue 0.0837 indicando una relación positiva muy baja entre estas dos variables. Esto sugiere que los cambios en la salinidad no están significativamente relacionados con los cambios en el pH. En otras palabras, la variación en los niveles de salinidad no afecta sustancialmente a los niveles de pH en el ambiente estudiado.

Salinidad Vs Temperatura

La correlación entre la salinidad y la temperatura fue 0.11233 también positiva y baja. Esta relación lineal muy débil indica que hay una ligera tendencia a que aumentos en la salinidad se asocien con aumentos en la temperatura, pero la relación es tan pequeña que podría no ser estadísticamente significativa. En general, los cambios en la salinidad tienen un efecto mínimo sobre la temperatura.

Salinidad Vs Oxígeno Disuelto

La correlación entre la Salinidad y el Oxígeno Disuelto fue 0.96283 lo que representa una correlación positiva muy alta. Este valor indica una fuerte relación lineal entre la salinidad y el oxígeno, sugiriendo que altos niveles de salinidad están fuertemente asociados con altos niveles de oxígeno. Esta relación implica que ambas variables están estrechamente vinculadas en el entorno analizado.

Temperatura Vs pH

La correlación entre la Temperatura y el pH fue 0.48712 mostrando una relación moderada y positiva. Esto sugiere una relación lineal razonablemente fuerte, donde aumentos en la temperatura tienden a asociarse con aumentos en el pH. Aunque esta relación no es muy fuerte, es tan significativa como para indicar que la temperatura influye mucho en el pH.

Temperatura Vs Oxígeno Disuelto

La correlación entre la Temperatura y el Oxígeno Disuelto fue 0.063422 lo que indica una relación positiva muy baja. Esta baja correlación sugiere que no hay una relación lineal significativa entre la temperatura y el oxígeno. En el área de estudio durante los muestreos realizados, los cambios en la temperatura no están relacionados de manera sustancial con los cambios en los niveles de oxígeno.

pH Vs Oxígeno

La correlación entre el pH y el oxígeno es 0.013867 lo que muestra una relación positiva extremadamente baja. Esto sugiere que no existe una relación lineal significativa entre el pH y el oxígeno. Los niveles de pH y oxígeno no están relacionados de manera importante, y cualquier cambio en una de estas variables no predice cambios en la otra.

8.7. Correlación entre los órdenes encontrados y los parámetros fisicoquímicos utilizados

Se realizó análisis de correlación entre los órdenes y cada uno de los parámetros establecidos en la investigación.

Orden decápoda vs variables ambientales

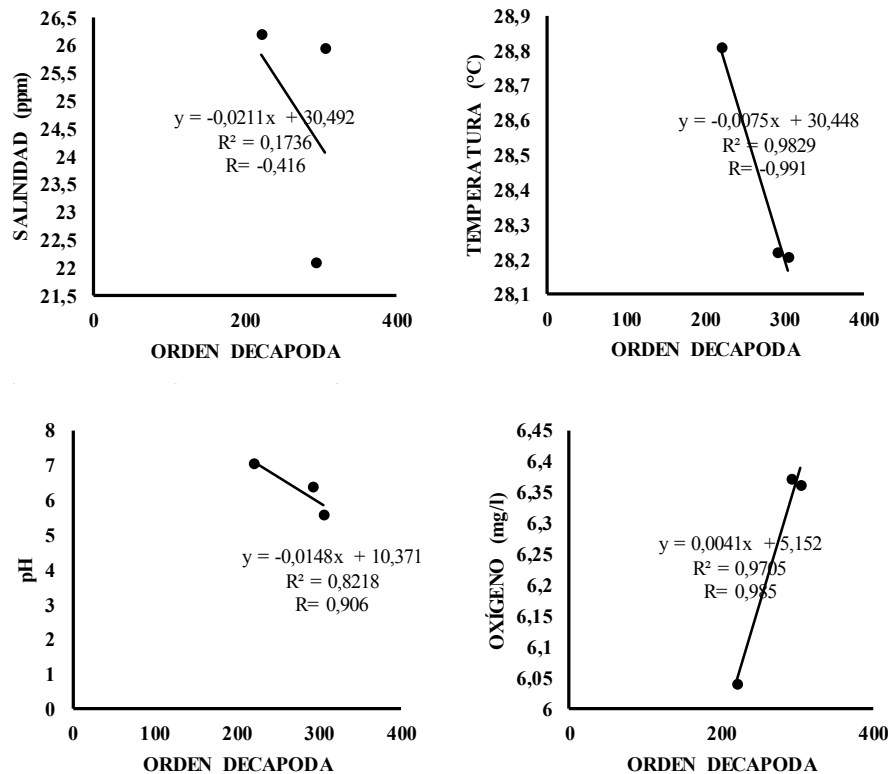


Gráfico 7. Correlación de Pearson entre las variables ambientales y el orden Decápoda. Salinidad (A), Temperatura (B), pH (C), Oxígeno (D).

- A) El análisis de la relación entre el número de especies de **Decapoda** y la **salinidad** muestra una correlación negativa moderada, donde a mayor salinidad, menor número de especies de Decapoda. La ecuación de regresión $y = -0,0211x + 30,492$ indica que, por cada unidad de aumento en la salinidad, el número de especies disminuye en promedio en 0,0211 unidades. El coeficiente de determinación $R^2 = 0,1736$ revela que solo el 17,36% de la variabilidad en el número de especies de Decapoda puede ser

explicada por la salinidad, sugiriendo una relación relativamente débil. Es probable que otros factores influyan significativamente en el número de especies de Decapoda.

B) El análisis muestra una relación muy fuerte y negativa entre la **temperatura y el número de especies de Decapoda**. La ecuación de regresión $y = -0,0075x + 30,448$ indica que, con cada unidad de aumento en la temperatura, el número de especies disminuye en promedio en 0,0075 unidades. El coeficiente de determinación $R^2 = 0,9829$ revela que el 98,29% de la variabilidad en el número de especies de Decapoda es explicada por la temperatura. El coeficiente de correlación $R = -0,991$ confirma una correlación negativa extremadamente fuerte. Así que la temperatura afecta significativamente el número de especies de Decapoda.

C) El análisis muestra una fuerte correlación negativa entre el **pH y el número de especies de Decapoda**. La ecuación de regresión $y = -0,0148x + 10,371$ indica que, con cada aumento en el pH, el número de especies disminuye en promedio en 0,0148 unidades. El coeficiente de determinación $R^2 = 0,8218$ revela que el 82,18% de la variabilidad en el número de especies de Decapoda es explicada por el pH. El coeficiente de correlación $R = -0,906$ confirma una correlación negativa muy fuerte. Por lo tanto, el pH afecta significativamente el número de especies de Decapoda.

D) El análisis muestra una relación muy fuerte y positiva entre el nivel de **oxígeno y el número de especies de Decapoda**. La ecuación de regresión $y=0,0041x+5,152$ indica que, con cada aumento en el nivel de oxígeno, el número de especies aumenta en promedio en 0,0041 unidades. El coeficiente de determinación $R^2=0,9705$ revela que el 97,05% de la variabilidad en el número de especies de Decapoda es explicada por el nivel de oxígeno. El coeficiente de correlación $R=0,985$ confirma una correlación positiva extremadamente fuerte. De tal forma, que el nivel de oxígeno afecta significativamente y de manera positiva el número de especies de Decapoda.

Orden Sessilia Vs variables ambientales

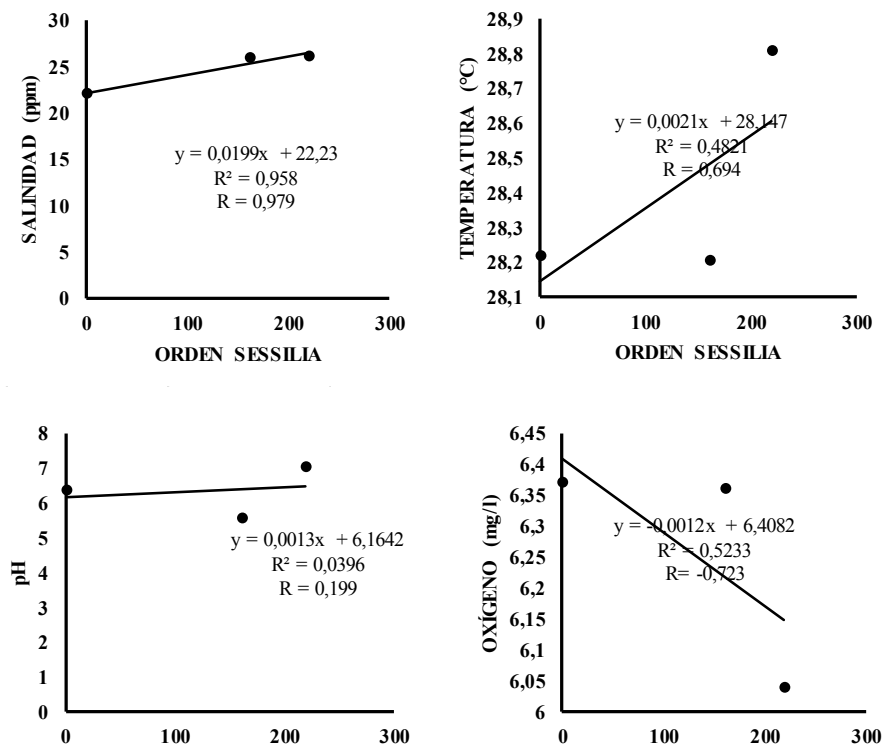


Gráfico 8. Correlación de Pearson entre las variables ambientales y el orden Sessilia. Salinidad (A), Temperatura (B), pH (C), Oxígeno (D).

A) El análisis revela una correlación muy fuerte y positiva entre **la salinidad y el número de especies del orden Sessilia**. Según la ecuación de regresión $y=0,0199x+22,23$ por cada unidad de aumento en la salinidad, el número de especies de Sessilia aumenta en promedio en 0,0199 unidades. El coeficiente de determinación $R^2=0,958$ indica que el 95,8% de la variabilidad en el número de especies de Sessilia puede ser explicada por la salinidad, destacando una relación extremadamente fuerte entre estas variables. El coeficiente de correlación $R=0,979$ confirma esta relación positiva y fuerte. De tal forma que, la salinidad es un factor crucial que influye significativamente en la diversidad de especies del orden Sessilia, mostrando que un aumento en la salinidad está asociado con un aumento consistente en el número de especies de este grupo.

B) El análisis muestra una correlación moderada positiva entre la **temperatura y el número de especies del orden Sessilia**. Según la ecuación de regresión $y=0,0021x+28,147$ por cada unidad de aumento en la temperatura, el número de especies de Sessilia aumenta en promedio en 0,0021 unidades. El coeficiente de determinación $R^2=0,4821$ revela que el 48,21% de la variabilidad en el número de especies de Sessilia puede ser explicada por la temperatura, indicando una relación moderada entre estas variables. El coeficiente de correlación $R=0,694$ confirma esta relación positiva moderada. Por lo tanto, la temperatura tiene un impacto significativo, pero no dominante en la diversidad de especies del orden Sessilia, mostrando que

un aumento en la temperatura está asociado con un incremento gradual en el número de especies de este grupo.

- C) El análisis de la relación entre el número de especies del orden **Sessilia** y el **pH** muestra una correlación muy débil y positiva. La ecuación de regresión $y=0,0013x+6,1642$ indica que, en promedio, por cada unidad de aumento en el pH, el número de especies de Sessilia aumenta en 0,0013 unidades lo que sugiere una tendencia positiva mínima. Sin embargo, el coeficiente de determinación $R^2=0,0396$ revela que solo el 3,96% de la variabilidad en el número de especies de Sessilia puede ser explicada por el pH, indicando una relación extremadamente débil entre estas variables. El coeficiente de correlación $R=0,199$ confirma esta débil correlación positiva, subrayando que el pH tiene un efecto marginal en la diversidad de especies de Sessilia. De tal forma que, aunque el pH muestra una relación positiva con el número de especies de Sessilia, otros factores probablemente tienen una influencia mucho mayor en la determinación de la presencia de este grupo.
- D) El análisis revela una correlación moderada y negativa entre el número de especies del orden Sessilia y el nivel de oxígeno. La ecuación de regresión $y=-0,0012x+6,4082$ indica que, en promedio, por cada unidad de aumento en el nivel de oxígeno, el número de especies de Sessilia disminuye en 0,0012 unidades. El coeficiente de determinación $R^2=0,5233$ muestra que el 52,33% de la variabilidad en el número de especies de Sessilia puede ser

explicada por la variabilidad en el nivel de oxígeno, destacando una relación moderada entre estas variables. El coeficiente de correlación $R=-0,723$ confirma esta correlación negativa moderada, indicando que niveles más altos de oxígeno están asociados con una menor diversidad de especies de Sessilia de manera consistente. Por lo tanto, el nivel de oxígeno parece ser un factor significativo que influye en la diversidad de especies del orden Sessilia.

9. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. DISCUSIÓN

Chicaiza & Gallo (2021), mencionan en su estudio realizado para la determinación de la calidad de agua, que en los últimos años el uso de macroinvertebrados acuáticos se ha convertido en una herramienta útil con mayor frecuencia en estudios relacionados con la contaminación principalmente en el recurso hídrico, pues son excelentes bioindicadores ya que la presencia o ausencia de estos organismos permite determinar la calidad y estado que posee el río.

Durante los tres meses de muestreos que fueron realizados en el río Atravezado, se identificaron un total de 3 953 individuos, representados en dos órdenes (Decápoda y Sessilia) y, cuatro familias (Ocypodidae, Portunidae, Penaeidae y Balanidae), registrándose en la temporada húmeda (marzo y abril), un total de 2 687 individuos y en la temporada seca (mayo) 1 266 individuos, mientras que Rodríguez et.,al, (2019), registro en su estudio 6 583 macroinvertebrados acuáticos pertenecientes a dos filos, tres clases, 13 órdenes y 54 familia. En el periodo seco registró 2 914 individuos, y en la época húmeda se registraron 3 669. En cambio, Carvajal (2020), registro un total de 309 individuos distribuidos en seis órdenes tales como: Odonata, Ephemeroptera, Díptera, Hemíptera, Decápoda, Lepidóptera, al igual que el presente estudio también se registraron la presencia del orden Decápoda. En cuanto al aspecto temporal, se registró una reducción en el índice de Shannon-Weaver, en

la diversidad de familias y en la cantidad de individuos durante el período seco. Igualmente, se observó una disminución en el índice de Shannon-Weaver, en la riqueza de familias y en el número de individuos durante el periodo seco. Durante este periodo, la diversidad disminuyó notablemente en la estación uno replica uno, perteneciente al muestro del segundo mes (abril), marcando (0.65), en comparación con Rodríguez et., al, (2019), donde reporto una disminución de organismos en el periodo húmedo.

Comparando otro trabajo investigativo de los autores Gonzabay & Reyes (2023), realizado en la misma provincia y en comunidades cercanas, con el presente trabajo de titulación, existe una variación con respecto a la abundancia en el orden predominante Ephemeroptera, por lo que sus resultados con respecto a la calidad de agua son de tipo aguas limpias y ligeramente contaminadas, no siendo así, que el río Atravezado el orden que más predomino fue el orden Decápoda reflejando agua mala y muy contaminada.

En cuanto, a la distribución de los macroinvertebrados y su relación con los parámetros ambientales se comparó el estudio realizado en el golfo de Guayaquil Zambrano & Meiners (2018), donde se examinó la distribución de crustáceos en diferentes puntos del Golfo de Guayaquil y su relación con parámetros ambientales como salinidad, temperatura, pH y oxígeno. Los resultados mostraron que Ocypodidae se encontró en todas las estaciones muestreadas, lo que sugiere una

tolerancia a una amplia gama de condiciones ambientales, teniendo una similitud con los registros de este estudio

9.2. CONCLUSIONES

Al analizar las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, para la determinación del estado ecológico del río Atravezado, Se observó una mayor cantidad de macroinvertebrados durante la temporada húmeda en comparación con la temporada seca. Se establecieron tres niveles de contaminación basados en el índice de Monitoreo Biológico (BMWP) para clasificar los organismos según su tolerancia a contaminantes. El mapa mostró la distribución de los macroinvertebrados en diferentes zonas de investigación, lo que permitió visualizar la variación espacial de los organismos en el río Atravezado.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la relación entre las variables independiente y dependiente, los resultados evidencian que la composición y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el río Atravezado, reflejan la calidad del agua y la salud ecológica del ecosistema fluvial porque las familias encontradas tales como: la Familia Ocypodidae que fue encontrada en zonas alta y media donde soportan rangos amplios de condiciones ambientales, incluida una variación en la salinidad y el pH Por otra parte, la familia Portunidae mostró preferencias en términos de salinidad y pH, prefiriendo valores específicos que se encontraron en la zona media. Por último, aunque las condiciones ambientales difieren entre la zona baja y media, las familias Penaeidae y Balanidae toleran tantas condiciones altas de salinidad y pH ya que se encuentran en ambos puntos.

La comunidad de macroinvertebrados del río Atravezado está dominada por el orden Decápoda, que representa el 90.37% de los individuos recolectados, con la familia Penaeidae siendo la más abundante (65.54%) mostró la mayor diversidad y equitatividad entre las familias, lo que sugirió una comunidad más balanceada y con mayor cantidad de especies. La segunda familia más abundante es Ocypodidae (17%) indicó que la diversidad es aceptable, pero no muy alta, seguida de Portuninae (8.14%) presentó una diversidad ligeramente menor o una distribución de abundancias menos equitativa. El orden Sessilia es mucho menos abundante, representando solo el 9.61% del total con una única familia, Balanidae mostró una diversidad intermedia.

El gráfico de tendencia del índice de Shannon para la temporada húmeda por cada punto de muestreo, mostró un patrón cíclico, con múltiples picos y valles. Esto sugiere que las condiciones de diversidad en los puntos de muestreo pueden estar influenciadas por factores repetitivos o cíclicos. Al observar los puntos de muestreo específicos (A1M1, A1M2), algunos muestran consistencia en los valores de H mientras que otros varían significativamente. La variabilidad dentro de los grupos de muestreo puede indicar diferencias en las condiciones ambientales o en la composición de las comunidades de macroinvertebrados.

La alternancia entre picos altos y valles bajos sugiere la presencia de factores ambientales o ecológicos que afectan la diversidad de manera regular. Los puntos

de muestreo dentro de ciertos grupos (A1M1, A1M2) muestran valores relativamente estables, mientras que otros presentan variaciones más pronunciadas.

El gráfico de tendencia del índice de Shannon para la temporada seca por cada punto de muestreo mostró un patrón cíclico, con múltiples picos y valles, sugiriendo la influencia de factores estacionales o ambientales específicos de la temporada seca. Algunos puntos de muestreo (por ejemplo, A1Z5, A2Z5) muestran valores relativamente estables, mientras que otros (por ejemplo, A3Z5) presentan variaciones más pronunciadas. La variabilidad dentro de los grupos de muestreo puede indicar diferencias en las condiciones ambientales o en la composición de las comunidades de macroinvertebrados.

La evaluación mediante el índice BMWP revela que la calidad del agua en las diferentes estaciones del río Atravezado varía considerablemente. Las estaciones E1 y E3 indican "Aguas muy contaminadas" y "Aguas frecuentemente contaminadas" respectivamente, mientras que E2 presenta "Aguas contaminadas". Estos resultados indican que la mayoría de las áreas del río tienen baja calidad de agua, con niveles significativos de contaminación que afectan la ecología local.

La temporada húmeda reportó mayor abundancia de macroinvertebrados con un registro de 2 687 individuos, en comparación con la temporada seca que presentó 1 266 individuos. Factores como la disponibilidad de recursos, condiciones

ambientales favorables y ciclos de vida específicos durante la temporada húmeda son factores que influyen en esta diferencia; esto evidencia la influencia significativa de las condiciones climáticas en la distribución y abundancia de organismos acuáticos. Por otra parte, la familia Portunidae mostró preferencias en términos de salinidad y pH, prefiriendo valores específicos que se encontraron en la zona media. Por último, aunque las condiciones ambientales difieren entre la zona baja y media, las familias Penaeidae y Balanidae toleran tantas condiciones altas de salinidad y pH ya que se encuentran en ambos puntos.

Los análisis de correlación reportaron que la salinidad, temperatura, pH y oxígeno tienen efectos significativos en la diversidad de macroinvertebrados. Para Decápoda, la salinidad y el pH tienen una correlación negativa moderada, mientras que la temperatura tiene una correlación negativa muy fuerte y el oxígeno disuelto una correlación positiva muy fuerte. Para Sessilia, la salinidad muestra una correlación positiva muy fuerte, mientras que la temperatura y el oxígeno tienen correlaciones moderadas, positiva y negativa respectivamente. Estos resultados evidencian que los parámetros fisicoquímicos del agua juegan un papel crucial en la distribución y abundancia de macroinvertebrados en el río Atravezado.

9.3. RECOMENDACIONES

- Implementar un programa de monitoreo continuo que abarque ambas temporadas (seca y húmeda), para obtener datos más completos y precisos sobre la población de macroinvertebrados. En este programa incluir mediciones regulares de parámetros fisicoquímicos como salinidad, temperatura, pH y oxígeno disuelto.
- Utilizar los resultados del BMWP para orientar acciones de gestión de la calidad del agua y de esta forma se puede intervenir en los puntos con mayor contaminación, para reducir las fuentes de polución y restaurar la calidad ecológica del sitio. Por lo cual, se podría priorizar la implementación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales y control de contaminación en estas áreas.
- Establecer un plan de manejo ambiental que controle y optimice los parámetros físicos y químicos del agua para mantener un ambiente favorable para la diversidad de macroinvertebrados.
- Continuar utilizando y adaptando las herramientas metodológicas aplicadas en este trabajo de titulación, para realizar un seguimiento detallado visual de la biodiversidad y las condiciones del agua en el río Atravezado; esto

facilitará la identificación de áreas críticas y la implementación de medidas específicas de conservación y manejo.

- Desarrollar programas educativos y de concienciación dirigidos a las comunidades cercanas al río, enfocándose en la importancia de mantener la calidad del agua y proteger los ecosistemas acuáticos para promover prácticas sostenibles y la reducción de contaminantes a través de talleres, campañas y colaboraciones con instituciones locales.
- Fomentar investigaciones futuras y colaboraciones con universidades, centros de investigación y organismos gubernamentales; estas investigaciones deben enfocarse en la identificación de nuevas especies, análisis detallados de los ciclos de vida de los macroinvertebrados y la evaluación del impacto de cambios a nivel ambiental y antropogénicos en estos ecosistemas.
- Utilizar un red tipo D con un hojo de malla de 200 micras para así poder registrar e identificar insectos los cuales serán de utilidad para establecer estado en el que se encuentra el río.

10.BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, Z. (2019). Métodos para medir la biodiversidad. Obtenido de: https://www.academia.edu/43784264/M%C3%89TODOS_PARA_MEDIR_LA_BIODIVERSIDAD.
- Allan, D. (1995). Stream Ecology, Estructure and Funrion of Running Waters. Edit. Chatman & Hall, 388.
- Arango, L. F. (2005). Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. nstituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Bogotá.
- Arias, A. (2020). Coleópteros: qué son, características, tipos y ejemplos. Obtenido de: <https://www.ecologiaverde.com/coleopteros-que-son-caracteristicas-tipos-y-ejemplos-2968.html>.
- Baez, A. (2015). Diversidad de macro invertebrados asociados a los actocolares en el islote el Pelado" Bajo la pared" Ayangue-Ecuador . (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015.).
- Barber-James, H. M., Gattolliat, J.-L., & Hubbard, M. D. (2008). Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater. Freshwater Animal Diversity Assessment, 339-350.
- Bautista, S. (2020). Patrones de diversidad alfa y bera para quince complejos de Páramo de Colombia. Obtenido de: <https://repository.humboldt.org.co/server/api/core/bitstreams/7dedd806->

d9c1-42ed-b7cc-

81d5b100832c/content#:~:text=El%20%C3%ADndice%20de%20Simpson%20es,proporcionales%20(Magurran%2C%201988).

Bravo, L., & Restrepo, G. (2021). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en dos ecosistemas lóticos en El Doncello, Caquetá. Obtenido de: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/5432/4914>.

Buenaño, M., Vásquez, C., Zurita, H., Parra, G., & Pérez, R. (2018). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en la cuenca del Pachanlica, Provincia de Tungurahua, Ecuador.

Cadena, L. (2012). Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25.000. Obtenido de: https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/santa_elena/mt_santa_elena_clima_e_hidrologia.pdf.

Caicedo, J. (2020). Evaluación espacial de la comunidad de macroinvertebrados como herramienta de medición de calidad del agua del estero San Enrique, Durán. Tesis de grado: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CAICEDO%20CORTEZ%20JACKSON%20ERIK.pdf>.

Campos, A., Banda, R., & Sinichenko, K. (2016). Distribución per cápita del agua en el Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*.

Carrera, C., & Fierro, K. (2001). Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua.

Castillo, R., & Huamantínco, A. (2020). Variación espacial de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la zona litoral del humedal costero Santa Rosa, Lima, Perú. Scielo: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442020000100050.

- Córdoba, G., Rincón, K., Donato, J., & González, J. (2020). Variación espacio-temporal de macroinvertebrados acuáticos en la Lindosa, Guayana colombiana. Scielo: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442020000200452.
- Cotle, H., Galindo, A., González, I., Pineda, R., & Ríos, E. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Obtenido de: https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/Cuencas_final_2014.pdf.
- Díaz, E. (2023). Índices de diversidad. Obtenido de: <https://es.slideshare.net/slideshow/ndices-de-diversidad-ecologappt/264850834>.
- Diez, A. (2016). Descripción de la larva *Paraclis azollae* Berg, 1877 (Lepidóptera: Pyralidae) y aportes a la diversidad de lepidópteros acuáticos en el Uruguay. Tesis de grado: Facultad de ciencias, Universidad de la República.
- Durán, L. G. (2016). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos.
- Dutan, B. (2021). Evaluación del estado ecológico de las cuencas de los ríos Ambato y Chanbo, mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos. Tesis de grado: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17014/1/23T00887.pdf>.
- Elosegi, A. (2009). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVa.
- Enriquez, E. (2018). Evaluación integral del estado ecológico de los ecosistemas fluviales en la zona intertropical americana.
- Escandón, C., & Cáceres, M. (2022). Análisis de la calidad del agua mediante parámetros físicos químicos y macroinvertebrados bentónicos, presente en

la microcuenca del río San Francisco-Gualaceo. Tesis de grado: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

Escobar, A., & Montoya, Y. (2019). Los macroinvertebrados acuáticos y la calidad biológica del agua en una quebrada andina, Antioquia-Colombia. *Revista Politécnica*.

Esteves, F. d. (1998). *Fundamentos de limnología*. Interciência. 2ª Ed. – Rio de Janeiro : Interciência.

Euceda, M. (2020). Los Macroinvertebrados y su Importancia en los Cuerpos de Agua. Obtenido de: <https://hondurasneotropical.wixsite.com/hnneotropical/post/los-macroinvertebrados-y-su-importancia-en-los-cuerpos-de-agua>.

Fernández, R. L. (2015). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de información ambiental*.

Flores, C., Angel, E. D., Frías, D., & Gómez, A. (2022). Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. Obtenido de: <https://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1670>.

Fuentes, F., & Massol, A. (2002). *Manual de laboratorios: Ecología de microorganismos*. Obtenido de: <https://www.um.es/documents/4874468/18084291/p1-intro.pdf/36b7a54d-68c2-4653-ad05-45cc9ae0d951>.

Fundación Santuario de la Naturaleza. (2024). Macroinvertebrados de agua dulce del Parque Katalapi. Obtenido de: <https://www.parquekatalapi.cl/macroinvertebrados-del-parque-katalapi.html>.

Galarza, M., Navarro, M., & Zúñiga, K. (2009). Propuesta de creación de un Ecolodge & SPA, en la Comuna Libertador Bolívar del Cantón Santa Elena. Tesis de grado: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

- García, J., Sarmiento, L., Salvador, M., & Porras, L. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. Revisión corta.
- Gastezzi, P., & Rincón, J. (2023). Composición de los macroinvertebrados según la calidad del agua en turberas de altura, Costa Rica. Scielo: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442023000100053.
- Giacometti, J. C., & Bersosa, F. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi . Boletín Técnico, Serie Zoológica, 6(2).
- Gil, J. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del Río Garagoa .
- Gómez, N., Domínguez, E., Rodrigues, A., & Fernández, H. (2020). Los indicadores biológicos.
- Gonzabay, A., & Reyes, A. (2023). MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES DEL ESTADO BIOLÓGICO DE LAS AGUAS DEL RÍO DE SAN VICENTE DE LOJA, OLÓN. Obtenido de: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9646/1/UPSE-TBI-2023-0031.pdf>.
- González, C., Vallarino, A., Pérez, J., & Low, A. (2014). Bioindicadores guardianes de nuestro futuro ambiental.
- Grané, A. (2022). Análisis del comportamiento de índices de biodiversidad en distintos estados de estructura y complejidad de sistemas biológicos a partir de experimentos con simulación . Obtenido de: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/125717/1/ANALISIS_DEL_COMPORTAMIENTO_DE_INDICES_DE_BIODIVERSID_De_Miguel_Grane_Arturo.pdf.

- Grustán, D. (2015). Orden Megaloptera. Revista IDEA-SEA. Obtenido de: http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_57.pdf.
- Guerra, D. (2017). Alteración física y fisiológica en un macroinvertebrados acuático (Género Smicridea) como efectos de cambios en la salinidad. . Tesis de grado: Universidad UDLA.
- Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2010). Plecóptero. San José, Costa Rica.: Revista de Biología Tropical.
- Hernández, N. (2018). El río y su territorio. Espacio de libertad: un concepto de gestión. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/journal/721/72157132006/72157132006.pdf>.
- Hernández, N. (2018). El río y su territorio. Espacio de libertad: un concepto de gestión.
- Hoback, W., & Stanley, D. (2001). Insects in hypoxia. *Journal of insect physiology*.
- Jara, C. (2002). Evaluación preliminar para la definición de insectos bioindicadores de la calidad del agua de tres ríos de la zona semiarida de Chile. Universidad de Chile.
- Jimeno, A., Martínez, I., Rivera, M., & Mendoza, E. (2020). Índice de equidad: Índice de Shannon-Weaver, Índice de Pielou, Índice de Brillouin. Obtenido de: <https://es.scribd.com/document/447467009/INCIDE-ECOLOGICO-docx>.
- Karr, J. R. (2006). Seven Foundations of Biological Monitoring and Assessment. *Biologia Ambientale*, 20(2), 7-18.
- Lara, M. (2020). Bioindicadores de la contaminación. revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide, (39), 8.
- Larrea, J., Romeu, B., Lugo, D., & Rojas, M. M. (2022). Aspectos fundamentales del monitoreo de calidad de las aguas: el río almendares como caso de

- estudio. Obtenido de:
<https://www.redalyc.org/journal/1812/181271968004/html/>.
- Lasso. (2006). Evaluación rápida de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos en la confluencia de los ríos Orinoco y Ventuari, estado Amazonas (Venezuela). Conservation International.
- Lazo, B., & Mejía, K. (2023). Contaminación de las aguas del río Sensuapán . Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador.
- Leaño, J., & Pérez, D. (2020). Determinación de la Calidad del Agua mediante el índice BMWP/BOL (bioindicadores ecológicos) del Rio Trancas, Municipio de Entre Ríos - Tarija. Scielo: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892020000100007.
- Leaño, Juan; Pérez, Deysi. (2020). Determinación de la Calidad del Agua mediante el índice BMWP/BOL (bioindicadores ecológicos) del Rio Trancas, Municipio de Entre Ríos - Tarija.
- León, N. (2020). Análisis de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad hídrica y la influencia del uso de suelo del estero el Barro, Los Ríos, Ecuador.
- Lopez, D. (2018). Material educativo para la enseñanza de las adaptaciones de los insectos acuáticos a partir del juego propiciando el reconocimiento de las dinámicas de los ecosistemas acuáticos.
- López, S., Huertas, D., Jaramillo, Á., Calderón, D., & Díaz, J. (2019). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia). Obtenido de: <https://www.redalyc.org/journal/852/85263724007/html/#B31>.
- Machado, V., Granda, R., & Endara, A. (2018). Análisis de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos para evaluar la calidad del agua del Río Sardinas, Chocó Andino Ecuatoriano. Enfoque UTE.

- Márquez, A. (2021). Partes del río y sus características. *Curiosidades de la naturaleza*.
- Martínez, J. F., Correcher, E., Piñón, A., Martínez, M. A., & Pujante, A. M. (2004). Estudio del estado ecológico de los ríos de la cuenca hidrográfica del Júcar (España) mediante el índice BMWP'. *Limnetica*, 23(3-4), 331-345.
- Matus, K., Alemán, N., & Flores, J. (2020). Comunidades de macroinvertebrados: bio-indicadores de la calidad del agua en el Territorio Indígena Rama-Kriol. *Ciencia e Interculturalidad*.
- Mira, S., Jabs, M., Acerenza, S., & Blanco, J. (2020). Macroinvertebrados acuáticos y su aplicación en la determinación de calidad de agua PAIE 2020. Obtenido de: <https://www.estudiantes.csic.edu.uy/2020/07/30/macroinvertebrados-acuaticos-y-su-aplicacion-en-la-determinacion-de-calidad-de-agua/>.
- Mora, M., & Tamay, A. (2022). Determinación del índice de calidad de agua mediante el monitoreo de macroinvertebrados, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el río Sinincay, Cuenca-Ecuador. tesis de grado: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.
- Morell, A., Bergues, P., López, P., & Almarales, A. (2020). Estado ecológico del río San Juan en Santiago de Cuba: período 2013-2015. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/journal/1813/181365138003/html/>.
- Moreno, E. (2024). Influencia de la temperatura, humedad, disponibilidad de recursos en un organismo. Obtenido de: <https://es.slideshare.net/slideshow/influencia-de-la-temperatura-y-humedad-en-un-organismopptx/267117218>.
- Mosquera, D., & Peña, E. (2021). Evaluación de la calidad del agua de un río tropical usando índices bióticos, físicoquímicos y de diversidad. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*.
- Munné, A., & Prat, N. (2009). Use of macroinvertebrate-based multimetric indices for water quality evaluation in Spanish Mediterranean rivers: an

- intercalibration approach with the IBMWP index. *Hydrobiologia*, 628, 203-225.
- Muños, C., & Bonilla, M. (2023). Sequía ecológica: el impacto de la falta de agua en los ecosistemas. Obtenido de: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/en/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/2037-sequia-ecologica-el-impacto-de-la-falta-de-agua-en-los-ecosistemas>.
- Nélida Hernández. (2018). El río y su territorio. Espacio de libertad: un concepto de gestión. Terra nueva etapa.
- Nossa, M., & Sánchez, E. (2023). Deriva de macrofauna de macroinvertebrados acuáticos y sus hábitats acuáticos y su relación con la materia orgánica en el río Tota (Boyacá, Colombia) . Universidad de La Salle: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1201&context=biologia>.
- Ortiz, J., & Ortiz, A. (2021). ¿Pearson y Spearman, coeficientes intercambiables? Universidad Santo Tomas.
- Ortiz, L. L. (2005). La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogotá. *Umbral Científico*, (7), 5-11.
- Osejos, M., Merino, M., Merino, M., & Solis, J. (2020). Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua de la parte céntrica del río Jipijapa - Ecuador. Obtenido de: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/962>.
- Piguave, L. (2017). La marca turística de la Comuna Libertador Bolívar y su incidencia en el posicionamiento en el mercado. Tesis de grado: Repositorio UPSE.
- Quimi, J. (2023). Macroinvertebrados de la zona intermareal rocosa de Capaes y Punta Blanca, provincia de Santa Elena. *Acta Oceanográfica del Pacífico*.

- Ramírez, A., Paulson, D. R., & Esquive, C. (2000). Odonata of Costa Rica: Diversity and checklist of species. Scielo.
- Ríos, M., López, A., & Gil, I. (2023). Características del hábitat que regulan la estructura de las comunidades de macroinvertebrados en ríos tropicales de montaña (Antioquía, Colombia). *Revista de Biología Tropical*.
- Rivera, G. (2019). Diseño de dique para embalsamiento de agua dulce en la comuna Libertador Bolívar, provincia de Santa Elena. Escuela Superior Politécnica del Litoral:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/48379/1/D-CD70374.pdf>.
- Rodríguez, G., Ménde, P., Cazorla, X., & Alvarado, R. (2022). Evaluación de la calidad del agua del río Upano, tramo de la ciudad de Macas mediante el análisis de macroinvertebrados . *Polo del Conocimiento* (edición núm.68) Vol.7, No3.
- Rodriguez, M. (2020). Los rasgos biológicos y ecológicos de macroinvertebrados de arroyos pampeanos frente a diferentes características del hábitat y al uso territorial de la cuenca. Obtenido de:
<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/120771>.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Medellín.: Universidad de Medellín.
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- Roldán, G., Bohórquez, A., Cataño, R., & Ardila, J. I. (2000). Estudio limnológico del embalse de El Guavio (Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- Roldán, Gabriel. (1988). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Presencia, Bogotá, Colombia.

- Romero, I., & Zúñiga, T. (2017). Evaluación de la calidad ecológica del río Ushimana utilizando comunidades de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. Tesis de grado: Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18959/1/CD-8356.pdf>.
- Rusique, L., Moyano, A., & Motoya, G. (2022). Conectividad entre los Andes y la Amazonía, un análisis de la configuración del paisaje del departamento de Caquetá, Colombia. *Perspectiva Geográfica*.
- Ruso, Y., Ossa, J. D., Fernández, Y., Ferrero, L., Martínez, E., & Sánchez, J. (2017). Uso de bioindicadores de comunidades bentónicas como herramientas para la evaluación del impacto medioambiental generado en el medio marino . Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada.
- Sánchez, M. (2024). Relevancia ecológica de los ríos temporales para la fauna terrestre. Obtenido de: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/2694/1761>.
- Santillán, S., & Guerrero, A. (2018). Macroinvertebrados y fitoplancton como bioindicadores de contaminación en la cuenca del río Chicama, Perú. Obtenido de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n4/0379-3982-tem-31-04-97.pdf>.
- Satos, J. (2017). Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en cinco ríos del canton Valencia (Los Ríos-Ecuador) y el uso de índices biológicos para estimar la calidad de agua.
- Shuriana, A., & Seminario, L. (2022). Influencia de la calidad de agua sobre la diversidad de macroinvertebrados marinos de las playas Punta Barandúa, Mansito, Punta Carnero y la Diablica. Provincia de Santa Elena- Ecuador mediate la metodología ICA. Tesis de grado UPSE: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8835/4/UPSE-TBI-2022-0030.pdf>.

- Solano, E. (2021). Estructura y composición del bosque remanente del área de influencia del humedal Abras de Mantequilla ubicado en el cantón Vinces, provincia de Los Ríos. Obtenido de: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/4cce76c8-7d67-40d2-94f9-a9072e0ea3de/content>.
- Solórzano, I., & Velásquez, C. (2019). Calidad de agua mediante macroinvertebrados acuáticos en el río Chone. Tesis de grado: <https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/998/1/TTMA44.pdf>.
- Springer, M. (2008). Aquatic biodiversity of Costa Rica: Insecta. State of knowledge. *Rev. Biol. Trop.*
- Tercedor, J. A. (1966). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. In IV Simposio sobre el Agua en Andalucía: Almería.
- Trejos, N. (2022). Presentación BMWP. Obtenido de: <https://es.slideshare.net/slideshow/presentacin-bmwppdf/254929127>.
- Tuyle, S. V., Dix, M., & Polo, J. G. (2015). Evaluación del efecto de la calidad del agua sobre la distribución espacio-temporal de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad ecológica de dos ríos de la Cuenca del Lago Atitlán, Sololá. PROYECTO FODECYT.
- Valenciana, G. (2023). Orden Mesogastropoda . Obtenido de: <https://parquesnaturales.gva.es/es/web/acuarium-virtual-ifac/orden-mesogastropoda>.
- Valle, G., Echemendía, D., & León, J. (2020). La conservación de la biodiversidad desde las prácticas de campo de la carrera Biología. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/journal/4757/475764265008/html/>.
- Valverde, N. L., Caicedo, O. Q., & N J Ramírez, A. (2009). Valverde Legarda, N. L., Caicedo Análisis de calidad de agua de la quebrada La Ayurá con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos.

- Vivarelli, L. (2024). Bioindicadores: que son y para que sirven. Obtenido de : <https://blog.3bee.com/es/bioindicadores-que-son-y-para-que-sirven/>.
- Volonté, A., Campo, A. M., & Gil, V. (2015). Estado ecológico de la cuenca baja del arroyo San Bernardo, Sierra de la Ventana, Argentina. Universidad Nacional del Sur, Argentina.
- Yépez, K. (2021). Influencia de la agricultura en la estructura de comunidades de macroinvertebrados acuáticos del estero el Limón, Cantón Pangua, Provincia de Cotopaxi. Proyecto de titulación: Universidad Técnica Estatal de Quevedo: obtenido de: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8ba28e4b-3bf5-4e07-8902-ad945ef8e8c7/content>.
- Zamora, J. R. (2009). Parámetros físicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. Pensamiento Actual.
- Zarsa, L. (2024). ¿Cuáles son las características físicas y químicas del agua? Obtenido de: <https://www.iagua.es/respuestas/cuales-son-caracteristicas-fisicas-y-quimicas-agua>.

11.ANEXOS

Anexos 1. Fotografías con la taxonomía de los organismos encontrados.



Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Subfilo: Crustacea

Superclase: Multicrustacea

Clase: Malacostraca

Superorde: Eucarida

Orden: Decapoda

Suborden: Pleocyemata

Infraorden: Brachyura

Familia: Ocypodidae

Subfamilia: Gelasiminae

Género: Leptuca





Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Subfilo: Crustacea

Superclase: Multicrustacea

Clase: Malacostraca

Superorde: Eucarida

Orden: Decapoda

Suborden: Pleocyemata

Infraorden: Brachyura

Familia: Ocypodidae

Subfamilia: Gelasiminae

Género: Leptuca



Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Subfilo: Crustacea

Superclase: Multicrustacea

Clase: Malacostraca

Superorde: Eucarida

Orden: Decapoda

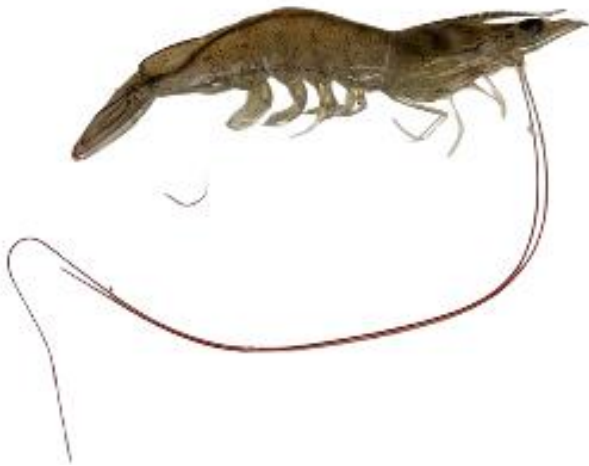
Suborden: Pleocyemata

Infraorden: Brachyura

Familia: Portunidae

Subfamilia: Potuninae

Género: Callinectes



Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Subfilo: Crustacea

Superclase: Multicrustacea

Clase: Malacostraca

Subclase: Eumalacostraca

Superorde: Eucarida

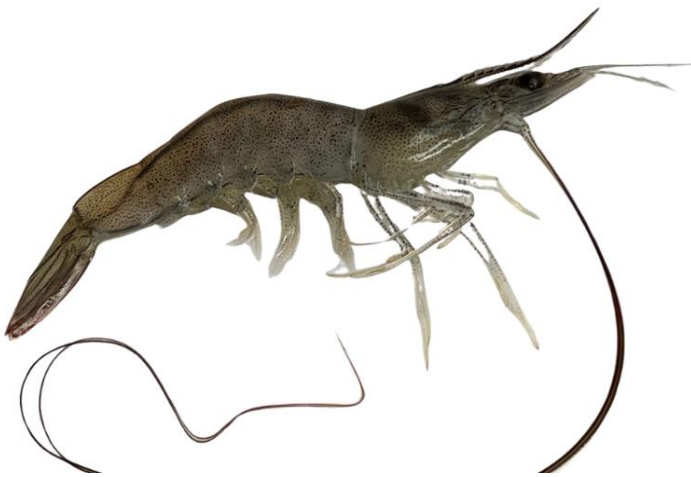
Orden: Decapoda

Suborden: Dendrobranchiata

Superfamilia: Penaeoidea

Familia: Penaeidae

Género: Litopenaeus



Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Subfilo: Crustacea

Superclase: Multicrustacea

Clase: Malacostraca

Superorde: Eucarida

Orden: Decapoda

Suborden: Dendrobranchiata

Superfamilia: Penaeoidea

Familia: Penaeidae

Género: Penaeus



Reino: Animalia

Filo: Arthropoda

Subfilo: Crustacea

Superclase: Multicrustacea

Clase: Thecostraca

Superorde: Thoracica

Orden: Sessilia

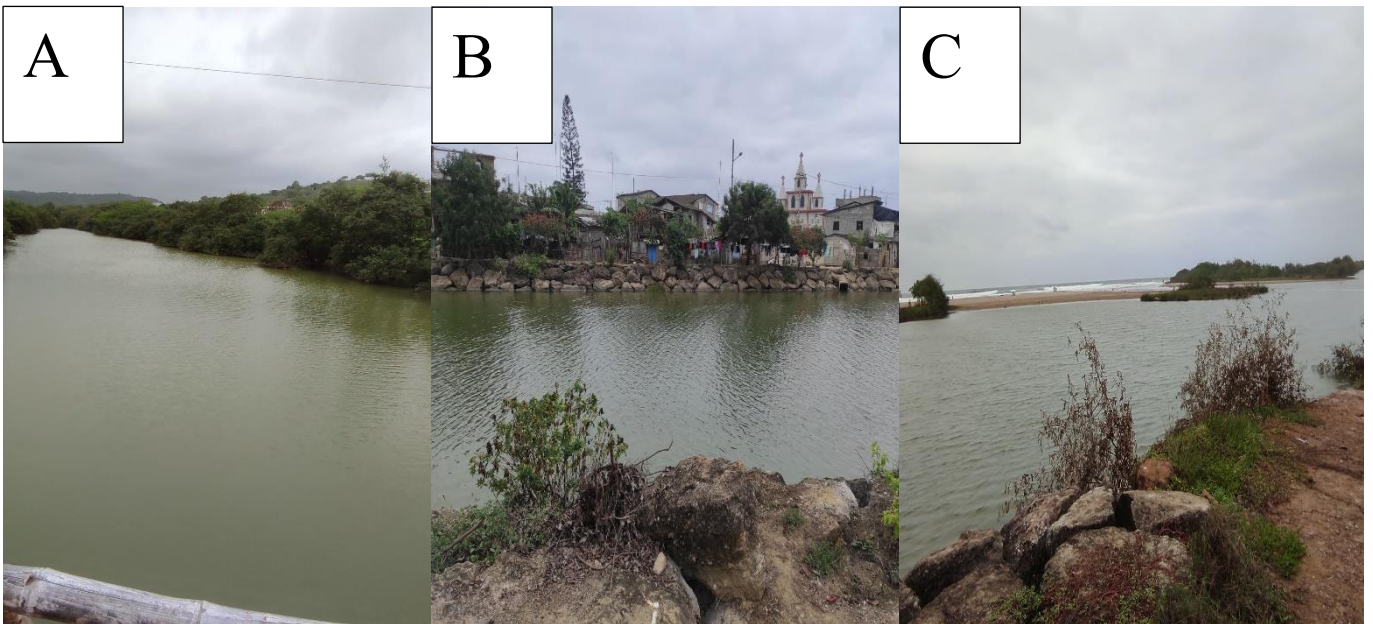
Suborden: Thoracicalcarea

Familia: Balanidae

Género: Balanus



Anexos 2. Toma de parámetros ambientales *in situ*.



Anexos 34. Sitios de muestreos. A) Zona alta, B) Zona media, C) Zona baja.