



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

ESCUELA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

**MACROINVERTEBRADOS DEL RÍO ATACAMES COMO
BIOINDICADOR DE LA CALIDAD AMBIENTAL A LO
LARGO DE SU GRADIENTE ALTITUDINAL**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
GESTIÓN AMBIENTAL**

AUTOR

STALIN TIMOTHY CALAHORRANO GONZÁLEZ

ASESOR

MGT. PEDRO JIMÉNEZ PRADO

ESMERALDAS, 2021

TRIBUNAL DE GRADUACION

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos establecidos por el reglamento de grado de la PUCESE, previo a la obtención del título de INGENIERO EN GESTION AMBIENTAL.

Presidenta de Tribunal de Graduación

PhD. Jon Molinero Ortiz

Lector 1

Mgt. Mérida Ortiz Castro

Lector 2

Mgt. Karla Solís Charcopa

Coordinadora de la carrera de Gestión Ambiental

Mgt. Pedro Jiménez Prado

Director de Tesis

Esmeraldas,.....de..... de 2021

AUTORIA

Yo, Stalin Timothy Calahorrano González declaro que la presente investigación enmarcada en el actual de trabajo de tesis es auténtica y personal.

En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE.

Stalin Timothy Calahorrano González

CI: 0803362839

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por la salud, vida y bendiciones que ha dado a mi vida.

Para el desarrollo de esta investigación también fue importante el apoyo y participación que tuvieron varias personas para que el trabajo cumpla con las expectativas planeadas.

Agradezco a mis padres y hermanos quienes estuvieron en todo momento brindándome su apoyo incondicional.

Al Mgt. Pedro Jiménez Prado por su tutoría, haberme brindado los conocimientos y guías adecuadas para la culminación de la investigación.

A mis abuelitos por haber estado siempre pendiente y motivándome en todo el proceso de mi vida estudiantil.

A mi primo Hernán Posso y tío Lenin Calahorrano por ser quienes me han brindado su aporte y apoyo en todos los momentos difíciles.

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi madre Verónica González por el sacrificio invertido en mí ya que a pesar de los kilómetros que nos separan siempre ha dado todo por ayudarme.

A mi padre Stalin Calahorrano por siempre estar a mi lado y apoyarme en todo momento. A mis hermanos Sebastián y Cesar Calahorrano quienes me han visto como ejemplo y espero darle lo mejor siempre.

A mi novia Hellen Preciado y a mi Hijo Liam Calahorrano, quienes me motivan todos los días para seguir adelante.

TABLA DE CONTENIDOS

TRIBUNAL DE GRADUACION	ii
AUTORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
Presentación del tema de investigación.....	1
Planteamiento del problema.....	2
Justificación.....	2
Objetivos	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	4
Bases teórico-científicas.....	4
Calidad de agua y el gradiente altitudinal	4
Indicadores biológicos acuáticos.....	5
Macroinvertebrados.....	6
Índice BMWP/Col.....	6
Índice ASTP	7
Índice IBF.....	7
Índice de Shannon Weaver.....	7
Series de Números de Hill.....	7

Antecedentes	8
Marco Legal	9
CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS	10
Área de estudio.....	10
Recolección de datos.....	12
Parámetros físico- químico.....	12
Muestreo de macroinvertebrados	12
Análisis de laboratorio	13
Macroinvertebrados.....	13
Análisis de datos	13
CAPITULO III: RESULTADOS	15
Parámetros físico- químicos.....	15
Macroinvertebrados.....	17
Índices de diversidad.....	21
Índices de calidad de agua.....	22
Ubicación de los puntos de muestreo.....	26
Calidad del agua según el gradiente altitudinal.....	28
Organización de los puntos de muestreo en la zona de análisis.....	29
CAPITULO IV: DISCUSION	31
CAPITULO V: CONCLUSIONES	36
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES.....	36
Bibliografía	37
Anexos	41
Anexo 1. Índice BMWP.....	41
Anexo 2. Índice ASTP	41
Anexo 3. Índice IBF.....	42
Anexo 4. Muestras de macroinvertebrados colectadas debidamente etiquetadas	43
Anexo 5. Identificación muestras de macroinvertebrados	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones de muestreo	11
Tabla 2. Parámetros físico-químico del río Atacames	16
Tabla 3. Distribución de macroinvertebrados en los puntos de estudio	18
Tabla 4. Valores de diversidad en los puntos de muestreo	21
Tabla 5. Valores de los índices de calidad del agua	22
Tabla 6. Variabilidad de los componentes	26
Tabla 7. Valores de las variables en cada componente.....	26
Tabla 8. Valores del índice BMWP para determinar la calidad del agua	41
Tabla 9. Valores del Índice ASTP para determinar la calidad de agua	41
Tabla 10. Valores del índice IBF para determinar calidad del agua	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de estaciones de muestreo del rio Atacames	11
figura 2. Mapa del estado de calidad según el Índice BMWP	23
figura 3. Mapa de estado de calidad de los puntos de muestreo según el índice ASTP.	24
figura 4. Mapa de estado de calidad de los puntos de muestreo según el Índice IBF.....	25
Figura 5. Análisis de componentes principales.....	27
Figura 6. Análisis de cuadrado parciales en los puntos de estudio.....	29
Figura 7 Análisis de Conglomerados.....	30

RESUMEN

El presente estudio con objetivo de evaluar la calidad de agua del río Atacames, mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores a lo largo de su pendiente altitudinal, se tomaron las muestras de macroinvertebrados pertenecientes al Museo de la Escuela de Gestión Ambiental, provenientes del río Atacames. En la recolección de las muestras se determinaron 5 estaciones, en 4 repeticiones desde junio del 2016 hasta julio del 2017, los macroinvertebrados fueron identificados hasta el nivel de familia. En adición se midieron parámetros físico -químicos que fueron analizados in situ y en laboratorio.

Dentro del área de estudio se registró un total de 11292 macroinvertebrados pertenecientes a 15 órdenes y 46 familias, donde el mayor número de individuos se encontró en el orden Ephemeroptera, familias Baetidae, Leptohypidae, y Leptophlebiidae, apareciendo en todos los puntos de muestreo. Una vez establecidos los índices de calidad del agua en el río Atacames, se observó que el índice BMWP en la zonas media y alta del río mostraron calidades que van desde aceptable a buena, mientras que en la zona baja se encuentra entre aceptable y dudosa, por su parte el índice ASPT demostró que todas las zonas de estudio presentan aguas moderadamente contaminadas, mientras que el índice IBF demuestra que todas las zonas de estudio se localizaron en una misma calidad “regular”.

Por medio del análisis de cuadrados parciales el punto 5 ostenta la mayor altitud, por lo tanto, menores valores de temperatura, turbidez, fosfatos, pero tiene los mayores valores de pH y nitrito , generando de tal manera mayores valores de índice BMWP , ASTP y Shannon . Con esto se muestra que el gradiente altitudinal ejerce una variación sobre ciertos parámetros ambientales como temperatura, turbidez ,fosfatos, nitritos ,oxígeno disuelto, ya que tienden a cambiar los patrones de distribución de los macroinvertebrados acuáticos presentes en el cauce, por ello los índices de calidad y de diversidad fueron decreciendo simultáneamente con el gradiente altitudinal, esto tiene coherencia, ya que disminución de los parámetros biológicos y ambientales de un río se asocian principalmente a las actividades antropogénicas.

ABSTRACT

The present study with the objective of evaluating the water quality of the Atacames River, through the use of macroinvertebrates as bioindicators along its altitudinal slope, samples of macroinvertebrates belonging to the Museum of the School of Environmental Management were taken from the Atacames River. In the collection of the samples, 5 stations were determined, in 4 repetitions from June 2016 to July 2017, the macroinvertebrates were identified up to the family level. In addition, physical-chemical parameters were measured and analyzed in situ and in the laboratory.

Within the study area, a total of 11292 macroinvertebrates belonging to 15 orders and 46 families were recorded, where the highest number of individuals was found in the order Ephemeroptera, families Baetidae, Leptohypidae, and Leptophlebiidae, appearing in all sampling points. Once the water quality indexes were established in the Atacames River, it was observed that the BMWP index in the middle and upper zones of the river showed qualities ranging from acceptable to good, while in the lower zone it is between acceptable and doubtful, while the ASPT index showed that all the study zones present moderately polluted water, while the IBF index shows that all the study zones were located in the same "regular" quality.

By means of the partial squares analysis, point 5 has the highest altitude, therefore, lower values of temperature, turbidity, phosphates, but has the highest values of pH and nitrite, thus generating higher values of BMWP, ASTP and Shannon index. This shows that the altitudinal gradient exerts a variation on certain environmental parameters such as temperature, turbidity, phosphates, nitrites, dissolved oxygen, as they tend to change the distribution patterns of aquatic macroinvertebrates present in the channel, so the quality and diversity indexes were decreasing simultaneously with the altitudinal gradient, this has coherence, since the decrease of biological and environmental parameters of a river are mainly associated with anthropogenic activities.

INTRODUCCIÓN

Presentación del tema de investigación

Ecuador cuenta con una pequeña extensión territorial y a pesar de aquello es caracterizado por su gran diversidad biológica alrededor de todas sus regiones (1). Las características climáticas de cada región son diferentes tanto en su geografía y topografía , reflejándose en flora y fauna , además en sus cuencas hidrográficas (2).

En las partes altas de las montañas se forman los ríos, bajan por los diferentes valles, realizando un recorrido por las llanuras hasta desembocar en el mar (3). Los ambientes lóticos, (ríos o riachuelos), son diferentes a los demás sistemas acuáticos por su característica de poseer un flujo unidireccional en su corriente de agua (4).

Las fuentes de agua dulce proveniente de los ríos han sido utilizadas principalmente por los seres humanos para el desarrollo económico de las comunidades. Además se ha transformado su morfología y contaminado sus cauces por motivo de construcciones de hidroeléctricas, reservorios, diques, etc. (4). Como resultado a dichas transformaciones han surgido complicaciones a la biodiversidad acuática y los diferentes servicios ecosistémicos que nos brindan naturalmente los ríos. En Ecuador la atención prestada al ecosistema río es superficial, por lo que solo se están regulando los cuerpos de agua como un recurso y no desde el punto de vista como ecosistema (4).

Es importante que exista conciencia por parte de los seres humanos al momento de hacer uso de los bienes que nos facilitan la naturaleza, actuando de manera responsable. De la misma manera es indispensable realizar estudios que determinen la calidad y estado de un río (5). Los bioindicadores juegan un rol fundamental en esas instancias, ya que estos organismos en relación a su presencia o abundancia muestra la calidad del ecosistema acuático y los grados de afectaciones al que ha sido sometido (5).

En la actualidad la bioindicación ha sido una técnica muy utilizada por motivo del intensivo deterioro que se hace presente en los cuerpos de agua, sirviendo también como forma de monitoreo y fundamentalmente para la remediación ambiental (6)(7).

Gran parte de los estudios de calidad de agua se apoyan principalmente en análisis físico-químicos, dando resultados inmediatos. Sin embargo, al combinar los indicadores biológicos y parámetros físicos – químicos se obtiene una visión más clara y precisa de los efectos en los cursos de agua (6).

Aquellos invertebrados acuáticos con tamaño inferior a 500 μm son denominados macroinvertebrados, dentro de estos se encuentran organismos como moluscos, crustáceos, oligoquetos y los insectos (5).

Los macroinvertebrados bentónicos han sido utilizados de manera constante en los últimos años para determinar la calidad de agua en los ríos (8). En los ecosistemas hídricos es recomendable usarlos porque se distribuyen según los niveles de las condiciones ambientales, debido que tienen límites de tolerancia a las alteraciones que ocurran en su hábitat (9).

Planteamiento del problema

Por las perturbaciones realizadas a los ríos es importante que existan estudios del agua, utilizando bioindicadores y complementándolo con parámetros físicos- químicos los cuales demuestren el nivel de afectaciones y la calidad que presenta el cuerpo de agua de los ríos. Por lo que surge la pregunta ¿Utilizando macroinvertebrados y parámetros físicos -químicos cual es la calidad del agua que tiene el río Atacames?

Justificación

Los ríos son ecosistemas dinámicos que juegan un rol fundamental para el equilibrio del medio ambiente (10), además brinda recurso esencial para los seres vivos a su vez sirve como

refugio de vida para un sinnúmero de organismos que van desde hongos, vegetales y animales inferiores y superiores (11).

Para el desarrollo de algunas poblaciones los ríos fueron prescindibles ya que servían como vías de transporte, comunicación, y medio para obtención de alimentos, por tal motivo se establecieron alrededor de estas fuentes de agua. A su vez con el incremento de la población fueron visibles las afectaciones ambientales producto del desecho de aguas negras, residuos químicos vertidos a los cuerpos de agua, afectando a los seres vivos y a las mismas poblaciones humanas (10).

A casusa de descargas residuales han sido afectados los ríos de la provincia de Esmeraldas, causando malestar a las comunidades al quedar restringido el uso del agua para las actividades diarias y productivas (12). De manera particular los afluentes del río Esmeraldas han sufrido contaminación por parte de empresa termoeléctrica y derivados de petróleos (13).

Específicamente el cantón Atacames tiene problemas en el sistema de alcantarillado de aguas servidas y aguas lluvias al mismo tiempo los cuerpos de agua de sus ríos se ven afectados por la utilización de los químicos vertidos por las actividades agropecuarias (14).

Por lo anterior mencionado es importante que se realicen estudios de calidad de agua aplicando macroinvertebrados como bioindicadores para que exista información relevante del río Atacames.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la calidad de agua del río Atacames, mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores a lo largo de su pendiente altitudinal.

Objetivos específicos

- Identificar los macroinvertebrados encontrados en el río Atacames hasta nivel de familia.

- Evaluar la calidad del agua mediante los índices BMWP, ASTP, IBF, Shannon y Hill.
- Establecer diferencias en la calidad del agua según su gradiente altitudinal.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

Bases teórico-científicas

En este trabajo se pretende analizar la calidad del agua del río Atacames a lo largo de su gradiente altitudinal con la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores.

Calidad de agua y el gradiente altitudinal

Es cualquier límite de alteración que presente el agua, estimado por medio de estudios y bases de datos científicos. El término es utilizado para poder detallar las características físicas, químicas y biológicas del agua. La calidad del agua está ligado también a la utilidad que se le vaya a dar, es decir dependiendo de la finalidad tendrá que cumplir ciertos requisitos (15).

Dentro del ciclo natural del agua se presenta la fácil regeneración y purificación, además aparenta gran abundancia, lo cual conlleva a la contaminación al utilizarla como vertedero por parte de las actividades antrópicas. Para que el agua sea estimada como contaminada, su composición natural debe estar modificada, lo cual conlleva a una disminución de usos en el que serviría en un estado natural (16).

Existen métodos de control de calidad de agua apoyados en análisis índices físico – químicos y en comunidades biológicas (16).

El gradiente altitudinal hace referencia a los cambios graduales que se dan en los ríos desde su nacimiento hasta la desembocadura, esta modificación en el establecimiento de organismos acuáticos es ocasionada por la variación geomorfológica y cambios fisicoquímicos del agua, donde se presentan mayores niveles de oxígeno y poco nutrientes en la cabecera. Mientras el río sigue el caudal descendente, la temperatura

aumenta, el agua se hace turbia y se incrementa los nutrientes debido a la acumulación de materia orgánica (17).

Indicadores biológicos acuáticos

La bioindicación es considerada como una disciplina de la biología, que aprovecha la sensibilidad que presentan algunas especies animales y vegetales frente a cambios en el ambiente sean de carácter antrópico o biológico, con el propósito de realizar sistema de monitoreo. Esta forma de monitoreo sirve para conocer y controlar ambientes contaminados, ya que los bioindicadores reaccionan ante agentes contaminantes (18).

Los indicadores biológicos acuáticos son organismos, que indica el grado de contaminación de los ecosistemas acuáticos, por medio de la presencia o abundancia en mayor o menor cantidad (5).

Existen taxones de macroinvertebrados que muestran niveles de tolerancia a las perturbaciones del ecosistema, por lo cual se puede relacionar los distintos grupos de macroinvertebrados con la presencia o ausencia de una alteración concreta (5).

Son considerados como mejores indicadores porque presentan las siguientes ventajas.

- Se distribuyen generalmente en todos los sistemas acuáticos ayudando de tal manera a la comparación de estudios (19).
- Son sedentarios, por lo que se puede lograr estudios seguros y efectivos.
- La permanencia en el agua durante grandes periodos de tiempo logra determinar los cambios temporales.
- Son muy susceptibles a alteraciones en el ambiente por lo cual los hace tener respuesta inmediata frente a las mismas (19).

Macroinvertebrados

Son organismos visibles a simple vista, llamados macro porque su tamaño va de 2 milímetros a 30 cm, carecen de huesos por lo tanto son invertebrados y viven en lugares de agua dulce como lagunas, ríos y lagos (19).

Son utilizados en monitoreos para determinar la calidad que se encuentra el agua, esto se debe a que algunos de estos organismos necesitan de agua de calidad para sobrevivir, y otros si pueden resistir aun existiendo contaminación (19).

Dentro de estos grupos de organismos se encuentran los crustáceos, insectos, moluscos, oligoquetos, nematodos y otros. En Europa y Estados Unidos han sido utilizados en sinnúmero de ocasiones para la valoración y calidad del agua (20).

Son considerados extraordinarios bioindicadores porque presentan las siguientes características:

- Se los puede observar a simple vista (20).
- Han sido estudiados y son conocidos taxonómicamente.
- Tienen gran variedad de especies.
- Los ciclos de vidas son largos.
- Presentan sensibilidad a varios tipos de contaminación (20).

Índice BMWP/Col

Biological Monitoring Working Party es una técnica que se usa para determinar la calidad del agua, con la utilización de bioindicadores como son los macroinvertebrados, tomando en cuenta datos cuantitativos. Se otorga un puntaje de 1 a los organismos más tolerantes y 10 a los que menos toleran contaminación (21). El total de la suma en sus puntajes de todas las familias provee el puntaje total BMWP (21).

Índice ASTP

El puntaje promedio por taxa (ASTP = Average Score per Taxon), es obtenido a través del producto BMWP para el número de taxones que se registraron en la muestra, los valores son representados de 1 a 10 en los que valores bajos de ASTP asociado a valores bajos de BMWP revela estado crítico del ecosistema acuático analizado (22).

Índice IBF

El índice biótico familia adaptado por Hilsenhoff en 1987 se utiliza para evaluar la calidad del agua calculando el promedio de la abundancia de diferentes especies de macroinvertebrados, las cuales tienen una ponderación la cual representa una medida de tolerancia a la contaminación. La tolerancia en este índice se refleja con valor de 0 a las familias menos tolerantes y 10 a las familias más tolerantes (23).

Índice de Shannon Weaver

Es utilizado para calcular la biodiversidad específica, la heterogeneidad se basa principalmente en el número de especies presentes y la abundancia relativa la cual se encuentra asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad (24). En el contexto ecológico mide la información por cada individuo en muestras tomadas al azar de una comunidad amplia(24).

Series de Números de Hill

Es una serie de números que determina el número de especies en una muestra, es decir, una medida del número de especies cuando cada especie es ponderada por su abundancia relativa (25).

Antecedentes

Al ser organismos que resisten alteraciones en el medio en que se desarrollan, los macroinvertebrados están catalogados como los indicadores biológicos mayormente utilizados en el mundo. Han sido utilizados en Europa aproximadamente un siglo y en base a estos estudios se ha logrado desarrollar índices que correlacionan dichos organismos bentónicos con la calidad de las aguas, tales como el Índice Biótico de Familias, Biological Monitoring Working Party, ETP, entre otros (9).

Para evaluar la calidad de agua del río Atacames, mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores a lo largo de su pendiente altitudinal, es provechoso referir la indagación documental de trabajos realizados que tengan estrecha relación con los objetivos propuestos en este estudio, es por ello que se menciona a Paredes (2004), quien utilizó macroinvertebrados para medir la calidad de agua en ríos de Perú, mediante el uso de índice BMWP, reflejando como aguas poco contaminadas (7).

Hay que mencionar, a Prat (2004) quien dio una visión específica del uso de los macroinvertebrados y sus aplicaciones en la actualidad a nivel de América Latina, tomando en cuenta los distintos métodos, enfocándose primordialmente en ecosistemas lóticos (19).

Uno de los estudios catalogado como relevante en Ecuador fue el que realizó el Instituto Nacional de Pesca, desarrollando el proyecto de Biomonitorio de organismos acuáticos en el río Baba, incluyendo estudios de zooplancton, peces y macroinvertebrados (20).

Habría que mencionar también a Cárdenas (2013), quien determinó las comunidades de macroinvertebrados de manera cualitativa y cuantitativamente, de 48 cuerpos hídricos en la provincia del Guayas, además de determinar la calidad de sus aguas. Obteniendo que los cuerpos hídricos se encuentran contaminados (20).

Específicamente en Esmeraldas se han realizado pocos estudios para determinar estados de los cursos de aguas utilizando macroinvertebrados, entre ellos se encuentra Guijarro (2015), ubicó 7 estaciones de muestreo a lo largo del río Teaone, comenzando desde la parte alta hasta la baja, el estudio se complementó con la relación de análisis de parámetro físico- químicos y macroinvertebrados (26). Así mismo Mora (2018), determinó el estado

de calidad de agua de la microcuenca del río Sálima, reflejando que la zona alta y media demuestran mejor calidad de agua (14).

Marco Legal

En la presente investigación, al analizar el estado de calidad de agua en el río Atacames, se da el cumplimiento al art 66 de la Constitución Ecuatoriana, la cual servirá como alerta de trabajo para las autoridades encargadas de brindar el derecho al agua potable. En adición en el art 14 de la Constitución menciona que la población tiene el derecho a vivir en un ambiente sano (27). De tal manera estos artículos ayudan como línea base para desarrollar el marco legal del estudio.

Los resultados de la investigación proveerán información relevante sobre la calidad del agua del río Atacames, permitiendo a su vez que la población tenga conciencia y ejerza control sobre los impactos que están causando en base a sus propias actividades, por lo mencionado se da cumplimiento al art 411 de la Constitución Ecuatoriana, indicando que las actividades que afecten la calidad de agua deberán ser reguladas.

En el artículo 12 de la Constitución menciona que el agua es derecho fundamental para los seres humano y es de uso público de manera inembargable y el art 264 a su vez hace referencia que los GAD deben prestar servicios de agua potable ya alcantarillado (27). Realidad que no es compatible con el cantón Atacames ya que sufren problemas en el sistema de alcantarillado de aguas servidas y aguas lluvias.

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua , en el Capítulo II ,art 23 dentro de la Competencias de la Agencia de Regulación y Control indica que la Autoridad Ambiental Nacional tiene la acción correspondientes de hacer cumplir las normas y parámetros de los vertidos , además el Capítulo VI ,art 77 indica que se deben respetar la cantidad y calidad de los caudales ecológicos (28), por lo que con este estudio se pretende ayudar con información sobre el río y a su vez por parte de autoridades implementar medidas de restauración.

CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

Para la presente investigación se tomaron las muestras de macroinvertebrados pertenecientes al Museo de la Escuela de Gestión Ambiental, provenientes del río Atacames, del cantón Atacames, ubicado a 25 km de la parte sur de la ciudad de Esmeraldas. El río tiene aproximadamente 42,5 km de longitud, es de orden 4 con área de drenaje de 117,6 km². Los principales afluentes de la red hidrográfica del cauce principal del río Atacames son los esteros el Mono, Tabaque, La Peña, Plaza, Matambe y Cumba (29).

La cuenca del río Atacames presenta una temperatura media anual de 25,4 °C y precipitación de 1152 mm al año. Cabe mencionar que en la parte alta del río Atacames se encuentra alto porcentaje de bosque primario, resultado de estar poco poblada (30).

A lo largo del cauce del río Atacames, desde la parte baja hasta la zona alta, se estableció 5 estaciones de muestreo, en 4 campañas o repeticiones (Fig1). Cada punto fue codificado como A1, A2, A3, A4 y A5 (Tabla 1). Este trabajo fue realizado desde junio del 2016 hasta julio del 2017.

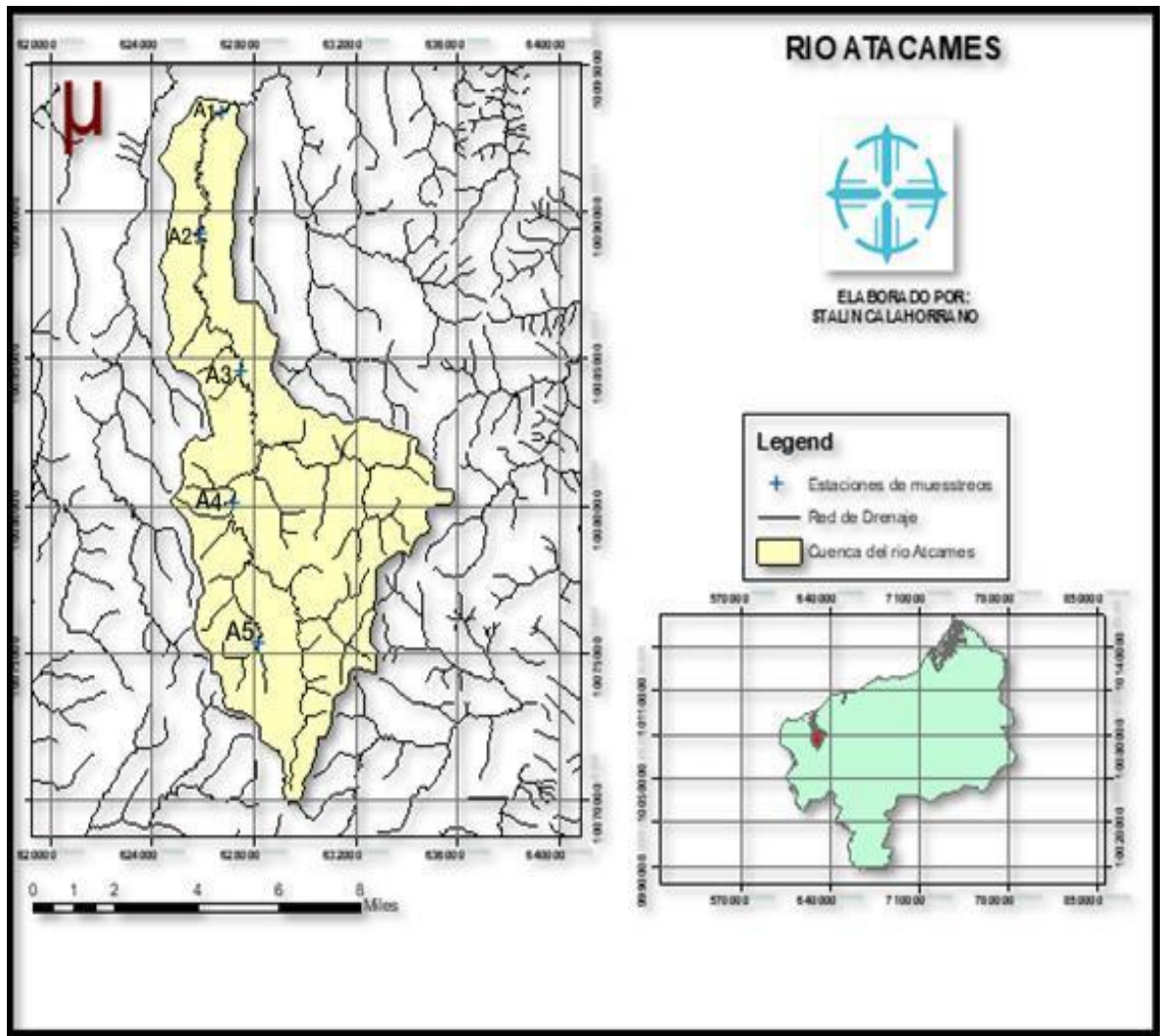


Figura 1. Mapa de estaciones de muestreo del rio Atacames

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones de muestreo

Zonas	Coordenadas		
	Estaciones	X	Y
Zona Baja	A1	628079	10094088
	A2	626053	10089914
Zona Media	A3	627907	10083893
	A4	627145	10079476
Zona Alta	A5	627704	10074297

Recolección de datos

Parámetros físico- químico

Utilizando el equipo Milwaukee MI 805, en cada uno de los puntos muestreados se midió el pH, la temperatura, la conductividad; con el equipo Milwaukee MW 600 se midió el oxígeno disuelto. La recolección de estos datos se lo realiza antes de la colecta de los macroinvertebrados para que no exista alteración en las muestras.

Habría que decir también que en cada punto se colectó muestras de agua, en botellas plásticas de 1 litro, debidamente etiquetada con la fecha y sitio donde se la obtuvo. El procedimiento de la recolección consistió en lavar la botella con el agua del río y luego colocarla en posición opuesta a la corriente para realizar el llenado. Dichas muestras fueron adecuadas con hielo en un cooler para que se conserven de la mejor manera y sean trasladadas al laboratorio.

Muestreo de macroinvertebrados

Se utilizó el método rápido para un solo hábitat en cada punto de muestreo, el cual consistió en la utilización de red de captura tipo D, con dimensiones de 30 x 20 cm y 500 micras de ojo de malla. El procedimiento consistió en realizar seis arrastres de un minuto para cada punto de muestreo cada dos meses en el transcurso de un año. La remoción del sustrato se realizó con el pie, en sentido contrario del flujo de agua y de esta manera tener una mejor recolección sin pérdida de macroinvertebrados por arrastre de la corriente (31).

También se realizó limpieza en campo con finalidad de descartar elementos que no sean de interés para el estudio, con ayuda de un tamiz de 0,5 centímetros de ojo. Una vez finalizado el muestreo en cada punto y con la muestra limpia, se procedió a colocarle 1

litro de alcohol al 70% y 10 ml de formol en frascos de un litro y medio apropiadamente etiquetado (31).

Análisis de laboratorio

Para realizar los análisis de los parámetros físico – químico se utilizó el aparato Hach DR900, el cual sirvió para análisis de fosfatos (mg/l), turbidez (FAU), nitratos (mg/l), y dureza (mg/l), de cada una de las muestras de agua obtenidas en los puntos de estudio.

Macroinvertebrados

Las muestras se limpiaron en el Laboratorio de la Escuela de Gestión Ambiental, utilizando bandejas de metal, lámparas y pinzas. Una vez limpias las muestras se colocaron en frascos de 100 ml rotulados con el punto de recolección y se le añadió alcohol para su preservación. En cuanto a la identificación se llegó a nivel taxonómico de familia, haciendo uso del microscopio StereoBlue, utilizando las claves dicotómicas expuestas por Martínez - Sanz 2013 y Góngora 2020 (32).

Análisis de datos

Para el análisis de diversidad de macroinvertebrados a nivel de familia en cada punto de muestreo se utilizó índices de Shannon – Wiener y Hill. En adición a ello los índices biológicos BMWP (33) (Anexo 1), ASTP (33) (anexo 2) , e IBF (23) (Anexo 3) , para determinar la calidad de agua del río Atacames (14).

Se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP) para ordenar los diferentes puntos de muestreos en el cual se tomó en cuenta los parámetros físico - químicos. Se realizó correlaciones de Spearman con los parámetros biológicos y parámetros físico –

químicos para determinar si el estado ambiental del río Atacames influye en la presencia o ausencia de los grupos taxonómicos estudiados.

En adición a ello se utilizó una regresión por mínimo cuadrado parciales (PLS), con el objetivo de descubrir la naturaleza en el gradiente de los puntos de muestreo utilizando variables predictoras (parámetros físico-químicos) y variables de respuesta (Índices Biológicos).

Por último, el análisis de Conglomerados ayudó a entender cómo se organiza a lo largo del gradiente los puntos de muestreos. Este análisis se realiza en consideración de las abundancias de todas las familias identificadas.

CAPITULO III: RESULTADOS

Parámetros físico- químicos

En la tabla 2 se presenta el resumen en promedio globales de los parámetros medidos en situ y analizados en el laboratorio categorizados por zona. El pH en las 3 zonas estudiados es similar y tienen en promedio 8,02. En la zona alta la temperatura máxima mostró un valor de 24,5 C° a diferencia de la zona baja con valor de 28,7 C°. La conductividad en la zona alta reflejó un valor máximo de 737,00 μ S y mínimo de 383,00 μ S en comparación con la zona media en el que se evidenció el valor máximo de 785,00 y mínimo de 342,00 μ S. En cuanto a los fosfatos el mayor valor se reflejó en la zona baja con 1,91 mg/l. El nitrato presentó en promedio de la zona alta el mayor valor con 0,18 mg/l, disminuyendo en la zona media con 0,06 mg/l y de igual manera el valor fue menor en la zona baja con 0,03 mg/l.

Tabla 2. Parámetros físico-químico del río Atacames

Río	Zona	Valor	pH	Temperatura (C°)	CD (µS)	Turbidez (FAU)	OD (mg/l)	Dureza (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Nitratos (mg/l)
Atacames	Zona alta	Media	8,15	24,02	551,92	7,25	7,68	3,56	0,77	0,18
		Mediana	8,15	24,05	560,5	6,00	7,89	3,01	0,81	0,16
		Mín	7,91	23,1	383,00	1,00	6,5	1,43	0,45	0,03
		Máx	8,43	24,5	737,00	19,00	8,6	6,46	1,17	0,45
		D.E.	0,17	0,5	118,53	5,38	0,76	1,41	0,22	0,14
	Zona media	Media	8,1	27,03	584,27	16,42	7,97	3,03	1,04	0,06
		Mediana	8,14	26,8	650,5	5,5	7,9	2,94	1,07	0,02
		Mín	7,66	25,7	342,00	0,00	4,1	0,47	0,47	0,00
		Máx	8,51	28,4	785,00	99,00	10,99	6,24	1,5	0,32
		D.E.	0,22	1,1	144,77	24,66	1,38	1,44	0,28	0,09
	Zona baja	Media	7,83	27,17	695,44	12,00	6,16	3,31	1,48	0,03
		Mediana	7,81	27,3	717,00	10,00	5,8	2,96	1,53	0,03
		Mín	7,51	25,2	452,00	3,00	5,2	0,38	0,87	0,00
		Máx	8,2	28,7	947,00	25,00	7,39	7,58	1,91	0,11
		D.E.	0,2	1,17	134,71	6,4	0,75	1,83	0,26	0,03

Mín = valor mínimo; Máx = Valor máximo; D.E. = Desviación estándar.

Macroinvertebrados

Dentro del área de estudio se registró un total de 11292 macroinvertebrados pertenecientes a 15 órdenes y 46 familias (tabla 3).

El mayor número de individuos se encontró en el orden Ephemeroptera, familias Baetidae, Leptohypidae, y Leptophlebiidae, apareciendo en todos los puntos de muestreo. Situación similar ocurre en las familias Chironomidae y Hydropsychidae del orden Diptera y Trichoptera respectivamente.

A su vez se evidenció dentro del orden Hemiptera, familia Gerridae y Naucoridae estuvieron presente al menos en tres puntos de muestreo, mientras que las familias Planorbidae, Cyclobdellidae, Sialidae y Platystictidae fueron los que tuvieron menor aparición, con tan solo un individuo.

Tabla 3. Distribución de macroinvertebrados en los puntos de estudio

Orden/Familia	Campaña 1					Campaña 2					Campaña 3					Campaña 4					Total
	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5	A1	A2	A3	A4	A5	
Basommatophora																					
Planorbidae	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Coleoptera																					
Elmidae	3	0	6	18	61	0	1	36	220	6	0	0	1	4	32	0	0	1	11	13	413
Psepheniidae	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	10	57
Ptilodactylidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	1	35	43
Decapoda																					
Atyidae	0	0	0	0	0	41	2	0	0	6	13	1	0	1	6	89	14	0	0	2	175
Palaemonidae	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
Trichodactylidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	0	1	9
Diptera																					
Ceratopogonidae	1	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Chironomidae	129	15	16	51	5	28	64	33	140	102	49	14	3	6	78	6	3	14	23	84	863
Culicidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Psychodidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Simuliidae	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	14	0	0	1	1	5	24
Stratiomyidae	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Tipulidae	4	2	5	10	2	0	0	22	7	8	4	0	0	3	34	9	1	1	5	10	127
Ephemeroptera																					
Baetidae	2	39	179	94	67	264	158	112	252	104	48	38	21	291	176	51	148	95	513	280	2932
Caenidae	0	0	0	0	0	0	5	0	17	18	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	43
Leptohiphidae	1	8	18	152	77	58	100	78	505	164	2	1	10	152	100	7	14	10	48	76	1581

Glossossomatidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Hydropsychidae	23	0	3	13	29	2	3	93	230	68	6	0	1	12	234	6	15	1	9	115	863
Hydroptilidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Leptoceridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Philopotamidae	0	0	0	0	0	8	0	6	16	10	0	0	0	8	78	0	0	0	1	17	144
Polycentropodidae	1	0	0	4	1	2	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
Xiphocentronidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	4
<hr/>																					
Veneroida																					
Corbiculidae	0	0	0	0	0	1	19	0	9	0	5	5	1	0	0	0	0	3	1	0	44
Sphaeridae	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0	20

11292

Índices de diversidad

La tabla 4 muestra los valores de los índices de Shannon, de los cuales el mayor promedio se da en la zona alta correspondiente al punto 5 con 2,06 seguido por la zona media en el que se encuentran los puntos 3 y 4 con 1,69 y 1,79 respectivamente. Seguido del punto 1 y 2 ubicados en la zona baja con 1,7 y 1,63.

También el mayor promedio en el índice de Hill se muestra en la zona alta reflejada en el punto 5 con 7,96 a diferencia con los puntos 1 y 2 representado a la zona baja tienen el menor promedio con valor de 5,61 y 5,25.

Tabla 4. Valores de diversidad en los puntos de muestreo

Punto	Resumen	Total	Shannon (H')	Hill (N1)
A1	Media	517,5	1,7	5,61
	D.E.	249,74	0,24	1,49
	Mín	233,00	1,48	4,40
	Máx	976,00	2,12	8,32
A2	Media	251,33	1,63	5,25
	D.E.	157,55	0,27	1,35
	Mín	70,00	1,29	3,62
	Máx	489,00	1,94	6,95
A3	Media	912,67	1,69	5,75
	D.E.	1291,88	0,37	2,16
	Mín	64,00	1,27	3,55
	Máx	3488,00	2,19	8,93
A4	Media	2133,00	1,79	6,31
	D.E.	2279,13	0,35	2,12
	Mín	532,00	1,34	3,83
	Máx	6514,00	2,17	8,76
A5	Media	1448,17	2,06	7,96
	D.E.	874,89	0,22	1,62
	Mín	660,00	1,67	5,31
	Máx	2784,00	2,27	9,64

Mín = valor mínimo; Máx = Valor máximo; D.E. = Desviación estándar.

Índices de calidad de agua

La tabla 5 muestra los valores referentes a los índices biológicos establecidos para determinar la calidad del agua en el río Atacames, en el que se reflejan los puntos A1 y A2, localizados en la zona baja, promedios de 73.83 y 59.50 correspondiente en el índice BMWP con calidad de agua que va de “aceptable” a “dudosa”. El índice ASPT en la misma zona presenta valores de 4,71 y 4,86 que significa calidad de agua dudosa mientras el IBF tiene 5,58 y 5,67 lo que refleja estado de calidad de agua regular.

Los puntos A3 y A4, ubicados en la zona media del río, exhiben el índice BMWP valores promedios de 83,67 y 109 demostrando calidad de agua que va de “aceptable” a “buena”, el índice ASPT con 5,09 y 5,20 refleja estado de calidad de agua dudosa, a su vez el IBF presenta valores de 5,47 y 5,44 manifestando estado de agua regular.

Por último, el punto A5, ubicado en la parte alta del río obtuvo en el índice BMWP promedio de 125,83 reflejando calidad buena y para el ASPT valor de 5,57 con calidad de agua dudosa y finalmente el IBF 5,09 reflejando calidad de agua regular.

Tabla 5. Valores de los índices de calidad del agua

Punto	Resumen	Total	Familias	BMWP	ASPT	IBF
A1	Media	517,50	15,67	73,83	4,71	5,58
	D.E.	249,74	3,93	19,18	0,40	0,67
	Mín	233,00	12,00	53,00	4,08	4,57
	Máx	976,00	22,00	102,00	5,29	6,64
A2	Media	251,33	12,00	59,50	4,86	5,67
	D.E.	157,55	3,58	21,89	0,53	0,35
	Mín	70,00	7,00	30,00	4,29	5,27
	Máx	489,00	15,00	80,00	5,71	6,27
A3	Media	912,67	16,17	83,67	5,09	5,47
	D.E.	1291,88	5,98	35,98	0,48	0,17
	Mín	64,00	10,00	45,00	4,50	5,26
	Máx	3488,00	27,00	145,00	5,83	5,78
A4	Media	2133,00	21,00	109,00	5,20	5,44
	D.E.	2279,13	5,10	25,16	0,15	0,12
	Mín	532,00	17,00	87,00	4,96	5,30

	Máx	6514,00	28,00	143,00	5,39	5,60
	Media	1448,17	22,67	125,83	5,57	5,09
A5	D.E.	874,89	5,82	30,86	0,25	0,40
	Mín	660,00	17,00	100,00	5,20	4,45
	Máx	2784,00	31,00	174,00	5,88	5,50

Mín = valor mínimo; Máx = Valor máximo; D.E. = Desviación estándar.

En el mapa se representan los puntos de muestreo coloreados según el valor del índice BMWP donde se observa a los puntos 4 y 5 con calidad de agua buena y significado de aguas no contaminadas (Fig 2).

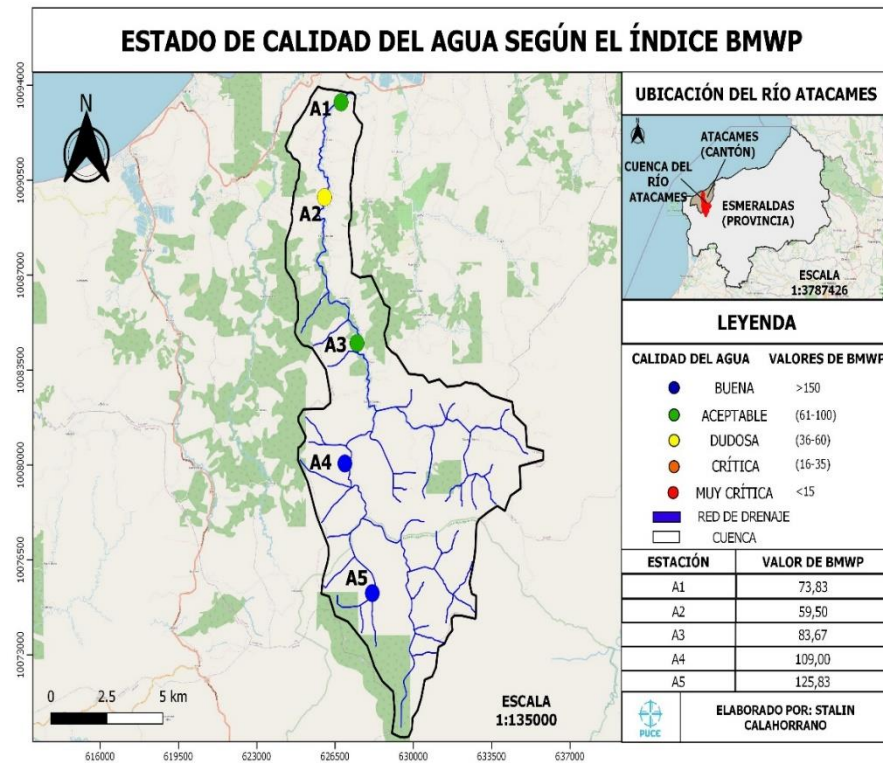


figura 2. Mapa del estado de calidad según el Índice BMWP

El mapa del índice ASTP muestra en todos los puntos de muestreo calidad de agua dudosa, lo que significa que el agua está moderadamente contaminada (Fig 3).



figura 3. Mapa de estado de calidad de los puntos de muestreo según el índice ASTP.

El índice IBF, en todos los puntos de estudio del río Atacames demostró calidad de agua regular (Fig4).

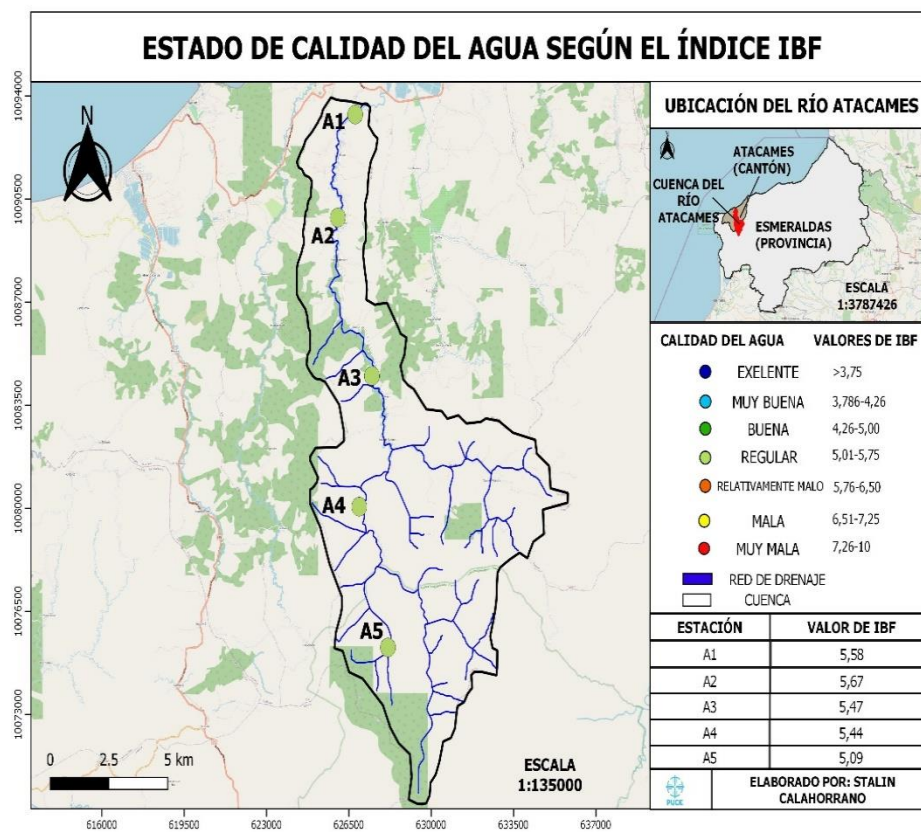


figura 4. Mapa de estado de calidad de los puntos de muestreo según el Índice IBF.

Ubicación de los puntos de muestreo

Entre el componente 1 y 2 se representa el 90 % de la variabilidad siendo de tal manera significativo para el análisis. (Tabla 6)

Tabla 6. Variabilidad de los componentes

Autovalores	
Componentes	Varianza
1	0,58
2	0,32

La variabilidad del componente 1 representa el 58% en el que se encuentran los puntos A1 y A2 caracterizados por los valores más altos de fosfato (-0,45) y conductividad (-0,44), mientras que los puntos A3, A4 y A5 tienen los valores más altos de oxígeno disuelto (0,43) y pH (0,46), ver tabla 7 y figura 2.

Lo que respecta al componente 2 con una varianza del 32%, se encuentran los puntos A3 y A4 caracterizados por mayor temperatura (0,56) y turbidez (0,39), mientras que el punto A5 tiende hacia abajo con valor mayor de nitrito (-0,54), ver tabla 7 y figura 2.

Tabla 7. Valores de las variables en cada componente

Autovectores		
Variables	C1	C2
pH	0,46	0,02
CD	-0,44	0,07
T°	-0,21	0,56
Turb.	0,15	0,39
OD (mg/l)	0,43	0,24
Dureza	-0,32	-0,41
Nitrito	0,18	-0,54
Fosfato	-0,45	0,12

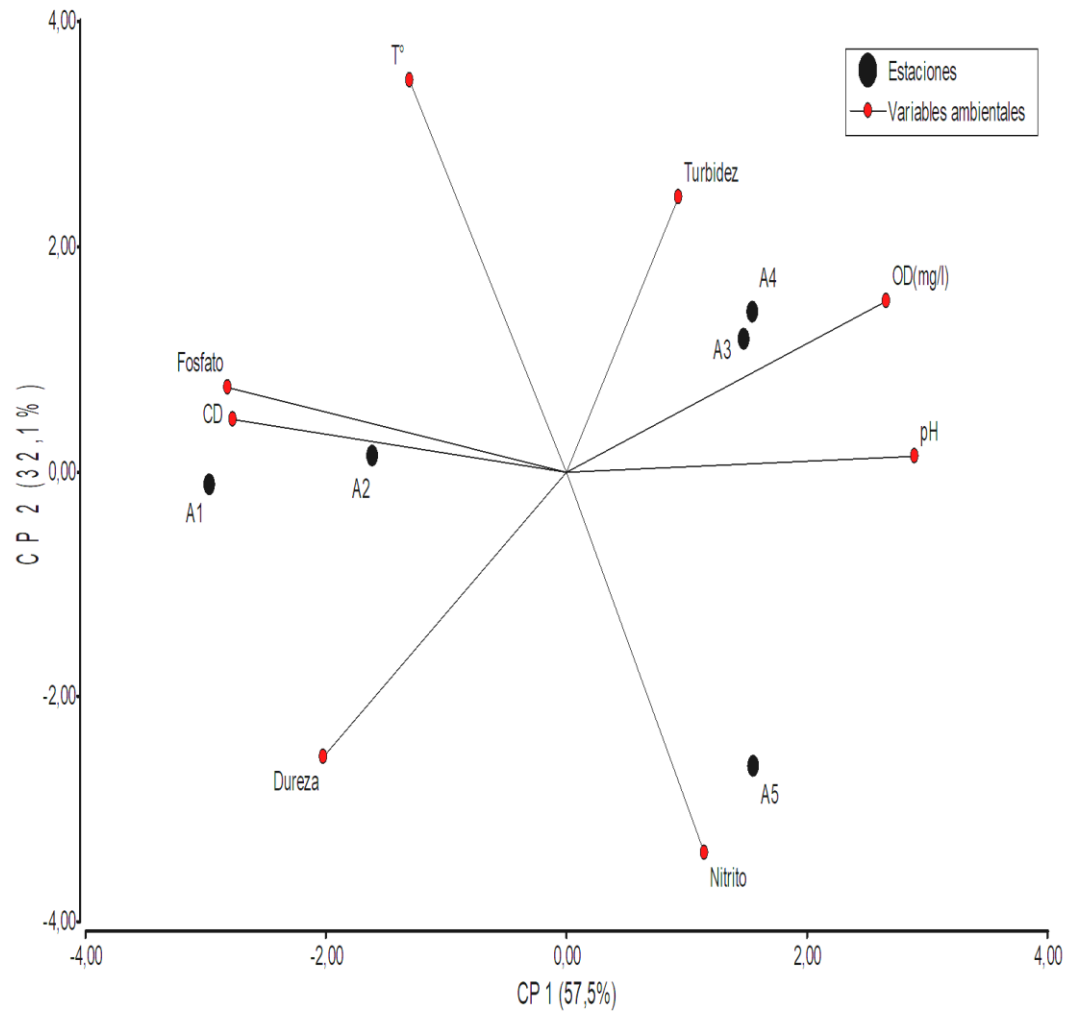


Figura 5. Análisis de componentes principales

Calidad del agua según el gradiente altitudinal.

El gradiente se pudo observar claramente por medio de la relación de los parámetros ambientales y los índices de biodiversidad, dentro el cual el factor 1 y 2 representa el 70% de la variabilidad de mencionada relación.

Para el factor 1 el punto 5 ostenta la mayor altitud (160 msnm), por lo tanto, menores valores de temperatura (24,02 C°), turbidez (7,25 FAU), fosfatos (0,77 mg/l) pero tiene los mayores valores de ph (8,15) y nitrito (0,18 mg/l), generando de tal manera mayores valores de índice BMWP (125,83), ASTP (5,57) y Shannon (2,06).

Para la zona media en el punto 3 la altitud reflejó valor de (33 msnm), con mayor valor en oxígeno disuelto (7,97 mg/l) y valores medio de dureza (3,03 mg/l) y nitritos (0,06 mg/l), de igual manera los índices de biodiversidad como el BMWP (83,67), ASPT (5,09) y Shannon (1,69).

Lo que refiere en la zona baja, con altitud de 5 msnm, se ubica el punto 1 con valor mayor en temperatura (27,17 C°) y menor oxígeno disuelto (6,16 mg/l), nitrito (0,03 mg/l) y a su vez el índice IBF refleja valor de 5,58 ver figura 3.

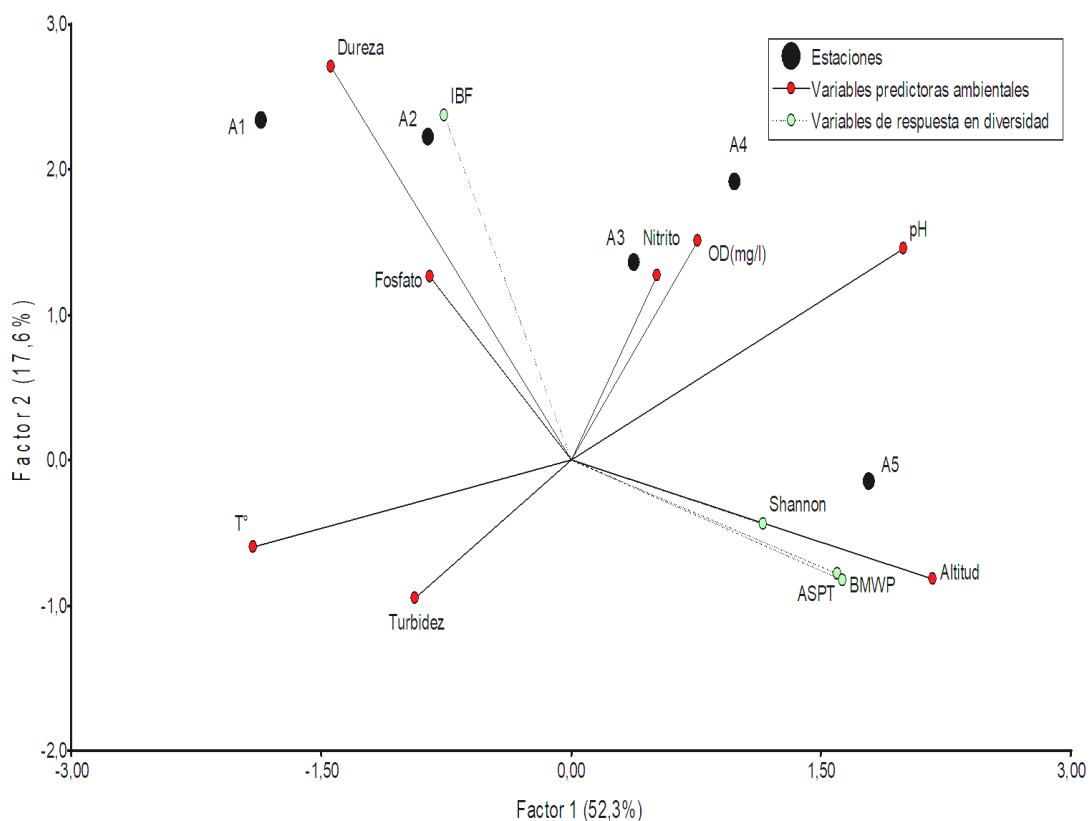


Figura 6. Análisis de cuadrado parciales en los puntos de estudio.

Organización de los puntos de muestreo en la zona de análisis.

Mediante el análisis de conglomerados tomando en cuenta las abundancias absolutas de todas las familias en consideración a los puntos de muestreo reflejó un agrupamiento claro de 3 grupos donde el punto A5 se ubica en la parte superior, en la zona media el grupo 2 establecida por los puntos A3, A4 y por último en el grupo 3 se ubicaron los puntos A1 y A2 perteneciente a la parte baja del río.

Para este análisis los valores fueron estandarizados, la distancia utilizada fue de Bray Curtis, el análisis de la eficiencia en cuanto a la distribución de los valores para el agrupamiento establecido con una correlación cofenética significativa de 0,84, ver figura 4.

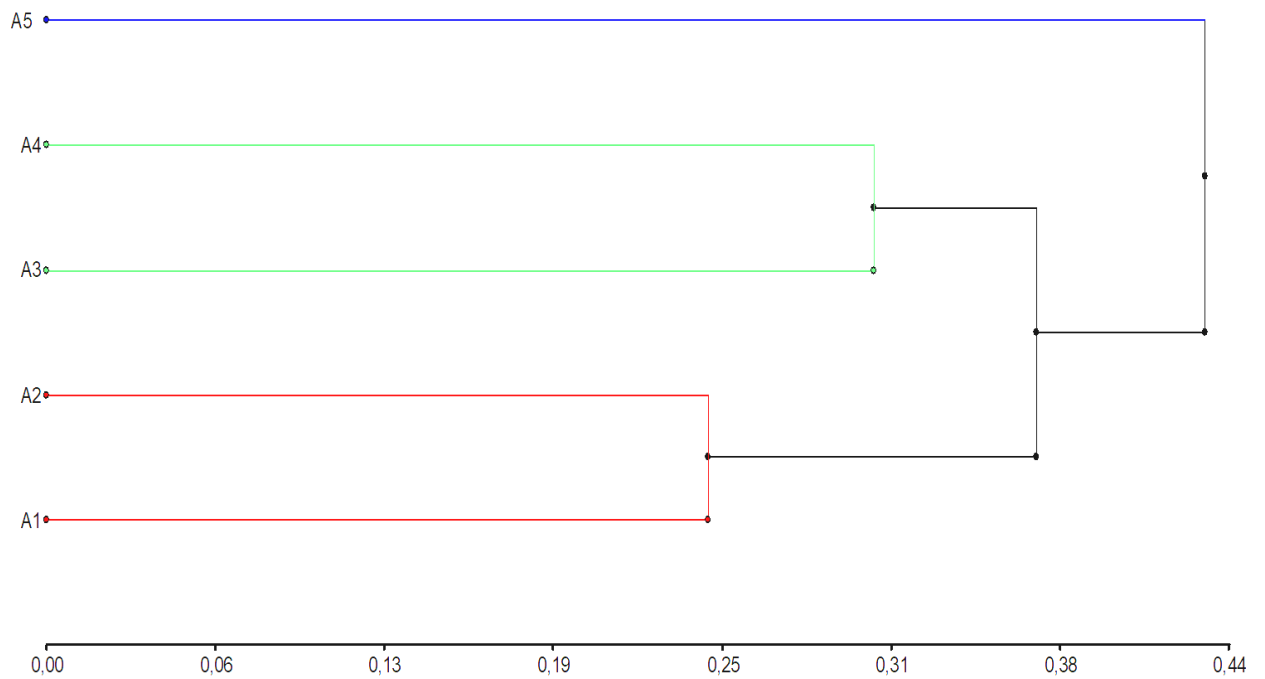


Figura 7 Análisis de Conglomerados.

CAPITULO IV: DISCUSION

Los cuerpos de agua dulce son imprescindibles para poder cumplir diversos procesos ambientales y sociales tales como el abastamiento y suministro de agua, indispensables para el desarrollo de la vida (34), sin embargo en la actualidad se encuentran bajo presión a causa de los impactos generados por el consumo excesivo del recurso para la ejecución de actividades domésticas e industriales y el incremento de sumidero de aguas residuales sin ningún tratamiento (35). Es por esto que es necesario identificar de manera temprana y oportuna, cuáles son los principales factores que podrían afectarlos, para poder tomar acciones que permitan mantener una buena calidad del recurso agua (26).

Con respecto a estos en la actualidad los indicadores biológicos, se han convertido en una herramienta muy utilizada (6), debido a es una técnica simple y de gran efectividad cuando se trata de evaluar la calidad de los cuerpos de agua, por el hecho de que sólo se requiere identificar y cuantificar los organismos detectados en las muestras y en base a estos resultados aplicar índices de calidad o diversidad (7). Para lograr un mejor entendimiento sobre el comportamiento de estos organismos en su ambiente, es necesario relacionar los parámetros biológicos con los ambientales (factores fisicoquímicos).

Por ello en este estudio se ha llevo a cabo la identificación de macroinvertebrados del río Atacames, desde la parte baja hasta la zona alta, estableciendo 5 estaciones de muestreo, dentro de las cuales se registró un total de 11292 macroinvertebrados pertenecientes a 15 órdenes y 46 familias.

Se pudo detectar la presencia de las familias Baetidae, Leptohypidae, Leptophlebiidae, Chiromidae y Hydropsychidae en todos los puntos de muestreo, por otro lado, se observó que las familias Cyclobdellidae, Sialidae, Platystictidae, Culicidae y Psychodidae solo aparecieron en los puntos 4 y 5, donde la calidad del agua es aceptable, marcando una clara diferencia entre las demás zonas de muestreo, esto concuerda con lo observado en el estudio de Sánchez (2015) el mismo que se llevó a cabo un análisis de la población de macroinvertebrados en la parte alta y media del río Atacames, en este se manifiesta que dos de las familias antes mencionadas Hydropsychidae y leptophlebiidae, tienen un alto

predominio en este río, su presencia en los cuerpos de agua es un fiel indicador de que este cumple con las condiciones básicas para garantizar el desarrollo y prevalencia de los organismos que este predominan, por lo cual su agua es de buena calidad (36).

En vista de que los parámetros físicos y químicos del agua son de trascendental importancia para el desarrollo de los macroinvertebrados acuáticos, los mismos que son sensibles a los cambios o alteración de estos (37), por ello de acuerdo con el presente estudio, al realizar el análisis de las medias de los parámetros fisicoquímicos medidos in situ, se evidenció que el pH en las es similar en 3 zonas estudiadas, mientras que la temperatura, conductividad, fosfatos y nitratos son diferentes. No obstante, dichos valores no superan los límites permisibles establecidos dentro de los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios del acuerdo ministerial 097^a de la normativa ambiental vigente (38).

Por medio de los análisis multiparamétricos se evidenció que los valores más altos de fosfato y conductividad se sitúan en la zona baja de la cuenca, esto puede ser causa de influencia de los núcleos poblacionales que se sitúan en las inmediaciones de la zona baja de la cuenca del río, ante esto Mora (2018) manifiesta que las altas concentraciones de fósforo en los cuerpos de agua son un indicador de eventos de contaminación en el cauce lo cual se origina principalmente por actividades antropogénicas (14). Por su parte Sánchez (2015) menciona que la conductividad es un factor determinante para predecir la calidad del agua, ya que una alta concentración y aumento de esta indica que la calidad es muy buena (36).

Por otro lado, se observó que en la zona media y alta los factores que menos se asocian a estos puntos son la temperatura y la turbidez en base a lo manifestado por Córdoba (2020) normalmente cuando un río se encuentra en estado natural su temperatura y turbidez tiende a incrementar a medida que el gradiente altitudinal disminuye (39). Esto podría explicar porque la zona baja presenta valores más altos, difiriendo estadísticamente.

Se observó que uno de los factores que presentó estadísticamente mayor asociatividad y convergencia con los puntos de muestreo fue el nitrato el cual presentó los valores más altos en la zona alta con 0,18 mg/l, disminuyendo en la zona media con 0,06 mg/l y de igual manera el valor fue menor en la zona baja con 0,03 mg/l. Respecto a esto se puede notar que existe una disminución relacionada con el gradiente altitudinal, pese a que los valores antes mencionados no supera lo establecido como límite en la normativa ambiental (38), según Veintimilla (2015) siempre hay que tomar en cuenta los compuestos nitrogenado para determinar la calidad del agua ya que un exceso de estos podría ser perjudicial para el ecosistema acuático y la salud humana (40).

Una vez establecidos los índices de calidad del agua en el río Atacames, se evidenció que el índice ASPT, pese a que depende de los resultados del índice BMWP, fue el que más se ajustó a nuestra realidad, por el hecho de que este no solo se enfoca en matizar sus resultados en función a la presencia o ausencia de los organismos de determinados taxones, este a más de ello toma en cuenta el número de familias que se identificadas en cada punto o estación de muestreo (14), el mismo demostró que todas las zonas de estudio presentan aguas moderadamente contaminadas. Esto puede atribuirse a que cuando se asocia la composición de la comunidad de los macroinvertebrados con factores como la ausencia o presencia de ciertos grupos o taxones, se pueden tener mayor injerencia en los resultados obtenidos (41).

Mora (2018) y Guijarro (2015) manifiestan que múltiples factores pueden provocar que la calidad de un cauce puedan cambiar, entre ellas se encuentran las condiciones naturales y la presión que ejercen ciertas actividades antropogénicas como las agricultura, ganadería y vertidos de aguas residuales (14,26). Esto concuerda con los resultados obtenidos en el índice BMWP en la zonas media y alta del río mostraron calidades que van desde aceptable a buena, mientras que en la zona baja se encuentra entre aceptable y dudosa, sin embargo, por otra parte, el índice IBF de igual manera que el anterior todas las zonas de estudio se localizaron en una misma calidad “regular”. En comparación con el Acuerdo Ministerial 097 anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y Descargas de Efluentes ,establece criterios de calidad y rangos de los parámetros permisibles dentro del cual se encuentra el apartado de calidad de agua para consumo humano en el parámetro de nitritos el criterio de calidad es 0,2 mg/l,

distinto a los valores obtenidos en las diferentes zonas de estudio los cuales van de 0,03 en la zona baja y 0,18 en la alta.

Los criterios de calidad para la vida acuática de agua dulce y Agua para Riego agrícola en el pH tiene establecido de 6,5 a 9 , estando así dentro del rango optimo el río Atacames ya que en las tres zonas de estudios presentó valor promedio de 8.02 (38).

Con relación a los índices de diversidad se observó que tanto Shannon como Hill, reflejan que la zona alta del río posee los niveles más altos de diversidad, aspecto que va decreciendo gradualmente en la zona media y por último la zona baja con los niveles inferiores de diversidad, el mismo patrón se observa al analizar el promedio de familia identificadas en cada zona, esto podría explicarse con lo manifestado por Londoño et al (2017), el mismo que da a conocer que debido a que determinados grupos o taxones de macroinvertebrados tienen gran afinidad por un determinado hábitat o sensibilidad ante la alteración de las variables ambientales, sus comunidades tienen la capacidad de cambiar su estructura, funcionamiento y distribución, elevando de esta manera los niveles de diversidad biológica en las zonas que poseen las condiciones óptimas para el desarrollo de estos organismos (37).

Pese a que Villamarín et al (2020) manifiesta que las depresiones de las cuencas hidrográficas son uno de los principales factores que ejercen cambios en la diversidad de las comunidades de macroinvertebrados a lo largo del gradiente altitudinal (41), al determinar la calidad del agua según su gradiente , se pudo observar que existe una clara relación entre el gradiente, los parámetros ambientales, índices de calidad y diversidad, ya que la zona alta ostenta la mayor altitud (160 msnm), por lo tanto, menores valores de temperatura, turbidez y fosfatos, sin embargo, posee los valores más altos de Ph y nitrito, generando de tal manera mayores valores de índice BMWP ASTP, Shannon y Hill. Por otra parte, la zona media reflejó una altitud de (33 msnm), con mayor valor en oxígeno disuelto y valores medio de dureza y nitritos, de igual manera los índices de biodiversidad como el BMWP, ASPT y Shannon, sin embargo, la zona baja, con una altitud de (5 msnm), ostenta con el mayor valor de temperatura e índice IBF y a su vez los menores valores de oxígeno disuelto y nitrito. Jiménez-Prado y Arranz (2021), demuestran que estos ríos, a pesar de tener longitudes y

altitud relativamente cortos, si muestran cambios significativos entre las diferentes zonas del cauce (42).

Con esto se muestra que el gradiente altitudinal puede tener influencia sobre variación sobre ciertos parámetros ambientales como temperatura, turbidez ,fosfatos, nitritos ,oxígeno disuelto en especial entre la zona alta y baja, en la que se observaron pequeños cambios en los patrones de distribución de los macroinvertebrados acuáticos presentes en el cauce (43), por ello los índices de calidad y de diversidad fueron decreciendo simultáneamente con el gradiente altitudinal, esto tiene coherencia, ya que disminución de los parámetros biológicos y ambientales de un río se asocian principalmente a las actividades antropogénicas (44), en este contexto la zona media y baja del cauce es donde se concentra presión ejercida por los núcleos poblacionales.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- En las campañas de muestreo se encontraron un total de 11292 macroinvertebrados divididos en 15 órdenes y 46 familias.
- Mediante el índice BMWP/Col se determinó que en la zonas media y alta del río Atacames mostraron calidades que van desde aceptable a buena, mientras que en la zona baja se encuentra entre aceptable y dudosa.
- El índice ASPT muestra similitud de calidad en el punto más alto y bajo con promedios que van de 5,57 a 4,71 equivalente a calidad de agua dudosa. Sin embargo, el índice IBF, difiere del anterior al reflejar que el estado del agua en el rango del punto 1 y 5 es de calidad regular.
- En los índices de diversidad Shannon y Hill se presentaron mayores valores promedio en las zonas altas respectivamente en los puntos 4 y 5, a diferencia del punto 1 ubicado en la zona baja el cual obtuvo mayor valor que los puntos ubicados en la zona media donde se ubica el punto 3.
- La diferencia de calidad de agua según el gradiente altitudinal refleja que el punto 5 presenta los mayores valores de pH (8,15) y nitrito (0,18 mg/l), generando de tal manera mayores valores de índice BMWP (125,83), ASTP (5,57) y Shannon (2,06).

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones sobre macroinvertebrados en el territorio Ecuatoriano , de tal manera que las familias y su distribución sea mayormente conocida y puedan ser utilizados en metodologías adaptadas para la evaluación de calidad ambiental de los diferentes ríos de la región.
- Se recomienda incentivar a estudiantes relacionados a la rama Ambiental a involucrarse con estudios de calidad de agua en los ríos de la provincia , principalmente para realizar conservación y mantenimiento de los mismos y además que este tipo de estudios son escasos .

Bibliografía

1. Camacho J. Introducción. Miedo negro, Pod blanco en la Cuba Colon. 2019;17(1):13–28.
2. Barros López JG, Troncoso Salgado AY. Atlas climatológico del Ecuador. 2010; Available from: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1720>
3. Bojorge-García MG, Cantoral Uriza EA. La importancia ecológica de las algas en los ríos. *Hidrobiologica*. 2016;26(1):1–8.
4. Encalada A. Funciones ecosistémicas y diversidad ed los ríos. Reflexiones sobre el concepto caudal ecológico y su Apl en el ecuador [Internet]. 2010;40–7. Available from: <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/polemika/article/view/370/489>
5. Ladrera R, Rieradevall M, Prat N. Macroinvertebrados Acuáticos Como Indicadores Biológicos: Una Herramienta Didáctica. *Rev Didáctica* 11 [Internet]. 2013;(2013):19. Available from: http://www.ehu.es/ikastorratza/11_alea/macro.pdf
6. Crettaz M, Juárez R, Aguer I, Borro E. Aplicación de índices de calidad de agua en un arroyo pampeano utilizando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. *Biol Acuática*. 2014;(30):93–105.
7. Paredes E C, Iannacone O J, Alvariño F L. Uso de macroinvertebrados bentonicos como bioindicadores de la calidad de agua en el rio Rimac, Lima-Callao, Peru [Internet]. Vol. 31, *Revista Colombiana de Entomología*. 2005. p. 219–25. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882005000200019&nrm=iso
8. paredes, Christian;Ianacone, José; Alvariño L. Macroinvertebrados bentonicos como indicadores biologicos de la calidad de agua en dos rios de Cajamarca y Amazonas, Peru. *Rev per Ent*. 2004;44:107–18.
9. Arroyo J. C, Encalada AC. Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en bosque de neblina montano. *Av en Ciencias e Ing*. 2009;1(1):11–6.
10. Gastezzi-Arias P, Alvarado-García V, Pérez-Gómez G. La importancia de los ríos como corredores interurbanos. 2017;31(2):39–45.

11. Pardo I, Álvarez M, Casas J, Moreno JL, Vivas S, Bonada N, et al. El hábitat de los ríos mediterráneos . Diseño de un índice de diversidad de hábitat de diversidad de hábitat . 2002;(January).
12. Pozo W. Valoración De Servicios Ecosistémicos Hídricos En La Generación De Energía Hidroeléctrica En El Cantón Cotacachi. 2012; Available from: http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1379/1/02_ICA_286_TESIS.pdf
13. Prado E. Pontificia Universidad Católica del Ecuador .Estado de la calidad del agua del río Teaone (cuenca baja) entre la termoeléctrica y la desembocadura del río Esmeraldas, sector de la propicia 1. 2015.
14. Mora J. Uso de macroinvertebrados como metodo de evaluacion de la calidad del rio Salima Atacames. 2018.
15. Acevedo Méndez CD, Acevedo Méndez OD, Acevedo Méndez J, Arroyo Osorno E, Carballo Ótarola K, Masís Castillo K, et al. Utilizacion Del Indice Bmwp-Cr Para Analisis De La Calidad Del Agua En Quebrada Barro Montecillos Durante El Año 2013. 2013;27. Available from: <http://www.fod.ac.cr/globe/wp-content/uploads/2014/03/Colegio-Gregorio-José-Ramírez-Castro-GLOBE-2013.pdf>
16. Sánchez DR. Calidad del agua y su control. 2016;93. Available from: http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/11_Calidad-agua-y-control_v2015_resumen.pdf
17. MENDOZA LMV. Diversidad , distribución de la ictiofauna en el gradiente altitudinal y estado de conservación del Río Huallaga (Pasco - Huánuco – San Martín) Para optar el Título Profesional Bióloga con mención en Hidrobiología. 2018;
18. Vásquez GS, Castro GM, Gonzáles IM, Pérez RR, Castro TB. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. ContactoS [Internet]. 2006;60:41–8. Available from: <http://www.izt.uam.mx/contactos/n60ne/Bio-agua.pdf>
19. Elsa PM dos S, Kongthon A. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. Appl Microbiol Biotechnol [Internet]. 2006;85(1):2071–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.07.003>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.080>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.bbapap.2013.06.007>
<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2018.02309/full>
<http://dx.doi.org/10.1007/s13762->
20. Cardenas M. Calidad de las aguas de los cuerpos hidricos de la provincia del Guayas mediante el uso de Macroinvertebrados acuaticos registrados durante

- noviembre de 2012 y marzo de 2013. Prefect del Guayas. 2013;86.
21. Diana MSM. Determinación del índice BMWP/Col, mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua. *J Chem Inf Model*. 2019;53(9):1689–99.
 22. Álvarez L. Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuático como indicadores de la calidad del agua. *Inst Investig Recur biológicos Alexander von Humboldt* [Internet]. 2005;(05):223. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.11761/31357>
 23. Cordero A. Calidad del agua para los ríos alto andinos, mediante indicadores biológicos. *Disertación. CNR-ISTI Tech Rep* [Internet]. 2015;3(2):356–69. Available from: https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/METIS_D1.4_v3.pdf<https://www.metis2020.com/documents/deliverables/index.html><https://www.metis2020.com/metis-deliverables-d1-4-d2-4-d3-3-d4-3-d6-5-and-d7-3-were-completed-in-february-2015/index.html>
 24. Pla L. Biodiversidad: Inferencia Basada En El Índice de Shannon y riqueza. *Interciencia* [Internet]. 2006;31(8):583–90. Available from: <http://www.redalyc.org/pdf/339/33911906.pdf>
 25. Moreno C. Manuales y tesis. *J Mater Process Technol* [Internet]. 2018;1(1):1–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001><http://dx.doi.org/10.1016/j.pwttec.2016.12.055><https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006><https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.04.024><https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127252><http://dx.doi.org/10.1016/j.pwttec.2016.12.055>
 26. Guijarro M. Caracterización de la calidad de agua del río Teaone utilizando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores”. Vol. 16. 2015.
 27. Asamblea Constituyente del Ecuador. Constitución del Ecuador. *Regist Of*. 2008;(20 de Octubre):173.
 28. Nacional R del EA. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua. 2015;1–23.
 29. Cuenca A. Comparación de la acumulación de detritos leñosos en la cuenca de los ríos Atacames y Súa: influencia del uso de cambio de suelo. 2018;44p.
 30. GAD Atacames. Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Canton Atacames. 2014;
 31. Barbour MT, Faulkner C, Gerritsen J. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish*, Second Edition, EPA 841-B-99-002, 1999 EPA Office of Water. 1999;

Available from: <http://www.epa.gov/OWOW/monitoring/techmon.html>

32. Martínez-Sanz C, Puente-García SM, Rebolledo ER, Jiménez-Prado P. Macroinvertebrate richness importance in coastal tropical streams of esmeraldas (Ecuador) and its use and implications in environmental management procedures. *Int J Ecol.* 2014;2014(January).
33. Vergara Olaya DL. Entomofauna lítica bioindicadora de la calidad del agua. 2009;88.
34. Sandoval S, Escobar-Flores JG, Sánchez-Ortíz E. Water resource inventory in the sierra madre occidental (Mexico) based on remote sensing and GIS. *Investig Geogr.* 2020;(102):1–12.
35. Sanabria K. Cuerpos de agua productivos en el delta del ebro. 2020.
36. Sánchez I. Composición de la Comunidad de Macroinvertebrados a lo largo de una Gradiente Longitudinal, Cabecera – Tramo Medio, en el Río Atacames (Esmeraldas, Ecuador). 2015.
37. Londoño YB, Moreno D patricia, Suarez O lucia. Diversidad De Macroinvertebrados Acuáticos Y Su Relación Con La Calidad Del Agua En Tres Quebradas. 2017;
38. Ministerio del Ambiente. Acuerdo Ministerial 097-A [Internet]. Libro VI, Anexo 4. 2015. Available from: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf> http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf
39. Córdoba-Ariza PG, Rincón-Palau K, Donato-R. JC, González-Trujillo JD. Variación espacio-temporal de macroinvertebrados acuáticos en la Lindosa, Guayana colombiana. *Rev Biol Trop.* 2020;68(2):452–65.
40. Veintimilla M. Delimitación de la cuenca principal de la Provincia de Esmeraldas. 2015.
41. Villamarín C, Rieradevall M, Prat N. Macroinvertebrate diversity patterns in tropical highland andean rivers. *Limnetica.* 2020;39(2):677–91.
42. Jiménez-Prado P, Arranz I. The response of fish size and species diversity to environmental gradients in two Neotropical coastal streams. *Hydrobiologia* [Internet]. 2021 Jul 21; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04654-2>
43. Valenzuela CP. Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados en el río Cinto en un rango altitudinal de 2.750 – 3.500 m.s.n.m., Quito Ecuador Trabajo. Vol. 2017, Universidad Central Del Ecuador. 2017.






44. Villamarín C. Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos del Ecuador y Perú . Diseño de un sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos. Vol. Tesis Doct, Universitat de Barcelona. 2012.

Anexos

Anexo 1. Índice BMWP

Los macroinvertebrados son utilizados como bioindicadores, evalúa la calidad del agua por medio de un gradiente de mayor a menor tolerancia frente a la contaminación y se reflejan en razón a la tabla 3.

Tabla 8. Valores del índice BMWP para determinar la calidad del agua






Clase	Calidad	Valor del BMWP	Significado	Color
I	Buena	>150	Aguas muy limpias	
		101-120	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	61-100	Se evidencia efectos de la contaminación	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	

Recuperado de Roldán,2003 (33).

Anexo 2. Índice ASTP

El índice ASTP es igual al puntaje total BMWP dividido por el número de taxa encontrados en un muestreo y se refleja de acuerdo a los valores de la tabla 4.

Tabla 9. Valores del Índice ASTP para determinar la calidad de agua






Clase	Calidad	Valor del ASPT	Significado	Color
I	Buena	>9-10	Aguas muy limpias	
II	Aceptable	>6,5-8,7	Ligeramente contaminada	
III	Dudosa	>4,5-6,5	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	>3-4,5	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	1-3	Aguas fuertemente contaminadas	

Recuperado de Roldán, 2003 (33).

Anexo 3. Índice IBF

El índice biótico de familias es sacado a partir del BMWP, en base a su abundancia relativa, donde los valores bajos corresponden a un mejor diagnóstico como se expresa en la tabla 5.

Tabla 10. Valores del índice IBF para determinar calidad del agua

Clase	Valores del índice IBF	Calidad del agua	Color
1	>3,75	Excelente	
2	3,786-4,26	Muy buena	
3	4,26-5,00	Buena	
4	5,01-5,75	Regular	
5	5-76-6,50	Relativamente malo	
6	6,51-7,25	Mala	
7	7,26-10	Muy mala	

Modificado por Hauer y Lamberti (23).

Anexo 5. Identificación muestras de macroinvertebrados

