



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Determinación de la calidad de agua en la cuenca alta de la microcuenca del
Río Santa Rosa mediante el estudio de macroinvertebrados como
bioindicadores.**

**MATAMOROS ROMERO JORDAN PAUL
INGENIERO AMBIENTAL**

**RUEDA ERAS MELANIE KRISHEL
INGENIERA AMBIENTAL**

**MACHALA
2025**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Determinación de la calidad de agua en la cuenca alta de la
microcuenca del Río Santa Rosa mediante el estudio de
macroinvertebrados como bioindicadores.**

**MATAMOROS ROMERO JORDAN PAUL
INGENIERO AMBIENTAL**

**RUEDA ERAS MELANIE KRISHEL
INGENIERA AMBIENTAL**

**MACHALA
2025**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

**Determinación de la calidad de agua en la cuenca alta de la
microcuenca del Río Santa Rosa mediante el estudio de
macroinvertebrados como bioindicadores.**

**MATAMOROS ROMERO JORDAN PAUL
INGENIERO AMBIENTAL**

**RUEDA ERAS MELANIE KRISHEL
INGENIERA AMBIENTAL**

LUNA FLORIN ALEX DUMANY

**MACHALA
2025**



TESIS MATAMOROS RUEDA

6%
Textos sospechosos



< 1% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
5% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TESIS MATAMOROS RUEDA.pdf	Depositante: ALEX DUMANY LUNA FLORIN	Número de palabras: 19.303
ID del documento: a5aad2b2397dc4f7328a7649b5a56cb5a418f9ef	Fecha de depósito: 22/7/2025	Número de caracteres: 134.869
Tamaño del documento original: 1,05 MB	Tipo de carga: interface	
	fecha de fin de análisis: 22/7/2025	



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	revistas.ucr.ac.cr Efectos de la deforestación sobre la diversidad y la estructura... 2 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (91 palabras)
2	dspace.ups.edu.ec https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21097/1/UPS-CT009273.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (42 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.dspace.espol.edu.ec Caracterización y evaluación de la cuenca alta del río... http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/118/4/141.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
2	Documento de otro usuario #12f8c2 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)
3	repositorio.utn.edu.ec https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9415/2/03_RNR_328_TRABAJO_GRADO.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
4	dspace.ups.edu.ec Evaluación de la calidad de agua en la reserva municipal de l... http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21097/1/UPS-CT009273.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)
5	Documento de otro usuario #562b56 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

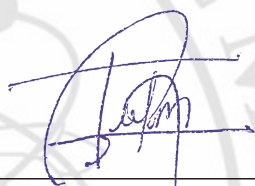
Los que suscriben, MATAMOROS ROMERO JORDAN PAUL y RUEDA ERAS MELANIE KRISHEL, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Determinación de la calidad de agua en la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa mediante el estudio de macroinvertebrados como bioindicadores., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

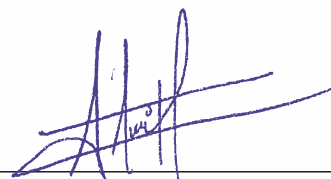
Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



MATAMOROS ROMERO JORDAN PAUL

0750886996



RUEDA ERAS MELANIE KRISHEL

0706984416



DEDICATORIA

Con amor y gratitud dedico este trabajo a mis padres, Reina e Iván, por su amor incondicional y apoyo indeleble en cada momento difícil de esta etapa en mi vida, por ser mi ejemplo a seguir y los pilares fundamentales en mi vida. A mi hermano Jefferson por el apoyo condicional, consejos y motivación constante, que no permitió que me rinda en cada caída. A Maylin, Adisha y Jhoissy, mis amigas y confidentes. Este trabajo es por y para ustedes, gracias por creer en mí, cada uno ocupa un lugar especial en este logro.

Matamoros Romero Jordan Paul

Desde el fondo de mi corazón dedico este trabajo a Dios, a mi querido abuelito Amador, mi ángel de la guarda en el cielo, cuya presencia en mi vida ha permitido que pueda crecer y alcanzar mis sueños, su legado vive en mí y me guía en cada paso que doy. A mi madre, Mirela, a mis hermanos Icker y Luciana, han sido mi compañía y mi apoyo durante este proceso, todos mis logros y mis esfuerzos son por y para ustedes.

Rueda Eras Melanie Krishel

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, por darme fortaleza, salud y sabiduría en esta larga travesía. A mis padres y hermano por motivarme cada día, por brindarme su apoyo incondicional para lograr alcanzar esta meta, su compañía cada día me hizo más fuerte. Al Ing. Alex Luna, por sus enseñanzas, apoyo y guía durante este proceso, su conocimiento y experiencia permitió que este trabajo salga adelante. A la Universidad Técnica de Machala por la formación académica, por los conocimientos y valores impartidos dentro del aula de clase. A mis queridos y apreciados amigos Joseph, Adriana, María Belén y Cristina, que me acompañaron durante esta increíble etapa de mi vida, llenándola de experiencias inolvidables y buenos momentos. Finalmente, a mi compañera de tesis y amiga Melanie, por su apoyo, consejos y gran amistad. Todas las experiencias vividas van a quedar marcadas en mi corazón y en mi mente para siempre.

Matamoros Romero Jordan Paul

Ante todo, gracias a Dios, por llenarme de sabiduría y fortaleza, en esta etapa tan importante de mi vida. A mi madre y hermano por haberme acompañado durante todo este proceso, agradezco cada abrazo, cada consejo, cada palabra de aliento que supieron darme para no rendirme, su apoyo y amor me han llenado el corazón. Al Ing. Alex Luna, que desarrollo un excelente papel como tutor, gracias por su tiempo, su guía, y las enseñanzas brindadas, agradezco cada consejo que me ha dado para poder seguir adelante. A mis amigos Robert y Karelys, quienes me guiaron y acompañaron en mi proceso académico. Agradezco a mi amigo y compañero de tesis Jordan, por su compañía, consejos, paciencia y gran amistad. Me quedo con todo lo bonito que viví en este proceso académico.

Rueda Eras Melanie Krishel

RESUMEN

La calidad del agua es un factor fundamental para la salud de los ecosistemas, la salud humana y el desarrollo socioeconómico de las comunidades. En este marco, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua de la cuenca alta de la Microcuenca del Río Santa Rosa a través del análisis de comunidades de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y de parámetros fisicoquímicos, con el fin de determinar el estado ecológico del ecosistema. Para lograrlo se realizaron muestreos de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, se tomaron parámetros fisicoquímicos en campo y se desarrollaron índices de diversidad como Shannon-Wiener y Simpson, e índices biológicos como BMWP/Col y EPT. Se realizaron muestreos en 3 estaciones distribuidas a lo largo de la cuenca alta durante dos temporadas del año, época seca y época lluviosa. Para la recolección de macroinvertebrados se empleó el uso de técnicas de muestreo específicas como red Surber y red de patada, que fueron identificados hasta nivel de familia con la ayuda de guías taxonómicas y bases de datos. Para los parámetros fisicoquímicos que fueron medidos en campo se empleó el equipo multiparámetro PC400S. Posteriormente se aplicaron los índices mencionados para determinar la calidad del agua. Los resultados obtenidos demostraron que en la época seca se presentan mejores condiciones ecológicas, el índice de Shannon-Wiener evidenció un valor de $H = 1,63$ indicando una diversidad moderadamente alta, mientras que Simpson presentó un valor de $D = 0,63$ correspondiente a una dominancia moderada. En cuanto al índice BMWP/Col se determinó una calidad ACEPTABLE del agua, y según el índice EPT la calidad del cuerpo de agua fue clasificada como REGULAR dentro de la cuenca alta de la Microcuenca del Río Santa Rosa. Los resultados nos demuestran que la aplicación de estos índices, como herramientas complementarias, permite contrastar las condiciones ecológicas en las que se encuentra la cuenca alta de la Microcuenca del Río Santa Rosa en diferentes épocas del año.

Palabras clave: calidad del agua, macroinvertebrados, índices biológicos, BMWP, EPT, bioindicadores.

ABSTRACT

Water quality is a fundamental factor for the health of ecosystems, human health, and the socioeconomic development of communities. In this context, this research aimed to evaluate the water quality of the upper basin of the Santa Rosa River micro-watershed through the analysis of aquatic macroinvertebrate communities as bioindicators and physical-chemical parameters, in order to determine the ecological status of the ecosystem. To achieve this, samples of aquatic macroinvertebrate communities were collected, in situ physical-chemical parameters were measured in the field, and diversity indices such as Shannon-Wiener and Simpson were calculated, along with biological indices such as BMWP/Col and EPT. Sampling was conducted at 3 stations distributed along the river during two seasonal periods: dry season and rainy season. For the collection of macroinvertebrates, specific sampling techniques were used, such as the Surber net and kick sampling, and organisms were identified to family level using taxonomic guides and databases. For in situ measurement of physical-chemical parameters, a PC400S multiparameter meter was used. Subsequently, the mentioned indices were applied to determine the water quality. The results obtained demonstrated that during the dry season, better ecological conditions were present. The Shannon-Wiener index recorded a value of $H' = 1.63$, indicating a moderately high diversity, while the Simpson index showed a value of $D = 0.63$, corresponding to moderate dominance. Regarding the BMWP/Col index, an ACCEPTABLE water quality was determined, and according to the EPT index, a REGULAR water quality was identified for the water body in the upper basin of the Santa Rosa River micro-watershed. The results show that the application of these indices as complementary tools allows for determining the contrast in ecological conditions in which the upper basin of the Santa Rosa River micro-watershed is found during different times of the year.

Keywords: water quality, macroinvertebrates, biological indices, BMWP, EPT, bioindicators.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	15
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
A. Formulación del problema	17
B. Antecedentes	18
III. JUSTIFICACIÓN.....	20
IV. OBJETIVOS.....	21
A. Objetivo general.....	21
B. Objetivos específicos	21
V. MARCO TEÓRICO	22
A. El Agua	22
1. Agua cruda	22
2. Aguas residuales	22
3. Calidad del agua.....	23
B. Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos para la calidad del agua	23
1. Parámetros físicos	23
2. Parámetros Químicos.....	24
3. Parámetros biológicos:	24
C. Cuencas hidrográficas.....	25
1. Partes de una cuenca hidrográfica	25
a) Parte alta	25
b) Parte media	25
c) Parte baja	26
2. Clasificación de las cuencas hidrográficas	26
a) Por su balance hídrico.....	26

b) Por su sistema de drenaje	26
3. División de las cuencas hidrográficas	27
a) Subcuenca	27
b) Microcuenca	27
c) Quebradas	27
4. Manejo integral de cuencas hidrográficas	28
5. Importancia de una microcuenca	28
D. Macroinvertebrados como bioindicadores	29
1. Clasificación de los principales órdenes de macroinvertebrados acuáticos	29
a) Coleóptera	29
b) Díptera	30
c) Ephemeroptera	31
d) Trichoptera	32
e) Odonata	32
f) Megalóptera	33
g) Plecóptera	34
h) Hemíptera	34
2. Bases de datos de macroinvertebrados acuáticos	35
a) North American Aquatic Macroinvertebrate Digital Reference Collection NAAMDRC	35
b) Integrated Taxonomic Information System ITIS	35
c) Freshwater ecology.info	36
E. Índices biológicos para determinar la calidad del agua	36
1. Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col)	36
2. Índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera, Trichóptera)	38

3.	Índice de diversidad de Shannon-Wiener	39
4.	Índice de Simpson.....	40
F.	Marco Legal	40
1.	Constitución de la República del Ecuador (2008)	41
2.	Código Orgánico del Ambiente	41
3.	Acuerdo Ministerial 097.....	41
4.	Ordenanza del Cantón Santa Rosa sobre Protección del Agua.....	42
VI.	METODOLOGÍA.....	43
A.	Enfoque de investigación	43
B.	Variables de estudio.....	43
C.	Descripción del área de estudio	44
D.	Materiales, equipos e instrumentos.....	45
E.	Métodos	46
1.	Fase de estado del arte	46
2.	Fase de campo	47
a)	Muestreo de macroinvertebrados	48
b)	Muestreo y análisis de agua.....	50
3.	Fase de laboratorio	50
a)	Identificación de macroinvertebrados.....	50
b)	Parámetros de calidad del agua	50
4.	Fase de gabinete	51
a)	Cálculo del índice de Shannon – Wiener	51
b)	Cálculo del índice de Simpson	51
c)	Cálculo del índice BMWP/Col.....	51
d)	Cálculo del índice EPT	51

VII. RESULTADOS	53
A. Índices de diversidad de las poblaciones de macroinvertebrados.....	53
1. Análisis de familias de macroinvertebrados por estación	53
a) Estación 1 La Chonta (LCE1)	53
b) Estación 2 Los Gringos (LGE2).....	57
c) Estación 3 El Guayabo (EGE3).....	60
2. Análisis de familias de macroinvertebrados en la cuenca alta.	64
a) Distribución en época seca	64
b) Distribución en época lluviosa	66
B. Análisis de los parámetros físico químicos.	68
1. pH.....	69
2. Temperatura	70
3. Conductividad eléctrica	71
4. Sólidos disueltos totales (SDT).....	72
C. Análisis de los índices bióticos BMWP/Col y EPT.....	73
1. Índice BMWP/Col	73
a) Por estaciones.....	73
b) A nivel de la cuenca alta.....	76
2. Índice EPT	77
a) Por estaciones.....	77
b) A nivel de la cuenca alta.....	80
VIII. DISCUSIONES	81
IX. CONCLUSIONES	84
X. RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

ANEXOS.....	99
--------------------	-----------

LISTA DE TABLAS

TABLA I. CLASIFICACIÓN DE CUENCAS, SUBCUENCAS Y MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS.	27
TABLA II. PUNTAJE DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS PARA EL ÍNDICE BMWP/Col.	37
TABLA III. CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SU SIGNIFICADO, CON LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE BMWP/Col.	38
TABLA IV. VALORES PARA LA CALIDAD DEL AGUA EMPLEANDO EL ÍNDICE EPT.	39
TABLA V. RANGO DEL ÍNDICE DE SHANNON-WIENER	40
TABLA VI. MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS EMPLEADOS.....	45
TABLA VII. COORDENADAS (WGS UTM 84) DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO ..	47
TABLA VIII. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTACIÓN 1 LA CHONTA (LCE1) ÉPOCA SECA	54
TABLA IX. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTACIÓN 1 LA CHONTA (LCE1) ÉPOCA LLUVIOSA.....	56
TABLA X. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTACIÓN 2 LOS GRINGOS (LGE2) ÉPOCA SECA	58
TABLA XI. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTACIÓN 2 LOS GRINGOS (LGE2) ÉPOCA LLUVIOSA.....	60
TABLA XII. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTACIÓN 3 EL GUAYABO (EGE3) ÉPOCA SECA	61
TABLA XIII. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTACIÓN 3 EL GUAYABO (EGE3) ÉPOCA LLUVIOSA.....	63
TABLA XIV. ÍNDICES DE DIVERSIDAD CUENCA ALTA MICROCUENCA DEL RÍO SANTA ROSA ÉPOCA SECA.....	65
TABLA XV. ÍNDICES DE DIVERSIDAD CUENCA ALTA MICROCUENCA DEL RÍO SANTA ROSA ÉPOCA LLUVIOSA	67

TABLA XVI. PARÁMETROS TOMADOS IN SITU POR ÉPOCA	68
TABLA XVII. CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE ÍNDICE BMWP/Col POR ESTACIÓN EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA.....	73
TABLA XVIII. VALOR PROMEDIO Y RANGO DEL ÍNDICE BMWP/Col POR ESTACIÓN ENTRE ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA	74
TABLA XIX. VALOR PROMEDIO TOTAL BMWP/Col EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA A NIVEL DE LA CUENCA ALTA	76
TABLA XX. CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE ÍNDICE EPT POR ESTACIÓN EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA	77
TABLA XXI. VALOR PROMEDIO Y RANGO DEL ÍNDICE EPT POR ESTACIÓN ENTRE ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA.....	78
TABLA XXII. VALOR PROMEDIO TOTAL EPT EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA A NIVEL DE LA CUENCA ALTA	80

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Partes de una cuenca hidrográfica	26
Fig. 2. Ejemplares del orden Coleóptera	30
Fig. 3. Ejemplares del orden Díptera	31
Fig. 4. Ejemplares del orden Ephemeroptera	31
Fig. 5. Ejemplares del orden Trichoptera	32
Fig. 6. Larva ejemplar de la familia Aeshnidae del orden Odonata.....	33
Fig. 7. Ejemplar del orden Megalóptera, Corydalidae: <i>Corydalus sp</i> ; a) ninfa; b) agalla abdominal	33
Fig. 8. Ejemplares del orden Plecóptera	34
Fig. 9. Ejemplar del orden Hemíptera, Naucoridae: <i>Cryphocricos sp</i>	35
Fig. 10. Mapa de ubicación de la Microcuenca del Río Santa Rosa	44
Fig. 11. Flujograma metodológico	46
Fig. 12. Mapa de estaciones de muestreo	48
Fig. 13. Abundancia relativa de macroinvertebrados en LCE1 época seca	54
Fig. 14. Abundancia relativa de macroinvertebrados en LCE1 época lluviosa	56
Fig. 15. Abundancia relativa de macroinvertebrados en LGE2 época seca	58
Fig. 16. Abundancia relativa de macroinvertebrados en LGE2 época lluviosa	59
Fig. 17. Abundancia relativa de macroinvertebrados en EGE3 época seca	61
Fig. 18. Abundancia relativa de macroinvertebrados en EGE3 época lluviosa	62
Fig. 19. Abundancia relativa de macroinvertebrados en la cuenca alta época seca.....	65
Fig. 20. Abundancia relativa de macroinvertebrados en la cuenca alta época lluviosa.....	67
Fig. 21. a) Valor de pH por estación y época; b) Diferencia absoluta de pH entre épocas	69
Fig. 22. a) Valor de temperatura por estación y época; b) Diferencia absoluta de temperatura entre épocas.....	70

Fig. 23. a) Valor de conductividad por estación y época; b) Diferencia absoluta de conductividad entre épocas	71
Fig. 24. a) Valor de SDT por estación y época; b) Diferencia absoluta de SDT entre épocas	72
Fig. 25. Variación de los valores de BMWP/Col en época seca y lluviosa	75
Fig. 26. Comparación del índice BMWP/Col por época	75
Fig. 27. Variación de los valores de EPT en época seca y lluviosa	79
Fig. 28. Comparación del índice EPT por época	79

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

BBI	Belgium Biotic Index
BMWP	Biological Monitoring Working Party
BMWP/Col	Biological Monitoring Working Party adaptado a Colombia
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
D	Índice de Simpson
EGE3	Estación 2 El Guayabo
EPT	Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
H	Índice Shannon – Wiener
ICA	Índice de Calidad del Agua
INABIO	Instituto Nacional de Biodiversidad
ITIS	Integrated Taxonomic Information System
LCE1	Estación 1 La Chonta
LGE2	Estación 2 Los Gringos
NAAMDRC	North American Aquatic Macroinvertebrate Digital Reference Collection
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
pH	Potencial de Hidrógeno
RIVPACS	River Invertebrate Prediction and Classification System
TBI	Trend Biotic Index

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más susceptible a impactos negativos, además de significar un factor esencial que puede limitar el desarrollo de actividades antrópicas, especialmente cuando su calidad se ve afectada [1]. La calidad de un cuerpo de agua puede verse afectada debido a la expansión urbana, descargas de aguas residuales domésticas, municipales e industriales, expansión agrícola y ganadera, así como la extracción de materias primas, lo que provoca el deterioro de la calidad del agua y pérdida de biodiversidad [2].

Durante mucho tiempo, la evaluación de la calidad del agua se ha enfocado en el análisis de las características fisicoquímicas del recurso, no obstante, muchos países han optado por incluir macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de los ecosistemas acuáticos, gracias a las capacidades que tienen para detectar las condiciones cambiantes o estables que pueden atravesar los cuerpos de agua [3].

Los macroinvertebrados acuáticos constituyen uno de los grupos biológicos más representativos de los ecosistemas de agua dulce, presentan una amplia variedad de adaptaciones entre las que se pueden mencionar ciclos de vida complejos, se emplean como bioindicadores para evaluar la calidad y el estado de conservación de los ecosistemas acuáticos, puesto que presentan distintos niveles de tolerancia a diversos tipos de perturbación, por lo que constituyen una herramienta eficaz para determinar la condición de los ambientes acuáticos [4].

Entre las características que destacan a este grupo de animales acuáticos encontramos: su abundancia, alta distribución, facilidad para ser recolectados, su identificación es relativamente más sencilla en comparación con otros grupos más pequeños; en su mayoría son organismos sedentarios que reflejan las condiciones ambientales locales, son visibles a simple vista y poseen una respuesta rápida a los cambios o tensores ambientales [5].

Un cuerpo de agua de alta calidad biológica es aquel que puede albergar una comunidad o conjunto de organismos acuáticos similar a la que se observaría en un entorno acuático con condiciones prístinas, es decir, un entorno libre de impactos o alteraciones antrópicas [6]. De este modo, la conceptualización de calidad de agua no se define en función a sus usos antropogénicos (como consumo, recreación o riego), si no por su capacidad de mantener comunidades y conjuntos de organismos en sus condiciones naturales [7]. La abundancia, presencia o ausencia de estos organismos indican las condiciones en las que se encuentra un cuerpo de agua o un sector de él [3].

Por otra parte, los índices biológicos facilitan la evaluación cuantitativa de la dinámica de las comunidades de macroinvertebrados, permitiendo analizar tanto su composición como los niveles de alteración que estos presentan [8]. Por ejemplo, el Biological Monitoring Working Party (BMWP) es el índice más utilizado para determinar la calidad del agua de un ecosistema mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores; este índice utiliza grupos taxonómicos, independientemente del número de individuos que puedan existir, para poder evaluar las condiciones en las que se encuentra el ecosistema acuático [9].

En general, los índices biológicos facilitan una evaluación integral de los cuerpos de agua, permitiendo identificar variaciones espaciales y temporales mediante la interpretación sencilla de categorías [10]. Esto resulta eficiente para comprender el estado de los diferentes grupos de macroinvertebrados acuáticos [11]. Además, las variables fisicoquímicas y otros factores abióticos tienen una gran influencia en la distribución, abundancia, ciclos de vida y adaptaciones de los macroinvertebrados en ecosistemas lénticos [4].

En el marco de esta investigación se determinará la calidad del agua en la zona alta de la Microcuenca del Río Santa Rosa, a través del uso de macroinvertebrados como bioindicadores. Se calcularán diferentes índices biológicos que permitirán establecer el estado actual del cuerpo de agua, en conjunto de parámetros fisicoquímicos que ayudarán a determinar el estado ecológico del recurso de una manera clara.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cuando se utiliza el termino de agua, se hace referencia desde su composición química hasta el proceso de gestión de esta, con el pasar del tiempo se ha venido evidenciando la escasez del recurso y esto se debe a un deterioro en el ciclo hidrológico, de y al crecimiento y desarrollo de la población [12].

En cuanto a problemas de la calidad del recurso hídrico, tienen origen en las malas prácticas, la contaminación del recurso agua se da con materiales tóxicos y/o sedimentos y su es cada vez escaso; ante la mala práctica del recurso, algunas de las situaciones son críticas, puesto que se dan pérdidas humanas [13].

El área de conservación y uso sustentable de la microcuenca del Río Santa Rosa, de la provincia de El Oro, tiene como problemática la expansión agrícola y ganadera, así como el crecimiento urbano dentro de la microcuenca del río, que han aumentado significativamente en la última década; la calidad del agua de la Microcuenca del Río Santa Rosa se ha visto afectada debido a estas actividades antrópicas, dificultando así el uso que tiene este recurso dentro del cantón, como proveer agua de buena calidad para su consumo.

La escasez de trabajos o estudios realizados dentro de la Microcuenca del río antes mencionado dificulta el control y monitoreo de estas actividades, esto genera un deterioro tanto del recurso hídrico como del ecosistema acuático, poniendo en riesgo la provisión de servicios ecosistémicos y la salud de la población, del mismo modo existe ausencia de estudios en donde existan análisis de calidad del agua de la Microcuenca mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores, limitando así la disponibilidad de datos sobre la dinámica y estado ecológico en la zona, lo que conduce a tener una idea errónea acerca del estado del recurso [14].

Esto puede dar lugar a tener medidas desacertadas para la conservación del agua y ecosistemas acuáticos, disminuyendo gradualmente la calidad del recurso dentro de la Microcuenca del Río Santa Rosa, y de manera paralela, afectando al uso para el consumo humano del cantón.

A. Formulación del problema

¿Cuál es el estado de la calidad del agua de la cuenca alta de la Microcuenca del Río Santa Rosa según el análisis de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y de los parámetros fisicoquímicos, y qué revelan estos resultados sobre su estado ecológico?

B. Antecedentes

Para poder identificar el estado en el que se encuentra un ecosistema, en lo que respecta a calidad de ecosistemas acuáticos, se pueden utilizar como indicadores a las comunidades biológicas, ya que estas, indican las características físicas, químicas y biológicas y a su vez enlazan y reúnen el impacto de los diferentes tipos o presiones en los que se encuentran los hábitats [15].

A comienzos del siglo XX, en Europa se empezó a dar el uso de macroinvertebrados bentónicos, para así poder determinar la calidad de las aguas. Los alemanes Kolkwitz y Marsson, dieron la propuesta a lo que sería el Sistema Saprobio Continental, en donde dieron por asentado lo que sería las bases para que se den los nuevos índices: Trent Biotic Index (TBI), Biological Monitoring Working Party (BMWP), Belgium Biotic Index (BBI), The River Invertebrate Prediction and Classification System (RIVPACS) [16].

En países de América Latina como, México, Venezuela, Colombia, Chile, Ecuador, Bolivia y Argentina, los trabajos realizados son limitados [17]. A pesar de tener escasa información de lo antes mencionado, en países como Argentina y Colombia han adaptado metodologías para el cálculo de este tipo de índices [18]. Con relación a taxonomía, índices biológicos y metodologías que se puedan usar en el estudio e identificación de fauna bentónica en el recurso agua son limitadas en Ecuador [19].

Debido a la existencia de diversas variables contaminantes, en el recurso hídrico de la provincia de El Oro, se ha tomado la decisión de implementar sistemas de monitoreo y realizar levantamiento de información con el propósito de poder verificar su calidad, se tiene los trabajos que han sido realizados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial El Oro y el Instituto Nacional de Biodiversidad INABIO “ECOSISTEMAS DULCEACUICOLAS DE LA PROVINCIA DE EL ORO: Peces y macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos del Páramo al Manglar” este trabajo se lo llevo a cabo en diferentes cuerpos de agua de la provincia de El Oro [20].

Del mismo modo, otro de los trabajos desarrollados en la provincia se hizo en la microcuenca del río Piñas por [21], en donde se realizó la evaluación de la calidad del agua, haciendo uso de los índices BMWP e ICA mediante el uso de macroinvertebrados; el desarrollo de otro trabajo de evaluación de la calidad de agua de los ríos pertenecientes al cantón Portovelo, Amarillo y Calera, se dio en el año 2021 por [22].

En lo que respecta al cantón Santa Rosa, se han llevado a cabo pocos estudios de Calidad de Agua, entre estos estudios tenemos a [14] que evaluó la calidad de agua de la reserva municipal de la microcuenca alta del río Santa Rosa basándose en la metodología de macroinvertebrados bentónicos.

III. JUSTIFICACIÓN

El recurso agua es fundamental para el desarrollo de la vida; en todo el mundo, por el desarrollo de la sociedad, se ha venido evidenciando un aumento de actividades como agricultura, minería, entre otras [23], por lo que existe una alta demanda de este recurso, haciendo que su oferta sea más complicada y a su vez existan conflictos por el mismo, debido a esto se ve una afectación gradual de su calidad [24].

Tomando en cuenta este enfoque de, cuerpos de agua dulce, como es el caso del río Santa Rosa, que no solo representa una fuente de vida para la comunidad, sino también que sirve como hábitat y sustento de muchas especies dentro de la zona de estudio, de esta manera el manejo adecuado de los parámetros de calidad de este recurso son una prioridad para que exista un equilibrio ecológico.

En nuestro país, la mayor parte de estudios realizados en base a calidad de agua han sido bajo el análisis de indicadores fisicoquímicos, tomando en cuenta que estos análisis deben tener como complemento el análisis de indicadores biológicos, como los macroinvertebrados acuáticos, facilitando así una visión más completa del estado en el que está el recurso [25]. El uso de los macroinvertebrados es extenso por ser delicados, ya que ante cualquier cambio pueden reflejar perturbaciones a largo plazo [23].

Al realizar este estudio en el Río Santa Rosa se podrá generar información que será importante para así conocer el estado en el que se encuentra; el acceder a esta información que se quiere generar es complicada por el hecho de no contar con estudios realizados en esta área en específica, es por esto que los resultados obtenidos serán útiles como herramientas para tomar decisiones en cuanto a políticas que permitan la conservación y manejo sostenible, tomando en cuenta la aplicación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en especial del ODS 6, en donde se plantea que se garantice la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y saneamiento para todos [26].

Por último, el presente estudio fortalecerá el conocimiento académico y científico del país, complementando así el vacío que existe ante la falta de estudios de macroinvertebrados, a su vez, otorgará a la autoridad local y su comunidad una herramienta que facilitará un monitoreo continuo y la preservación del recurso agua en el cantón.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Evaluar la calidad del agua de la cuenca alta de la Microcuenca del Río Santa Rosa a través del análisis de comunidades de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y de parámetros fisicoquímicos, con el fin de determinar el estado ecológico del ecosistema.

B. Objetivos específicos

- Ejecutar muestreos en diferentes tramos de la cuenca alta del río Santa Rosa para la recolección de diferentes comunidades de macroinvertebrados.
- Identificar las comunidades de macroinvertebrados para la descripción de las relaciones entre la diversidad y abundancia e índices biológicos, determinando el estado ecológico del ecosistema.
- Determinar la calidad del recurso hídrico por medio de indicadores fisicoquímicos.

V. MARCO TEÓRICO

A. *El Agua*

El agua es un recurso renovable fundamental para la vida y ha sido clave para el asentamiento de comunidades humanas cerca de fuentes hídricas. Fluye en océanos, ríos, la atmósfera y otros reservorios a través del ciclo del agua; su importancia radica tanto en su cantidad como en su calidad, ya que la contaminación de las fuentes de agua ha generado problemas de salud en el pasado [27].

Es el elemento primordial que sustenta la existencia y la supervivencia de todos los seres vivos en el planeta, desempeña un papel crucial en diversos ámbitos, desde la producción agrícola hasta su uso como materia prima en la generación de energía hidroeléctrica. Por estas razones, es fundamental implementar regulaciones que garanticen su uso sostenible y responsable [28].

1. *Agua cruda*

Se refiere a toda aquella que se encuentre en su estado natural, sin haber pasado por procesos de purificación o tratamientos y que está presente en el ambiente, tanto en quebradas, ríos, lagos, arroyos u océanos, etc. [27].

2. *Aguas residuales*

Son aquellas que han sido utilizadas y modificadas por diversas actividades humanas, como las domésticas, industriales y agrícolas; contienen una mezcla compleja de contaminantes que incluye materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos, sólidos suspendidos, metales pesados y compuestos químicos disueltos [29].

Debido a sus características fisicoquímicas y biológicas alteradas, estas aguas no son aptas para el consumo humano y pueden representar un riesgo significativo para los ecosistemas y la salud pública [30].

3. Calidad del agua

Se refiere a las condiciones fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas del agua, evaluadas a través de indicadores y parámetros que determinan su idoneidad para diferentes usos [31]. La calidad del agua está influenciada por los cambios que experimentan las fuentes hídricas debido a factores como el vertido de líquidos residuales sin tratamiento, el desarrollo industrial y la expansión de actividades agrícolas, entre otros [32].

Asimismo, se puede describir como el estado y la estructura de los organismos acuáticos presentes en los cuerpos de agua, además de considerarse una combinación de parámetros físicos, especificaciones y concentraciones de sustancias inorgánicas y orgánicas [33].

B. Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos para la calidad del agua

1. Parámetros físicos

Según [34] los parámetros físicos que se deben evaluar en los cuerpos de agua son los siguientes:

- **Turbidez:** Se tiene la presencia de turbidez cuando hay materia orgánica e inorgánica dividida finamente, organismos microscópicos y material suspendido y coloidal como lomo y arcilla.
- **Olor:** El olor en los cuerpos de agua es por los distintos tipos de sustancias que se encuentran, generalmente, se debe a la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas (Sulfuro de hidrogeno).
- **Color:** Esto es por la presencia de sustancias como el humus, material orgánico disuelto y iones metálicos naturales.
- **Conductividad Eléctrica:** Esta medida permite conocer los iones disueltos o constituyentes iónicos presentes en una solución acuosa, lo que nos indica la capacidad que tiene ese cuerpo de agua para pasar electricidad.
- **Temperatura:** Este parámetro es importante que se realice in-situ, esto se debe a que los resultados de estas mediciones influirán en los parámetros de pH, conductividad y alcalinidad.
- **Sólidos Totales:** Permite estimar el contenido del material que se encuentra suspendido y disuelto presente en el cuerpo de agua.

2. *Parámetros Químicos*

Según [35] los parámetros químicos que se toman en cuenta para establecer la calidad de un cuerpo de agua son:

- **pH:** El potencial de hidrogeno nos indica la magnitud en la que se encuentran las condiciones básicas o acidas del cuerpo de agua.
- **Alcalinidad:** Este parámetro ayuda a contrarrestar las condiciones acidas y en los cuerpos de agua cruda.
- **Nitrógeno total:** Compuesto de nitrógeno orgánico, nitrato, nitrito y amoníaco. Por ser N, la síntesis de proteína será de importancia para conocimiento de datos al estar presente en el agua.
- **Fosforo:** Las formas más comunes en la que se puede encontrar al fosforo en un cuerpo de agua es por medio de: fosfatos orgánicos, ortofosfatos y polifosfatos.
- **Materia orgánica:** Con la presencia de esta, se encuentra el color, sabor y olor en un cuerpo de agua:
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Se refiere al oxigeno que consumen los agentes reductores presentes en los cuerpos de agua.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):** Refiere a la dosis de oxígeno que se necesita para la descomposición, por acción bioquímica aerobia, de la materia orgánica.
- **Oxígeno Disuelto:** La presencia de este parámetro, depende netamente de la presión, temperatura, mineralización, etc.

3. *Parámetros biológicos:*

Según [36] los parámetros biológicos que tradicionalmente se realizan en los ríos son los siguiente:

- **Coliformes totales:** Son las bacterias gram-negativas que general, en 1 día, gases y ácidos como producto de la fermentación de la lactosa.
- **Coliformes fecales:** Son bacterias gram-negativas, que se encuentran en el sistema de animales y humanos, su presencia en un cuerpo de agua indica que han vertido aguas residuales.

C. Cuencas hidrográficas

Una cuenca hidrográfica es una unidad espacial y ecológica vulnerable a los impactos del cambio climático y las actividades humanas, que resulta clave para el análisis y la planificación ambiental, representando un sistema integrado donde los procesos naturales y antrópicos interactúan, y su alteración puede generar problemas como deforestación, contaminación del agua, eutrofización, degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, expansión urbana e industrial descontrolada, y disminución en la disponibilidad de recursos hídricos [37].

Es fundamental para la gestión integrada de los recursos hídricos, siendo un espacio delimitado por elevaciones topográficas, donde las precipitaciones y escurrimientos confluyen hacia una corriente principal, finalizando en un punto común de salida [37]. Una gestión adecuada de la cuenca es esencial para mantener la calidad y disponibilidad del agua destinada al consumo humano, la agricultura, la industria y la conservación de los ecosistemas [38].

1. Partes de una cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica está constituida por un río principal, que posee la mayor extensión y transporta el mayor caudal a lo largo de su curso, abarcando el tramo alto, medio y bajo, siendo estos, tres partes fundamentales que dan lugar a la cuenca alta, media y baja [39].

a) Parte alta

En esta zona nacen los ríos y riachuelos producto de deshielos o manantiales naturales, presentando propiedades fisicoquímicas favorables, contando así con la mayor disponibilidad y captación de agua en buenas condiciones; esta parte debe considerarse como una “zona de reserva” ya que la diversidad que contribuye al almacenamiento de agua no debe ser modificada [40].

b) Parte media

Posee caudales constantes durante todo el año hidrológico, su función está relacionada con el escurrimiento de las aguas, confluyendo diferentes caudales al río principal; esta parte presenta niveles medios y altos de contaminación a causa de actividades agrícolas y ganaderas [40].

c) *Parte baja*

Corresponde a la zona donde se deposita el material que ha sido transportado por el río, conformado por cauces naturales que son muy anchos y de gran profundidad, además de presentar un relieve totalmente plano, llamado llanura aluvial [40].



Fig. 1. Partes de una cuenca hidrográfica [40].

2. *Clasificación de las cuencas hidrográficas*

a) *Por su balance hídrico*

Las cuencas hidrográficas se pueden clasificar por su balance hídrico si se compara la oferta y demanda de estas, teniendo de tal manera [41]:

- Cuencas balanceadas: Aquellas que su oferta y demanda son compatibles
- Cuencas deficitarias: Aquellas que la demanda es mayor a su oferta
- Cuencas con exceso: Aquellas que la oferta es mayor a su demanda

b) *Por su sistema de drenaje*

Según el sistema de drenaje que presentan y la conducción final de sus flujos, las cuencas hidrográficas pueden clasificarse en [42]:

- **Arréicas:** Se consideran arréicas las cuencas hidrográficas que no desembocan en un río, mar o lago, a diferencia de ello, sus aguas se desvanecen a través de procesos de evaporación o se infiltran en el suelo, sin generar flujos subterráneos.

- **Criptorréicas:** Se consideran criptorréicas las cuencas hidrográficas que no presentan un sistema organizado o aparente en sus redes de drenaje superficial, además de que corren como flujos de agua subterráneos.
- **Endorréicas:** Las cuencas hidrográficas endorréicas drenan su flujo de agua en embalses y lagos, sin llegar al mar.
- **Exorréicas:** Las cuencas hidrográficas exorréicas conducen su flujo de agua a una red o sistema de drenaje mucho mayor, tales como un gran río principal o el mar.

3. División de las cuencas hidrográficas

Según el nivel de concentración de su red de drenaje, se distinguen unidades más pequeñas dentro de una cuenca hidrográfica, como subcuencas y microcuencas [43].

a) Subcuenca

Desarrolla su drenaje de manera directa al cauce principal de una cuenca; está constituida por varias microcuencas, y, la unión de varias subcuencas conforma una cuenca.

b) Microcuenca

Desarrolla su drenaje de manera directa al cauce principal de una subcuenca; la unión de varias microcuencas conforma una subcuenca.

c) Quebradas

Desarrolla su drenaje de manera directa al cauce principal de una microcuenca, en algunas ocasiones pueden interceptar a grandes cuerpos de agua o ríos; la unión de varias quebradas conforma una microcuenca.

TABLA I. CLASIFICACIÓN DE CUENCAS, SUBCUENCAS Y MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS.

UNIDAD	NÚMERO DE ORDEN	ÁREA EN KM ²
Microcuenca	1, 2, 3	10 - 100
Subcuenca	4, 5	100- 700
Cuenca	6, 7 o más	Mayor a 700

Fuente: [41]

4. Manejo integral de cuencas hidrográficas

Se establece como un proceso que busca aprovechar y proteger los recursos naturales dentro de una cuenca, promoviendo el desarrollo sostenible mediante la gestión coordinada de recursos en un sistema hidrográfico, considerando tanto las necesidades humanas como la protección ambiental; se basa en acciones planificadas y organizadas para garantizar el bienestar social, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental, tanto para las generaciones actuales como futuras, incluyendo la aplicación de técnicas, enfoques legales y socioeconómicos que minimicen los impactos negativos en los recursos hídricos y promuevan su uso eficiente [44].

Las actividades humanas, especialmente las productivas, desempeñan un papel central en el manejo de las cuencas, convirtiéndolas en unidades clave para el análisis y planificación de impactos tanto en las partes altas como bajas de las mismas, de tal manera que se busque integrar las funciones socioambientales con criterios de sostenibilidad para los recursos naturales, demostrando de manera práctica los beneficios de una gestión efectiva de las cuencas, enfocándose así en generar resultados concretos, requiriendo de tal manera una movilización social que promueva condiciones sostenibles y fomente el "poder social" al enfatizar las interacciones entre los recursos naturales y las actividades humanas [45].

5. Importancia de una microcuenca

Las microcuencas son consideradas como unidades estratégicas de planificación e intervención para la recuperación y conservación de los recursos naturales, permitiendo abordar problemáticas locales relacionadas con la calidad ambiental, la conservación de ecosistemas y el uso sostenible de los recursos, como el agua y el suelo; además, debido a su escala manejable, las microcuencas facilitan la implementación de la gestión integrada de recursos hídricos, que ofrece un marco adecuado para entender las interacciones entre los sistemas naturales y sociales [46].

El manejo de microcuencas debe enfocarse en promover la participación comunitaria para garantizar el desarrollo sostenible, asegurando beneficios tanto ecológicos como sociales y económicos [47]. Las acciones en estas áreas deben integrarse con estrategias que permitan un uso racional de los recursos hídricos, la recuperación de la vegetación y la protección contra la erosión, además de garantizar la seguridad alimentaria e hídrica de las comunidades locales [48].

D. Macroinvertebrados como bioindicadores

Los bioindicadores son todos aquellos organismos vivos que, debido a su presencia y abundancia, permiten conocer el proceso o estado del medio en el que estos habitan, toleran el impacto que algún elemento perturbador pueda llegar a ocasionar dentro del medio en el que se encuentren, y habitualmente están relacionados con la calidad del agua, todo esto asociándose a la población de los diferentes individuos presentes, más no de un solo individuo en concreto [49].

Dentro de los ecosistemas acuáticos, los macroinvertebrados han sido una herramienta fundamental como bioindicadores para el estudio de la calidad del agua, esto debido al ciclo de vida más prolongado que estos poseen en relación con otros organismos acuáticos, y a su manera sedentaria de vivir, factores que pueden responder a diferentes cambios espacio temporales de las condiciones ambientales del medio donde habitan [50].

Los macroinvertebrados son señalados como confiables bioindicadores de los cuerpos de agua que han sido alterados por actividades antrópicas, siendo así el grupo de organismos acuáticos usados con más frecuencia para evaluar la calidad del agua en hábitats particulares, tanto en aguas lóaticas como ríos y arroyos [51], así como en aguas lénticas como lagos o lagunas, a diferentes profundidades y en diferentes épocas del año [52].

Los impactos que pueden producirse debido a las actividades antrópicas conducen al cambio de las características físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas acuáticos, lo que simultáneamente, conducirían a un cambio en la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados [52], esto a causa de que interactúan con las características fisicoquímicas, como temperatura, pH y tipos de sustratos de los ecosistemas acuáticos, por lo que son altamente sensibles a la alteración de la calidad del agua [53], reaccionando con distintos grados de tolerancia, lo que demuestra un cambio en el espacio y el tiempo, convirtiéndolos así en una herramienta eficiente y confiable para evaluar la calidad del agua [54].

1. Clasificación de los principales órdenes de macroinvertebrados acuáticos

a) Coleóptera

Este orden es uno de los más diversos, cuyos organismos son mayormente terrestres, no obstante, existe una gran variedad de especies que se han adaptado al medio acuático y han ocupado

una gran cantidad de hábitats diversos, desde ríos y lagos, hasta pozas o humedales, en la mayoría de los cuerpos de agua, pero su mayor diversidad se da en aguas lénticas [55].

Los coleópteros se caracterizan por contar con un ciclo de huevo-larva-pupa-adulto, teniendo una metamorfosis completa, lo que significa que las larvas son completamente diferentes a los adultos; sus huevos son depositados sobre distintos sustratos que se encuentran en el ecosistema dulceacuícola [56]. Aproximadamente el 15% de las especies son acuáticas, y esta adaptación al ecosistema acuático puede darse en varias fases de su ciclo de vida [57], por lo que han logrado perfeccionar sus sistemas de retención y obtención de oxígeno [58].



Fig. 2. Ejemplares del orden Coleoptera [56].

b) Díptera

Son conocidos como insectos holometábolos, es decir que cuentan con una metamorfosis completa (huevo-larva-pupa-adulto), con alrededor de 20 familias acuáticas; sus huevos son depositados bajo la superficie del cuerpo de agua, sobre vegetación flotante o rocas, su hábitat es variado, pueden presentarse en ríos, arroyos, quebradas y lagos, además pueden existir familias tanto herbívoras como carnívoras [56].

Es uno de los órdenes más diversos y ampliamente distribuidos; algunas especies pueden habitar cuerpos de agua con altas corrientes y concentraciones de oxígeno, por otro lado, existen especies que pueden habitar cuerpos de agua con ciertas perturbaciones hasta ambientes con condiciones extremas [57], es decir, llegan a ser resistentes a la falta de oxígeno de un cuerpo de agua, llegando a habitar zonas donde otros macroinvertebrados no pueden hacerlo, lo que los posiciona como bioindicadores de alteraciones o cambios de la calidad del agua [58].



Fig. 3. Ejemplares del orden Díptera [56].

c) *Ephemeroptera*

Conocidos como efímeras, por el periodo corto de vida que presentan los adultos, son un grupo de insectos frágiles y que son únicamente acuáticos, se diferencian del resto debido a que cuentan con un estadio terrestre volador, previo a convertirse en adultos sexualmente maduros, viviendo pocas horas hasta algunos días, simplemente para reproducirse; cuentan con una metamorfosis incompleta, por lo que son insectos hemimetábolos [56].

Habitan en varios tipos de cuerpos de agua, tanto en aguas estancadas como en aguas corrientes, su lugar preferido es la vegetación, rocas o la arena del sustrato [58], forman parte importante de la ecología de estos cuerpos de agua, ya que son descomponedores de materia orgánica y sirven de alimento para otros organismos [56].

A pesar de presentar distintos niveles de tolerancia a las bajas concentraciones de oxígeno, una gran cantidad de familias de ephemeropteros son excelentes indicadores de la calidad del cuerpo de agua, y por lo general, tienen alta sensibilidad a condiciones ácidas [57].



Fig. 4. Ejemplares del orden Ephemeroptera [56].

d) *Trichoptera*

Este orden se caracteriza porque sus larvas son acuáticas y habitan fijadas en sustratos, las larvas predominan en los cuerpos de agua, y a su vez los adultos se encuentran en las cercanías de estos, ya sea en cuerpos de agua lóticos o lénticos, aunque tienen mayor preferencia por los cuerpos de aguas lóticos como ríos y arroyos [56].

La mayoría de las especies de este orden depende del ecosistema acuático para su crecimiento, prefiriendo aguas limpias con excelente oxigenación; caracterizados por su capacidad de ser constructores de refugios con la seda que es producida por las larvas, en conjunto de otros materiales del medio; se alimentan de manera variada, algunas especies son depredadoras, otras detritívoras y otras herbívoras, todas estas particularidades los convierten en bioindicadores de gran relevancia y eficiencia en los ecosistemas dulceacuícolas [58].



Fig. 5. Ejemplares del orden Trichoptera [56].

e) *Odonata*

Comprenden a los organismos que conocemos como libélulas y caballitos del diablo en fase de adultos, estos no necesariamente habitan en las proximidades de los cuerpos de agua, por otro lado, las larvas son exclusivamente acuáticas, con mayor frecuencia en zonas con mínima velocidad de corriente de los cursos fluviales, como remansos o pequeñas lagunas [57].

Presentan una metamorfosis completa, por lo que son holometábolos, las hembras depositan sus huevos en el agua; son depredadores, cuentan con un labio retráctil con forma de máscara, está equipado con grandes colmillos, este es bruscamente desplegado cuando una presa está cerca, este rol los convierte en importantes controladores de otros insectos acuáticos, además de ser empleados como bioindicadores de calidad del agua en el que habitan, por su gran sensibilidad a los cambios que puede presentar [58].



Fig. 6. Larva ejemplar de la familia Aeshnidae del orden Odonata [57].

f) Megalóptera

En este orden existen dos familias que habitan en cuerpos acuáticos (palma 2013), por lo que es considerado exclusivamente acuático, todas las especies de este orden al menos una fase de su ciclo de vida pasa en el agua, por lo general en estado larval; caracterizados por presentar cuerpo, cabeza y mandíbulas fuertes y grandes, pares de apéndices móviles a los lados de su abdomen, además de ser bastante hostiles [58].

Cuentan con traqueobranquias en su abdomen para conseguir oxígeno disuelto en el agua y aire atmosférico; cuentan con un gran rango de tolerancia a las distintas condiciones ambientales, habitan en aguas corrientes limpias o poco contaminadas, por lo que se los considera como bioindicadores de la calidad del agua [58].

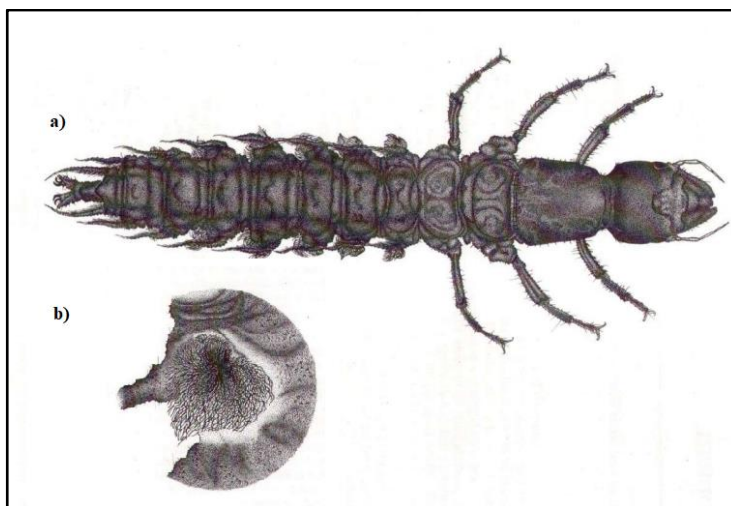


Fig. 7. Ejemplar del orden Megalóptera, Corydalidae: *Corydalis* sp; a) ninfa; b) agalla abdominal [25].

g) Plecóptera

Es un orden relativamente pequeño de insectos que viven en zonas cercanas a ríos y arroyos, tienen una metamorfosis incompleta, es decir que son insectos hemimetábolos, pasando por las fases de huevo-ninfa-adulto en su ciclo de vida, en su estadio de ninfa habita en medios acuáticos; presentan dos cercos terminales, un par de uñas en cada pata, con agallas torácicas en las bases de sus patas [56].

Habitan en la profundidad de los cauces de cuerpos de agua fríos, con excelente oxigenación y limpios, libres de contaminación, es por esta razón que son empleados extensamente como buenos bioindicadores de la calidad del medio acuático. Esta sensibilidad que presentan a las concentraciones bajas de oxígeno es debido a la ausencia de enormes branquias, de manera que pueden estar compuestas por finos filamentos en la base de sus patas o hasta incluso en el cuello [57]. La necesidad que presentan las ninfas a las altas acumulaciones de oxígeno en los cuerpos de agua hace que no exista presencia de estos organismos en aguas contaminadas por la acción antrópica [58].

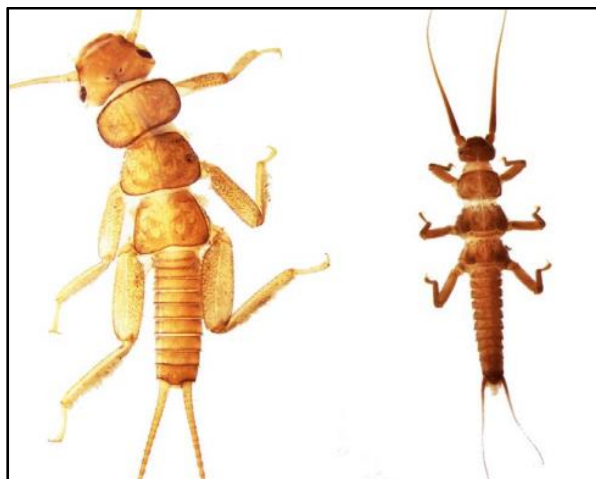


Fig. 8. Ejemplares del orden Plecóptera [56].

h) Hemíptera

También son denominados chinches de agua, caracterizados por disponer de un aparato bucal chupador, de los cuales el 10% de las especies de este grupo son acuáticas; la mayoría de las familias de este grupo son depredadores y viven en la superficie de los cuerpos de agua [57]. Pueden habitar en distintos cuerpos de agua como ríos, lagos, lagunas, aguas estancadas; tienen pelos hidrófugos que les posibilita caminar sobre la superficie de los cuerpos de agua o sumergirse

conservando una capa de oxígeno alrededor de su cuerpo para poder respirar; son sensibles a las variaciones de las condiciones ambientales de su hábitat, por lo que son buenos bioindicadores de la calidad del agua [58].

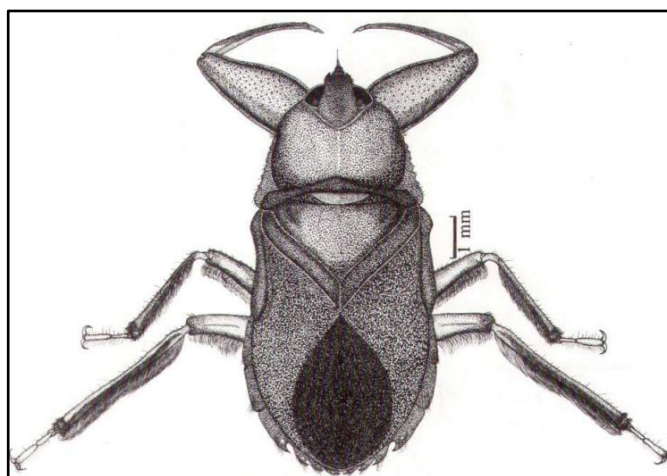


Fig. 9. Ejemplar del orden Hemiptera, Naucoridae: *Cryphocricos* sp. [25].

2. Bases de datos de macroinvertebrados acuáticos

a) North American Aquatic Macroinvertebrate Digital Reference Collection NAAMDRC

El NAAMDRC es una herramienta que ayuda en la identificación de macroinvertebrados acuáticos, la mayoría de las muestras en esta base de datos se presentan a nivel de género, puesto que los estadíos inmaduros se encuentran con regularidad en la ciencia del agua dulce; sirve como una base de datos con imágenes de alta calidad y de dominio público para su uso, donde la colección de imágenes está organizada jerárquicamente, en la que los taxones se agrupan según su relación evolutiva y luego se organizan alfabéticamente por la familia y el género [59].

b) Integrated Taxonomic Information System ITIS

El ITIS es una base de datos global, actualizada frecuentemente, que proporciona más de 868.000 nombres científicos de especies y su jerarquía, de América del norte y del mundo, integrando la taxonomía de especies globales de 7 reinos; esta base de datos se asocia con taxonomistas y expertos a nivel global para compilar nombres científicos y sus relaciones taxonómicas, incluyendo esta información dentro del software que se encuentra disponible públicamente [60].

c) Freshwater ecology.info

Freshwater ecology es una base de datos que contiene más de 20.000 organismos de agua dulce del continente europeo, entre ellos los macroinvertebrados, proporciona información ecológica sobre especies que pueden ser usadas para la evaluación de calidad de agua, como características autoecológicas, preferencias ecológicas y rasgos biológicos, entre los datos ecológicos se incluye parámetros asociados a la presencia, a la región, al hábitat o parámetros asociados con la vida y el cuerpo de los organismos [61].

E. Índices biológicos para determinar la calidad del agua

Durante los últimos años, se han creado cientos de métricas e índices biológicos para la evaluación de la condición ambiental que presentan diferentes cuerpos de agua como ríos, arroyos, lagos, embalses; la mayor parte de estos índices se han desarrollado a partir de varios componentes que determinan la calidad biológica de un ecosistema, entre ellos encontrándose los macroinvertebrados bentónicos, empleados para el monitoreo clave del impacto generado por actividades antrópicas en cuerpos de agua lóticos [62].

1. Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col)

El BMWP es uno de los índices más empleados en el monitoreo de la calidad de los ecosistemas acuáticos loticos, se centra en la biota puesto que comprende grupos taxonómicos, contemplando la sensibilidad o tolerancia de los organismos a la contaminación; este índice define y evalúa a las comunidades de macroinvertebrados a nivel de las familias taxonómicas [63].

El índice BMWP/Col se desarrolló en la década de los 70, en Colombia, donde se aplicó el índice original BMWP, pero al realizar los primeros análisis, arrojó resultados erróneos debido a que la metodología empleada no era aplicable para esa zona, por lo que se dio la necesidad de adaptar el índice a tierras colombianas, dando resultado a un estudio creado por Roldán en 1988, donde se establecen claves taxonómicas para cada grupo de macroinvertebrados acuáticos en Colombia [64].

El BMWP asigna una puntuación de bioindicación del 1 al 10 a cada una de las familias de macroinvertebrados, como se observa en la **TABLA II**, siendo este puntaje, el nivel de tolerancia o de sensibilidad que presentan estos organismos a la contaminación, así, las familias más

tolerantes a niveles de contaminación reciben puntuación de 1, donde encontramos a la familia de los Tubificidae, mientras que las familias más sensibles reciben el valor de 10, donde entre estas, se encuentran la familia de los Perlidae, Psephenidae, entre otros; la sumatoria de todos los puntajes nos arroja el resultado del índice BMWP [65].

TABLA II. PUNTAJE DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS PARA EL ÍNDICE BMWP/Col.

Familias	Puntuación
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossossomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolycopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydraenidae, Hydrometridae, Noteridae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae,	2
Tubificidae	1

Fuente: [64]

Cada una de las familias reciben su valoración, y de acuerdo con su sensibilidad, se clasifican en 5 grupos, lo que permitirá establecer la calidad del agua, como se observa en la **TABLA III:**

TABLA III. CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SU SIGNIFICADO, CON LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE BMWP/Col.

CLASE	CALIDAD	VALOR DEL BMWP	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	>150 101-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: [64]

2. Índice EPT (*Ephemeroptera*, *Plecóptera*, *Trichóptera*)

Este índice determina el estado de la calidad de los cuerpos de agua, a través de 3 órdenes de macroinvertebrados: Ephemeropteros, Trichópteros y Plecópteros, puesto que los individuos de estos 3 órdenes son altamente sensibles a las alteraciones de las condiciones ambientales, además de contener un rango extenso de especies adaptadas a distintas condiciones ambientales, es por esto por lo que se los considera excelentes monitores de las alteraciones ambientales, su presencia o ausencia determinan el estado ecológico de los cuerpos de agua [66].

Una vez que han sido clasificados e identificados los individuos de cada orden, se procede a calcular la abundancia total con la siguiente fórmula:

$$EPT\ TOTAL = \frac{\Sigma EPT\ presentes}{\# de individuos} * 100$$

Nota: Ecuación para calcular el índice EPT

En la **TABLA IV** se puede observar la clasificación de los valores del índice EPT para determinar la calidad del agua:

TABLA IV. VALORES PARA LA CALIDAD DEL AGUA EMPLEANDO EL ÍNDICE EPT.

%	CALIDAD DEL AGUA	COLOR
75-100	Muy buena	Azul
50-74	Buena	Verde
25-49	Regular	Amarillo
0-24	Mala	Rojo

Fuente: [67]

3. Índice de diversidad de Shannon-Wiener

Este índice es uno de lo más empleados, está basado en la abundancia y distribución de las especies presentes en una comunidad, obtener valores elevados en este índice, significa que existe una alta diversidad de especies, esto al mismo tiempo quiere decir que, el medio acuático se encuentra libre de contaminación y, por ende, presenta aguas limpias [68].

El valor de este índice tiende a estar cerca de 5, sin embargo, un ecosistema extraordinariamente rico, puede superar este valor [69]. Para poder calcular la diversidad de especies con este índice, se necesita la siguiente fórmula [70]:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (n_i / n) \ln (n_i / n)$$

Nota: Ecuación para calcular el índice de Shannon-Wiener

Donde:

H' = Índice de Shannon-Wiener

n_i = Número de individuos por especie

n = Número total de individuos

Ln = logaritmo natural

TABLA V. RANGO DEL ÍNDICE DE SHANNON-WIENER

H'	CONDICIÓN
>2.7	Diversidad alta
1.5 - 2.7	Diversidad media
< 1.5	Diversidad baja

Fuente: [71]

4. Índice de Simpson

El índice de Simpson se centra en la dominancia de las especies y refleja un parámetro contrario a la definición de equilibrio o igualdad de la comunidad, este índice toma en cuenta la representatividad de las especies con mayor relevancia, sin determinar la incidencia de las otras especies [72]. Esto quiere decir, en pocas palabras, que este índice le da más valor a las especies que sean más abundantes dentro del ecosistema [73].

Para poder calcular la dominancia de especies con este índice, se necesita la siguiente fórmula [70]:

$$D = \frac{\sum^n (n - 1)}{N(N - 1)}$$

Nota: Ecuación para calcular el índice de Simpson

Donde:

D = Índice de Simpson

n = número total de organismos de una especie.

N = número total de organismos de todas las especies.

El valor de este índice varía de 0 a 1, donde 0 representa una diversidad infinita, y 1 representa nula diversidad, esto quiere decir que, cuanto más alto sea la cifra del índice, será menor la diversidad, por lo que suele representarse su inversa (1/D) o su complemento (1-D) [74].

F. Marco Legal

Para llevar a cabo este estudio, se debe tomar en cuenta las normativas que se encuentran vigentes en el Ecuador, ya que estas se establecen para regular la calidad del agua y respaldan el

uso de bioindicadores, como en este caso, macroinvertebrados acuáticos. Estas normativas garantizan la protección de los ecosistemas acuáticos y su uso sostenible en el país.

1. Constitución de la República del Ecuador (2008)

En la constitución se establecen principios que son fundamentales y son relacionados con la protección del recurso hídrico y de la biodiversidad [75].

- **Artículo 14:** Reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.
- **Artículo 15:** Regula el uso de recursos naturales para evitar su afectación ambiental.
- **Artículo 66, numeral 27:** Garantiza el acceso al agua como un derecho humano.
- **Artículo 71:** Reconoce los derechos de la naturaleza y la protección de los ecosistemas acuáticos.
- **Artículo 318:** Declara el agua como un patrimonio nacional estratégico y de uso público, asegurando su conservación y protección.

2. Código Orgánico del Ambiente

El COA plantea disposiciones específicas sobre la gestión y conservación del agua, en donde también se toma en cuenta la evaluación de la calidad de esta por medio de indicadores biológicos [76].

- **Artículo 46:** Determina que el Estado debe garantizar la protección y conservación del recurso hídrico.
- **Artículo 51:** Promueve el monitoreo de la calidad del agua considerando parámetros fisicoquímicos y biológicos.
- **Artículo 186:** Obliga a la implementación de medidas de protección de fuentes hídricas.
- **Artículo 192:** Reconoce los bioindicadores como herramientas para evaluar la calidad del agua en ecosistemas acuáticos.

3. Acuerdo Ministerial 097

El Acuerdo Ministerial 097 establece la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. En esta normativa lo que se busca es la prevención y control de la

contaminación ambiental, garantizando la calidad del recurso agua para su conservación y uso sostenible [77].

En el marco del Acuerdo Ministerial 097, se establecen diversas tablas que son fundamentales para el monitoreo y evaluación de la calidad del agua. Las siguientes tablas han sido priorizadas por su relevancia para esta investigación:

- **Tabla de Criterios de Calidad del Agua para Distintos Usos:** Define los parámetros y estándares que debe cumplir el agua según su uso (consumo humano, vida acuática, riego agrícola, recreación, etc.).
- **Tabla de Límites Permisibles de Descargas de Efluentes a Cuerpos de Agua Dulce:** Especifica los valores máximos de contaminantes permitidos en descargas hacia cuerpos de agua naturales.
- **Tabla de Parámetros de Monitoreo de la Calidad del Agua:** Lista los indicadores físico-químicos y biológicos utilizados en la evaluación de la calidad del agua, incluyendo el uso de macroinvertebrados como bioindicadores.
- **Tabla de Permisos y Requisitos para Descarga de Efluentes:** Contiene los criterios legales y técnicos para la autorización de descargas industriales o municipales.

4. Ordenanza del Cantón Santa Rosa sobre Protección del Agua

La Ordenanza del Cantón Santa Rosa establece medidas clave para la protección del agua, asegurando la conservación de fuentes hídricas y ecosistemas frágiles mediante la creación de Áreas de Conservación Municipal y Uso Sostenible (ACMUS) [78].

VI. METODOLOGÍA

A. Enfoque de investigación

El enfoque de investigación del presente trabajo es de carácter mixto, dado que combina elementos cuantitativos y cualitativos para obtener una comprensión integral. Este enfoque se centra en determinar la calidad del agua de la cuenca alta de una microcuenca mediante el estudio de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. Este trabajo constó de varias fases: Fase de estado del arte, Fase de campo, Fase de laboratorio y Fase de Gabinete; por lo que la naturaleza de este trabajo se amoldó a distintos niveles de investigación que se detallan a continuación:

- Investigación documental: Se basó en la indagación, revisión, análisis e interpretación de datos bibliográficos provenientes de investigaciones afines a este proyecto.
- Investigación cuantitativa: Consistió en la recolección y registro de datos numéricos como el número de órdenes y familias de macroinvertebrados, con el fin de generar conclusiones mediante un enfoque inductivo, con ayuda de herramientas como el cálculo de índices biológicos.
- Investigación descriptiva: Implicó la caracterización de macroinvertebrados bentónicos para determinar la calidad de la fuente hídrica, mediante el estudio, análisis e interpretación de diferentes órdenes, familias, abundancia y distribución de los mismos.
- Investigación de campo: Se recolectó datos como muestras de macroinvertebrados bentónicos, muestras de agua y coordenadas in-situ.

B. Variables de estudio

Variable dependiente: Calidad del agua

Variable independiente: Grupos de diferentes familias de macroinvertebrados

C. Descripción del área de estudio

El presente estudio se desarrolló en la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa, se encuentra en la provincia de El Oro, al sur del Ecuador. Esta microcuenca representa un componente clave para el abastecimiento de agua y sostenimiento de actividades agrícolas, ganaderas y urbanas del cantón.

La microcuenca se extiende sobre varias parroquias, incluyendo La Avanzada (15,24%) y Torata (69,10%) pertenecientes al Cantón Santa Rosa, Ayapamba (15,02%) – Cantón Atahualpa y la parroquia Piedras (0,64%) – Cantón Piñas. La cuenca alta de la microcuenca constituye una prolongación de la cordillera de Daucay en su extremo occidental a una altitud de 2200 m.s.n.m. [79].

Con respecto al clima, la región presenta características de piso altitudinal tropical húmedo a templado húmedo, con precipitaciones que oscilan entre 1200 y 1800 mm anuales y temperaturas promedio entre 18 y 22°C [80]. Hidrológicamente, la cuenca alta cumple un rol fundamental en la regulación del caudal ecológico, así como en la recarga de acuíferos y el mantenimiento del flujo hídrico durante la época seca [81].

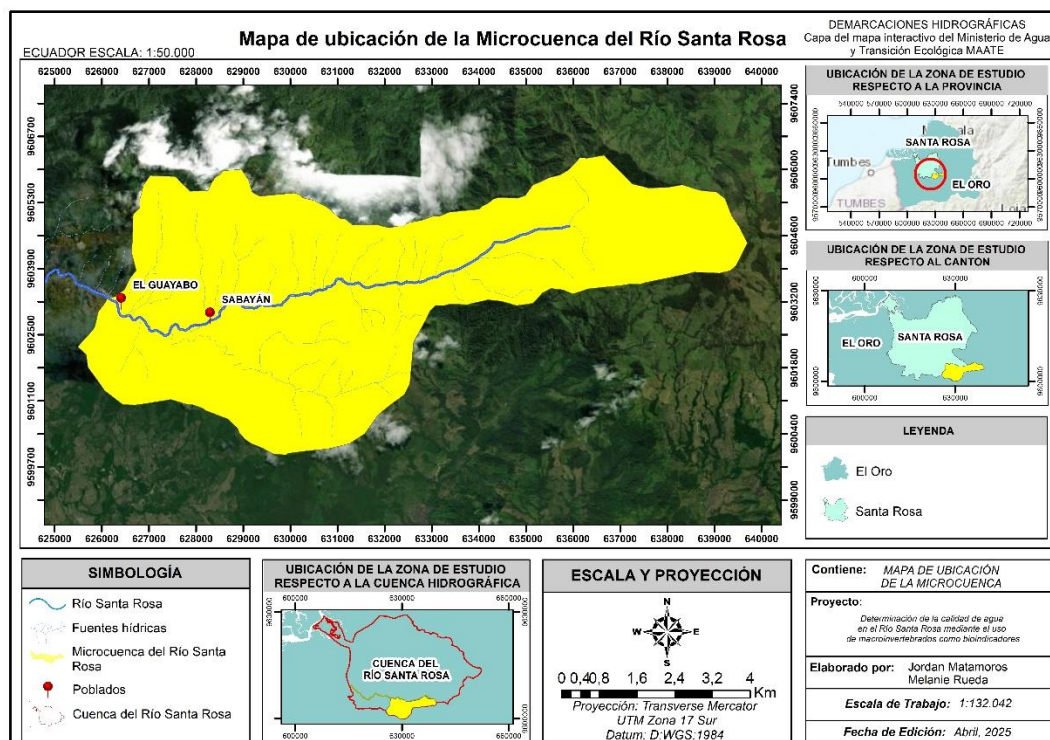


Fig. 10. Mapa de ubicación de la Microcuenca del Río Santa Rosa

D. Materiales, equipos e instrumentos

TABLA VI. MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS EMPLEADOS

Revisión bibliográfica y documental	
	- Base de datos SCOPUS y Web of Science - Artículos científicos - Libros
Muestreo de macroinvertebrados	
Materiales	- Botas - Alcohol al 70% - Cinta adhesiva - Etiquetas - Libreta de campo - Bandeja blanca - Frascos plásticos pequeños
Equipos	- Cooler - Pinzas entomológicas - GPS - Teléfono celular
Instrumentos	- Red Surber - Red de patada - Cinta métrica
Muestreo y análisis de agua	
Materiales	- Cinta adhesiva - Etiquetas - Libreta de campo - Frascos plásticos pequeños
Equipo	- GPS - Equipo multiparámetro PC400S - Teléfono celular
Identificación de macroinvertebrados	
Instrumentos	- Guías taxonómicas - Claves dicotómicas - Bases de datos GBIF y NAAMDRC
Equipo	- Laptop - Estereoscopio Q170-T Trinocular - Pinzas entomológicas

Elaborado por: Los Autores

E. Métodos

Para este trabajo se elaboró un diagrama de flujo, como se puede observar en la **figura 11**, donde se detallan los métodos empleados en la metodología, que se compone de distintas fases.

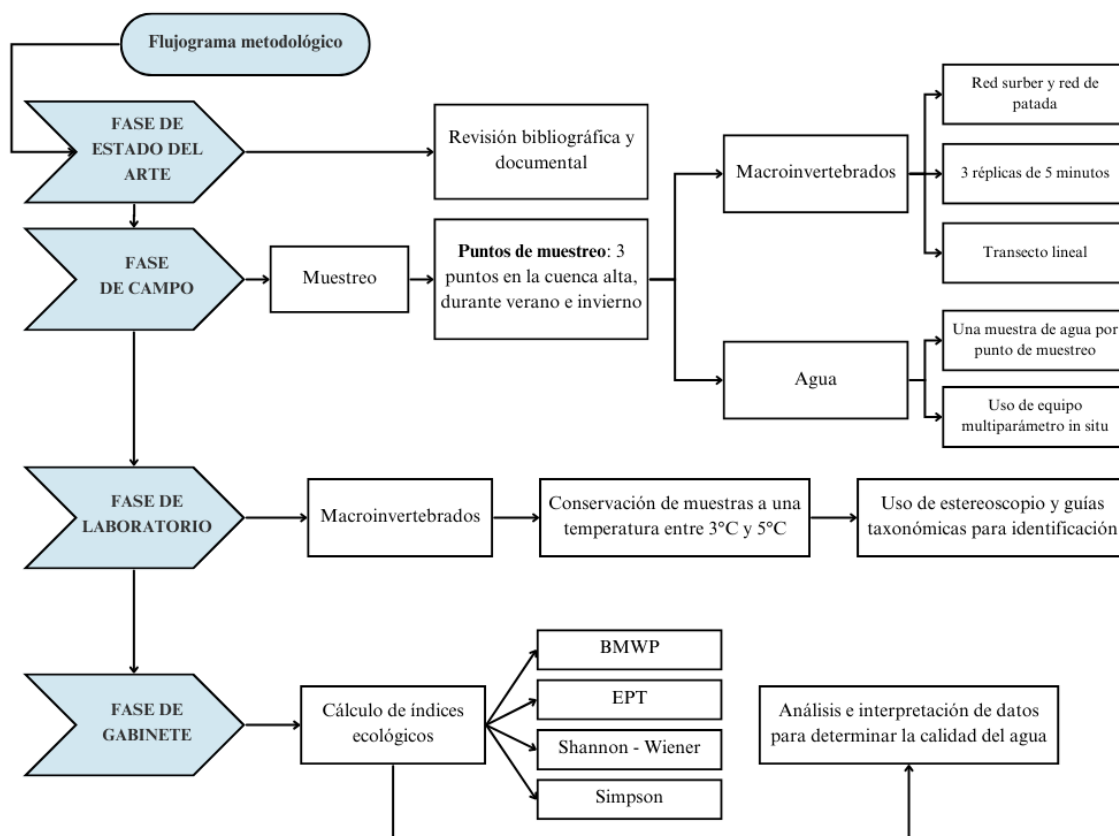


Fig. 11. Flujograma metodológico

1. Fase de estado del arte

Se realizó una revisión bibliográfica y documental sobre macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. Se revisaron diferentes tipos de documentos como artículos científicos, libros, protocolos, guías metodológicas para el muestreo y guías taxonómicas para la identificación de macroinvertebrados. Con estas bases, se procedió a elegir el área de estudio, el objeto de estudio y métodos a aplicar.

2. Fase de campo

Se utilizó la técnica de muestreo estratificado para poder determinar las estaciones de muestreo; la cuenca alta de la microcuenca se dividió en 3 estratos: parte alta, parte media y parte baja; a lo largo de la cuenca alta se determinaron 3 puntos de muestreos, cada uno con 3 réplicas. Esto se lo hizo en dos temporadas del año, época seca y época lluviosa.

Se tomaron en cuenta criterios como accesibilidad, puntos de confluencia de descargas, cercanía de puntos temporales de contaminación, representatividad del punto con respecto al área de muestreo [14]. Las estaciones se georreferenciaron con ayuda del Sistema de Posicionamiento Satelital GPS, en coordenadas WGS UTM 84, como se observa en la **TABLA VII**, además se empleó el uso de un software de SIG para la elaboración de la **figura 12**, donde se encuentran representadas las estaciones de muestreo dentro de la cuenca alta de la microcuenca.

TABLA VII. COORDENADAS (WGS UTM 84) DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO					
CÓDIGO	NOMBRE	N° RÉPLICAS	LONGITUD (X)	LATITUD (Y)	ALTITUD (m.s.n.m)
LCE1	La Chonta	3	630939	9603603	534
LGE2	Los Gringos	3	628581	9603207	375
EGE3	El Guayabo	3	626369	9602976	293

Elaborado por: Los Autores

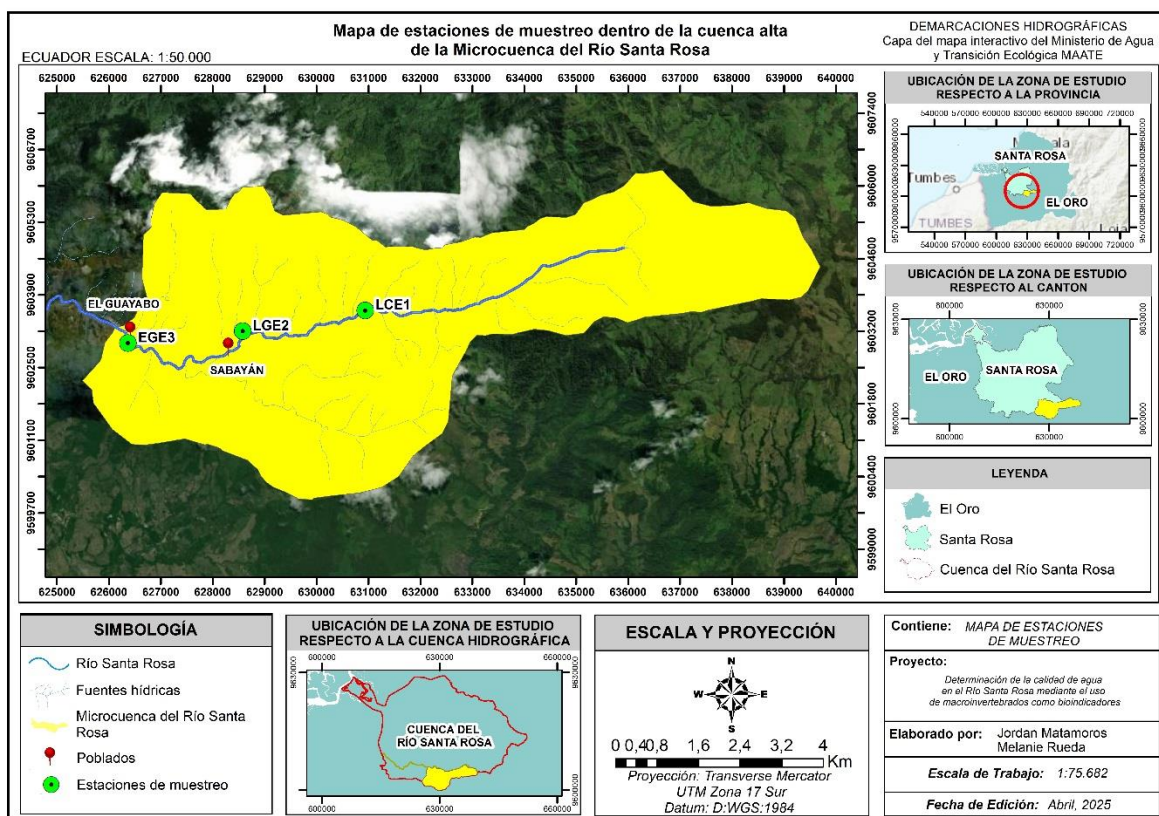


Fig. 12. Mapa de estaciones de muestreo

Para las estaciones de muestreo se aplicó el método de transectos lineales, es uno de los más usados por la rapidez y la heterogeneidad de los muestreos que se realizan. El tamaño de estos transectos puede variar y depende totalmente del grupo de especímenes a muestrear [82], aunque es aceptado comúnmente trazar transectos lineales de 10 metros de longitud y registrar todas las especies existentes. Los puntos de muestreo se establecieron en dirección este-oeste con el propósito de garantizar una distribución sistemática y precisión en su ubicación espacial.

a) *Muestreo de macroinvertebrados*

Los muestreos se realizaron entre los meses noviembre de 2024 y mayo de 2025 (época seca y época lluviosa respectivamente); cada punto de muestreo se lo realizó en un día, aproximadamente entre las 9:30 am y 12:00 pm, se consideraron zonas poco profundas con poca corriente y con aguas tranquilas, además de zonas que cuenten con sustratos como piedras y arena, así como una posición en el centro del cauce.

El entorno de aguas poco profundas incluye a ríos donde podemos alcanzar el fondo con las manos, lo que requiere el uso de redes relativamente pequeñas [28]. Para este muestreo, se

emplearon dos tipos de redes con una malla fina de 500 μm [83], y se realizaron a una profundidad no mayor a 45 cm, siguiendo los protocolos de [25], [67] y [82].

- **Red Surber**

Para aguas con poca corriente y con sustrato rocoso, se empleó una red Surber de 30 x 30 cm^2 [33] que está sujeta a un marco de madera, que abierto tiene forma de L. Para proceder con el muestreo, se buscó la parte central del cauce, se colocó la red contra corriente y se asentó la base en el fondo del río en cada punto de muestreo. Se removi6 con las extremidades superiores el sustrato rocoso durante 5 minutos para que los macroinvertebrados puedan ingresar dentro de la red. Se realizaron 3 réplicas en el mismo punto de muestreo [83], con una distancia de 3 metros cada réplica, en el transecto lineal previamente establecido.

El sustrato que qued6 dentro de la red, se lo deposit6 en una bandeja blanca para que sea m6s f6cil la identificaci6n de macroinvertebrados; con la ayuda de las pinzas entomol6gicas se procedi6 a tomar los macroinvertebrados presentes en el sustrato rocoso y a colocarlos en frascos pl6sticos con alcohol al 70% [85]; cada frasco fue etiquetado respectivamente con los datos del nombre de sitio, fecha, n6mero de muestra y coordenadas.

- **Red de patada**

Para aguas l6nticas o estancadas y poco profundas, con sustrato arenoso, se emple6 la red de patada, que lleva ese por nombre debido a que, al momento de realizar el muestreo, se deben de remover las extremidades inferiores en el sustrato arenoso, dando especies de “patadas”, mientras la otra persona sostiene la red debajo del agua r6o abajo para atrapar a los macroinvertebrados [67].

Se removi6 el sustrato arenoso durante 5 minutos, y esto se lo realiz6 en 3 réplicas, cada una con una distancia de 3 metros, en el transecto lineal establecido. Los sedimentos atrapados en la red se los deposit6 en una bandeja blanca y con la ayuda de pinzas entomol6gicas se procedi6 a tomar los macroinvertebrados presentes para colocarlos en los frascos pl6sticos con alcohol al 70% cada frasco fue etiquetado respectivamente con los datos del nombre de sitio, fecha, n6mero de muestra y coordenadas.

El n6mero total de muestras fueron: 9 muestras simples y 3 muestras compuestas para cada temporada (época seca y época lluviosa). Los frascos con las muestras de macroinvertebrados fueron transportados en un cooler al Laboratorio de Biodiversidad de la carrera de Ingenier6a Ambiental de la Universidad T6cnica de Machala, para ser preservados a una temperatura de 3 a 5°C.

b) Muestreo y análisis de agua

Para el análisis del agua de cada estación, se tomaron muestras en las fechas que se realizaron los muestreos de macroinvertebrados. El procedimiento de la toma de muestras de agua para el respectivo análisis físico - químico está en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169.

Se procedió a lavar los recipientes plásticos 3 veces seguidas con el agua del río, para así acondicionarlos y garantizar la representatividad de la muestra. Se tomaron datos in situ, de parámetros físicos con ayuda del equipo multiparámetro PC400S; los parámetros que se consideraron fueron pH, conductividad eléctrica, temperatura y sólidos disueltos totales; los datos obtenidos fueron fotografiados con ayuda de un teléfono celular, para posteriormente registrarlos en una tabla de Excel.

3. Fase de laboratorio

a) Identificación de macroinvertebrados

Luego de la recolección de muestras de los macroinvertebrados, se procedió a la clasificación e identificación de los macroinvertebrados bentónicos recolectados durante la fase de campo. Las muestras, que previamente se encontraban conservadas en alcohol etílico al 70%, fueron analizadas utilizando un estereoscopio Q170-T Trinocular, facilitando la observación de las estructuras morfológicas claves para su identificación, como antenas, patas, segmentos y cercos.

La identificación taxonómica se realizó hasta el nivel de familia y, cuando fue posible, hasta género, mediante el uso de guías taxonómicas tales como [25], [49], [55] y [86]. La validez de la nomenclatura científica se verificó mediante las bases de datos NAAMDRC, ITIS, Freshwater ecology y GBIF.

b) Parámetros de calidad del agua

Los valores obtenidos de los parámetros de calidad de agua tomados in situ fueron contrastados con los límites máximo permisibles que se establecen en la normativa ecuatoriana vigente, en particular del Acuerdo Ministerial 097A, para así determinar el estado de la calidad del agua y su aptitud para consumo humano y para uso agrícola. Se empleó la herramienta Excel para crear una tabla comparativa de los parámetros a analizar dentro de este estudio.

4. Fase de gabinete

La fase de gabinete consistió en el procesamiento, análisis e interpretación de los datos obtenidos durante las fases de campo y laboratorio. En esta etapa se consolidó los resultados por medio de herramientas estadísticas y bioindicadores.

Primero se organizó y se dio una sistematización de los datos que se recolectó, tanto fisicoquímicos como biológicos. Los registros obtenidos in situ y en laboratorio fueron tabulados y digitalizados en hojas de cálculo de la herramienta Excel, se creó una base de datos para mejor organización e interpretación de valores

a) Cálculo del índice de Shannon – Wiener

El Índice de Diversidad de Shannon-Wiener, permitió medir la diversidad ecológica tomando en cuenta tanto la riqueza (número de especies) como la equitatividad (distribución de individuos entre especies) [1], [4].

b) Cálculo del índice de Simpson

El Índice de Simpson, se usó para estimar la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, demostrando así que es un buen indicador de dominancia dentro de la comunidad [1], [4].

c) Cálculo del índice BMWP/Col

El índice BMWP/Col (Biological Monitoring Working Party- Colombia) evaluó la calidad del agua según la sensibilidad de las familias de macroinvertebrados acuáticos, estableciendo un puntaje a cada una de las familias de macroinvertebrados presentes en este ecosistema de río [87].

d) Cálculo del índice EPT

En el índice EPT, se consideró el porcentaje de organismos que pertenecen a los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera, que son conocidos por ser sensibles a cambios en las condiciones del agua, es por esto que su presencia indica buena calidad ecológica [87].

Además, se elaboraron gráficos comparativos, diagrama de barras y mapas temáticos mediante herramientas como el software Excel y Sistemas de Información Geográfica (SIG), que

facilitaron la visualización espacial de los resultados, permitiendo identificar los tramos críticos dentro de la cuenca alta de la microcuenca del río Santa Rosa. Esta fase fue fundamental para la elaboración de los resultados y la generación de propuestas para la conservación y el manejo sostenible del recurso hídrico.

VII. RESULTADOS

A. *Índices de diversidad de las poblaciones de macroinvertebrados*

Los resultados de los índices de diversidad de Shannon-Wiener y Simpson obtenidos de las poblaciones de macroinvertebrados dentro de cada estación de muestreo, durante dos temporadas del año (época seca y época lluviosa), y aquí se analizará la estructura y distribución de este grupo.

1. *Análisis de familias de macroinvertebrados por estación*

Para conocer la diversidad, dominancia y distribución de los macroinvertebrados dentro de cada una de las estaciones, se tomó en cuenta el número de individuos por familia que fueron recolectados, con la finalidad de conocer la variabilidad de las familias de macroinvertebrados en ambas temporadas del año, tanto en época seca como en época lluviosa, además de calcular un valor promedio total que ayudó a comprender mejor los resultados. El valor promedio total se puede evidenciar en el **Anexo H**, donde se especifican, además, los distintos órdenes y familias encontradas en cada estación, y su abundancia relativa representada en porcentaje.

a) *Estación 1 La Chonta (LCE1)*

- **Época seca**

En la Estación 1 La Chonta de la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa se recolectaron un total de 15 familias distribuidas en 7 órdenes diferentes y 63 individuos totales para la época seca. En la **figura 13** se visualiza como están distribuidos los macroinvertebrados en esta estación durante la época seca; se puede apreciar que 3 familias son las que presentan mayor abundancia relativa, la familia Leptohyphidae representando el 26,98% con 17 individuos, Veliidae representando el 15,87% (10 individuos) y Psephenidae con el 12,70% (8 individuos); por consiguiente, encontramos a las familias que representan una abundancia relativa media, entre las que se encuentran Elmidae y Naucoridae con el 6,35% (4 individuos por familia), y Leptophlebiidae, Libellulidae e Hydropsychidae con el 4,76% (3 individuos por familias). Finalmente, encontramos las familias con menor abundancia relativa, entre ellas Hydrophilidae, Chironomidae, Tipulidae e Hydrobiosidae representando el 3,17% (2 individuos por familia), y las familias Ptilodactylidae, Corydalidae y Polycentropodidae con el 1,59% (1 individuo por familia).

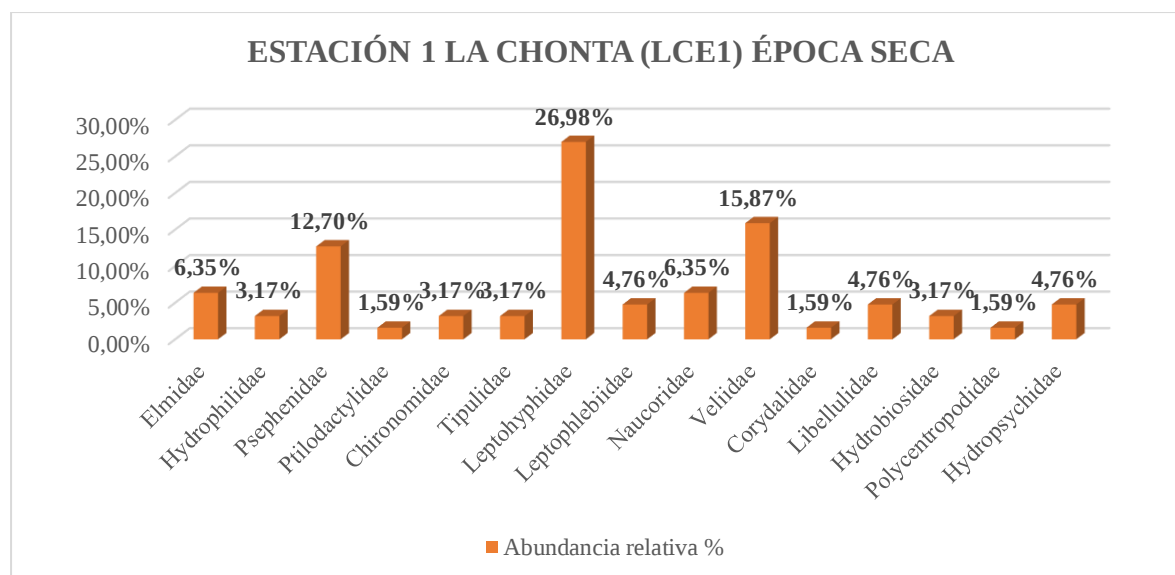


Fig. 13. Abundancia relativa de macroinvertebrados en LCE1 época seca

En la **TABLA VIII** se detalla el cálculo de los índices Shannon-Wiener y Simpson para la estación LCE1 en época seca. Con el valor de $H = 2,33$ se infirió que existe una diversidad alta dentro de esta estación en esta época, las familias de macroinvertebrados presentes se encuentran distribuidas de manera equilibradas y diversas. Por otra parte, con el valor de $D = 0,87$ se determinó que existe una dominancia baja, ninguna familia tiene una representación tan alta para dominar drásticamente el ecosistema.

TABLA VIII. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTACIÓN 1 LA CHONTA (LCE1) ÉPOCA SECA

Orden	Familia	Individuos	Pi	Pi*LnPi	Pi ²
COLEOPTERA	Elmidae	4	0.0635	-0.1750	0.0040
	Hydrophilidae	2	0.0317	-0.1095	0.0010
	Psephenidae	8	0.1270	-0.2621	0.0161
	Ptilodactylidae	1	0.0159	-0.0658	0.0003
DIPTERA	Chironomidae	2	0.0317	-0.1095	0.0010
	Tipulidae	2	0.0317	-0.1095	0.0010
	Leptohyphidae	17	0.2698	-0.3535	0.0728
EPHEMEROPTERA	Leptophlebiidae	3	0.0476	-0.1450	0.0023
HEMIPTERA	Naucoridae	4	0.0635	-0.1750	0.0040
	Veliidae	10	0.1587	-0.2922	0.0252
MEGALOPTERA	Corydalidae	1	0.0159	-0.0658	0.0003
ODONATA	Libellulidae	3	0.0476	-0.1450	0.0023
TRICHOPTERA	Hydrobiosidae	2	0.0317	-0.1095	0.0010
	Polycentropodidae	1	0.0159	-0.0658	0.0003

Hydropsychidae	3	0.0476	-0.1450	0.0023
Sumatoria	63	1	-2.33	0.13
			* (-1)	1 - 0.13
H (Shannon)		2.33		
D (Simpson)		0,87		

Elaborado por: Los Autores

Aunque la familia Leptohyphidae sea abundante (26,98%) dentro de la estación LCE1 en época seca, la comunidad de macroinvertebrados sigue siendo equilibrada, ya que existen otras familias como Veliidae (15,87%) y Psephenidae (12,70%) que también tienen una representación significativa, lo que indica que el ecosistema sigue siendo relativamente diverso a pesar de contar con una familia dominante. Esto es consistente con los valores de los índices de Shannon y Simpson, que reflejan una distribución de individuos que no están completamente dominados por una sola familia, lo que sugiere un ecosistema con diversidad alta y baja dominancia durante la época de sequía o pocas lluvias.

- **Época lluviosa**

En la Estación 1 La Chonta de la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa se recolectaron un total de 7 familias distribuidas en 5 órdenes diferentes y 18 individuos totales para la época lluviosa. En la **figura 14** se visualiza como están distribuidos los macroinvertebrados en esta estación durante esta época; se pueden apreciar dos familias que son las más abundantes, la familia Veliidae con 27,78% (5 individuos) y la familia Naucoridae con 22,22% (4 individuos); por otra parte, entre las familias con abundancia media están Elmidae, Leptohyphidae, Leptophlebiidae e Hydropsychidae con el 11,11% (2 individuos por familia) y, finalmente, la familia que cuenta con menos abundancia relativa en la época lluviosa es Tipulidae con 5,56% (1 individuo).

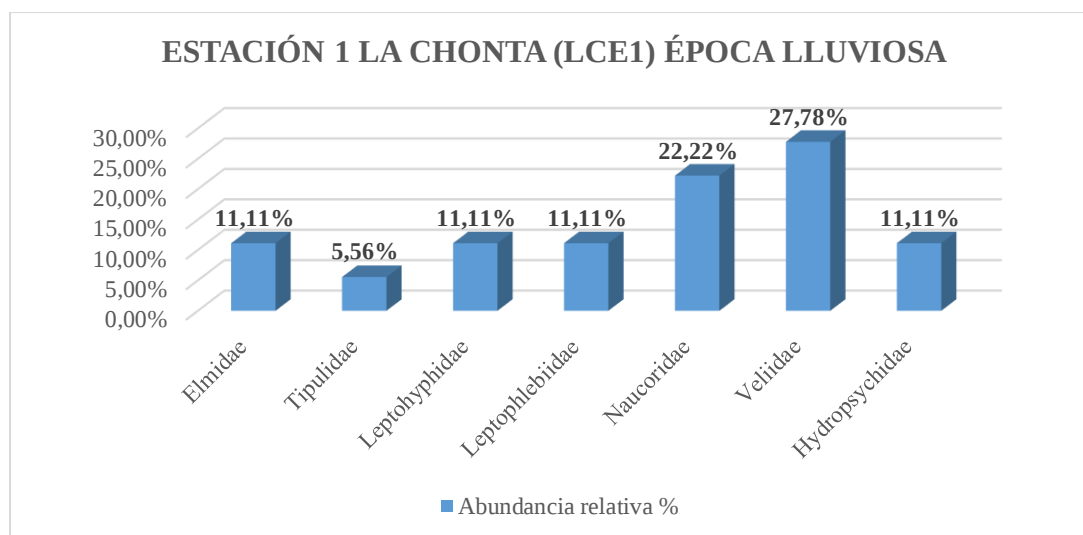


Fig. 14. Abundancia relativa de macroinvertebrados en LCE1 época lluviosa

En la **TABLA IX** se detalla el cálculo de los índices Shannon-Wiener y Simpson para la estación LCE1 en época lluviosa. Con el valor de $H = 1,83$ se infirió que existe una diversidad moderada dentro de esta estación en esta época, las familias de macroinvertebrados presentes se encuentran distribuidas relativamente equilibradas, pero sin ser tan diversa. Por otra parte, con el valor de $D = 0,82$ se determinó que existe una dominancia baja, ninguna familia es completamente dominante en la comunidad de macroinvertebrados en la época lluviosa de la estación LCE1.

TABLA IX. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTACIÓN 1 LA CHONTA (LCE1) ÉPOCA LLUVIOSA

Orden	Familia	Individuos	Pi	Pi*LnPi	Pi^2
COLEOPTERA	Elmidae	2	0,1111	-0,2441	0,0123
DIPTERA	Tipulidae	1	0,0556	-0,1606	0,0031
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	2	0,1111	-0,2441	0,0123
	Leptophlebiidae	2	0,1111	-0,2441	0,0123
HEMIPTERA	Naucoridae	4	0,2222	-0,3342	0,0494
	Veliidae	5	0,2778	-0,3558	0,0772
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	2	0,1111	-0,2441	0,0123
Sumatoria		18	1	-1,83	0,18
				* (-1)	1 - 0,18
H (Shannon)			1,83		
D (Simpson)			0,82		

Elaborado por: Los Autores

Aunque la familia Veliidae (27,78%) es la familia más abundante, el índice de Simpson sigue mostrando una baja dominancia, esto quiere decir que, Veliidae, no acapara toda la comunidad de macroinvertebrados dentro de la estación LCE1 en época lluviosa, esto se ve

reflejado en la abundancia que representan las otras familias, tales como Naucoridae (22,22%) y Elmidae (11,11%); esto complementa con Shannon, debido a que demuestra que existe una diversidad moderada, el ecosistema no está completamente dominado por unas pocas familias. Ambos índices reflejan un ecosistema relativamente equilibrado, con una ligera predominancia de varias familias.

Se pudo determinar que, en la época seca, esta estación presentó un mayor número de familias e individuos por cada una de estas, a diferencia de la época lluviosa. En época seca se registraron 15 familias con un total de 63 individuos recolectados, por otra parte, en época lluviosa se registraron 7 familias con un total de 18 individuos recolectados. Las familias que no se registraron en época lluviosa son: Hydrophilidae, Psephenidae, Ptilodactylidae, Chironomidae, Corydalidae, Libellulidae, Hydrobiosidae y Polycentropodidae.

b) Estación 2 Los Gringos (LGE2)

- Época seca

En la Estación 2 Los Gringos de la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa se recolectaron un total de 4 familias distribuidas en 4 órdenes diferentes y 88 individuos totales para la época seca. En la **figura 15** se visualiza como están distribuidos los macroinvertebrados en esta estación durante la época seca: se puede apreciar que la familia con mayor abundancia relativa es la Veliidae representada con un 66% (58 individuos), con abundancia media se encuentra la familia Polycentropodidae representada con un 28% (25 individuos), y finalmente, las familias con menos abundancia relativa, Elmidae con un 3% (3 individuos) y Corydalidae con un 2% (2 individuos). En esta estación hubo un notorio cambio en el número de familias recolectadas en época seca a comparación de la estación LCE1.

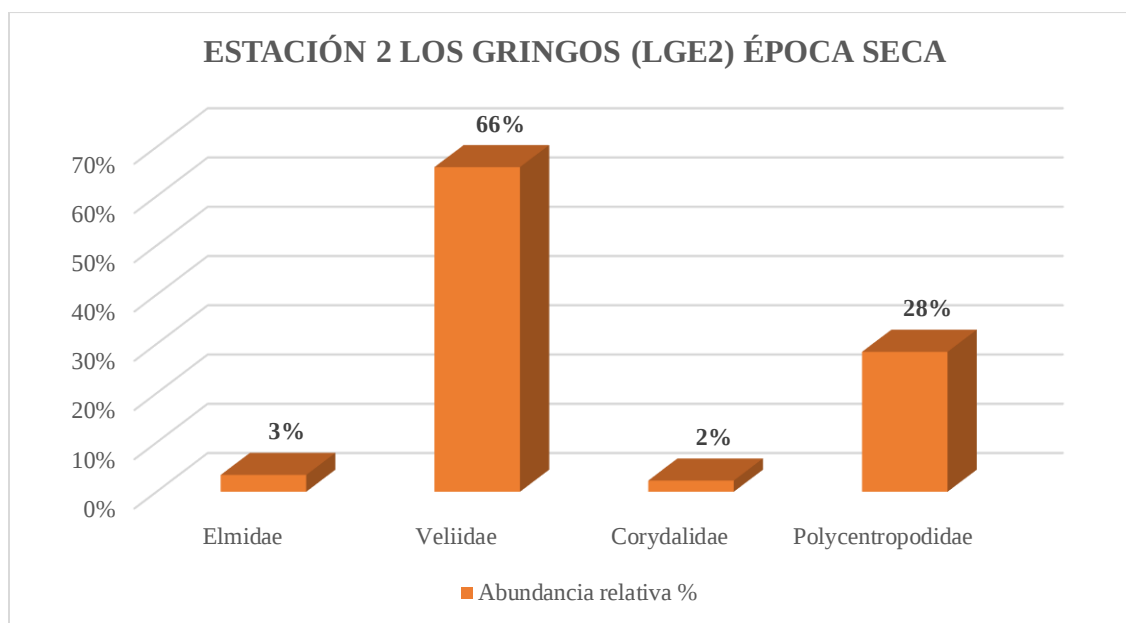


Fig. 15. Abundancia relativa de macroinvertebrados en LGE2 época seca

En la **TABLA X** se detalla el cálculo de los índices Shannon-Wiener y Simpson para la estación LGE2 en época seca. El valor de $H = 0,87$ en esta estación, determina que existe una baja diversidad, como se observó, la variedad de familias en LGE2 es mínima. Por otra parte, el valor de $D = 0,48$ indica una dominancia moderada en esta estación, sin ser extremadamente alta ni baja; se puede inferir que, existen familias dominantes que concentran una buena parte de la comunidad, pero sin ser absoluta, porque hay familias con proporciones importantes.

TABLA X. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTACIÓN 2 LOS GRINGOS (LGE2) ÉPOCA SECA

Orden	Familia	Individuos	Pi	Pi*LnPi	Pi ²
COLEOPTERA	Elmidae	3	0,0341	-0,1498	0,0012
HEMIPTERA	Veliidae	58	0,6591	-0,2748	0,4344
MEGALOPTERA	Corydalidae	2	0,0227	-0,0860	0,0005
TRICHOPTERA	Polycentropodidae	25	0,2841	-0,3575	0,0807
Sumatoria		88	1	-0,87	0,52
				* (-1)	1 - 0,52
H (Shannon)			0,87		
D (Simpson)			0,48		

Elaborado por: Los Autores

Aunque se puede apreciar claramente en la **figura 15** que la familia Veliidae (66%) es dominante, su dominancia no es absoluta, esto gracias a que la familia Polycentropodidae también cuenta con una proporción importante (28%) de abundancia dentro de la estación, además de que

las demás familias existentes Elmidae y Corydalidae también contribuyen a la diversidad total de LGE1 en época de sequía o pocas lluvias.

- **Época lluviosa**

En la Estación 2 Los Gringos se recolectaron un total de 3 familias distribuidas en 3 órdenes diferentes y 37 individuos totales para la época lluviosa. En la **figura 16** se visualiza como están distribuidos los macroinvertebrados en esta estación durante la época lluviosa; evidentemente se observa que la familia que representa una mayor abundancia relativa es Veliidae con 81,08% (30 individuos), con abundancia relativa media se encuentra la familia Polycentropodidae con 16,22% (6 individuos), y finalmente la familia con menor abundancia relativa Elmidae con 2,70% (1 individuo).

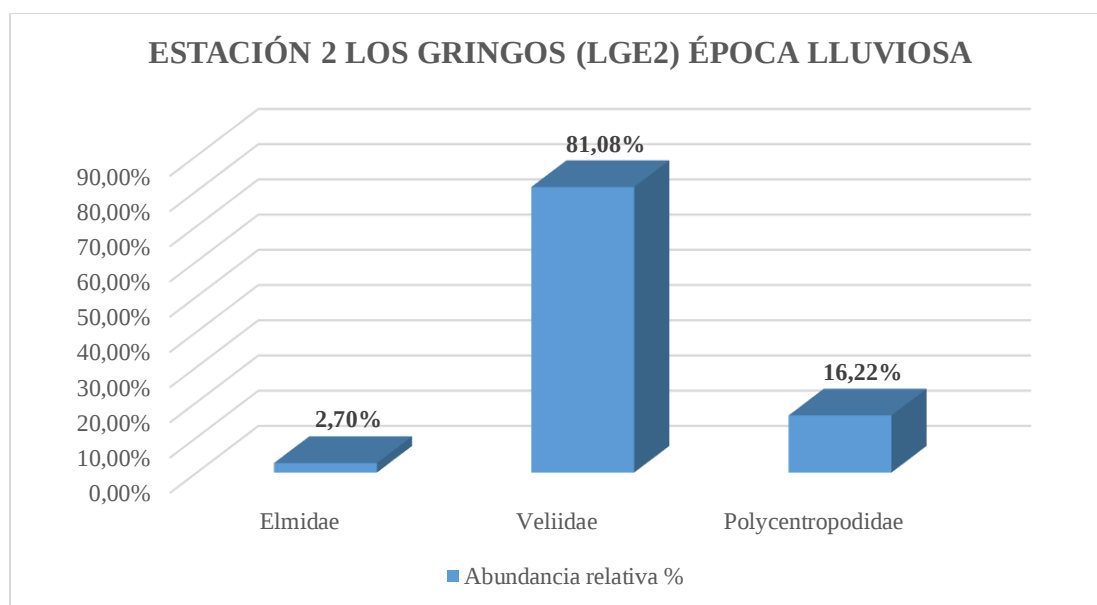


Fig. 16. Abundancia relativa de macroinvertebrados en LGE2 época lluviosa

En la **TABLA XI** se detalla el cálculo de los índices Shannon-Wiener y Simpson para la estación LGE2 en época lluviosa. El valor de $H = 0,61$ indica que existe una diversidad baja, lo que indica que la mayoría de individuos pertenecen a una sola familia. Por otra parte, el valor $D = 0,32$ indica una dominancia relativamente alta y, por ende, una baja diversidad lo que complementa con el resultado de H , esto quiere decir, que existe una familia que domina por encima de las otras, concentrando gran parte de la comunidad.

TABLA XI. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTACIÓN 2 LOS GRINGOS (LGE2) ÉPOCA LLUVIOSA

Orden	Familia	Individuos	Pi	Pi*LnPi	Pi^2
COLEOPTERA	Elmidae	1	0,0270	-0,1498	0,0007
HEMIPTERA	Veliidae	30	0,8108	-0,1700	0,6574
TRICHOPTERA	Polycentropodidae	6	0,1622	-0,2950	0,0263
Sumatoria		37	1	-0,61	0,68
				* (-1)	1 - 0,68
H (Shannon)			0,61		
D (Simpson)			0,32		

Elaborado por: Los Autores

Se puede evidenciar claramente en la **figura 16** que la familia Veliidae (81,08%) es la que domina en la estación LGE2 durante la época lluviosa, lo que se pudo corroborar con el cálculo de los índices. La familia Polycentropodidae (16,22%) se presentó de manera moderada, pero no interviene en la dominancia de Veliidae debido a la gran diferencia de individuos encontrados entre ambas familias.

Se pudo determinar que durante la época seca existió un mayor número de individuos recolectados (88 individuos) a diferencia de la época lluviosa en donde solo se registraron 37 individuos recolectados, además de contar con la familia Corydalidae presente, la que en época lluviosa no se registró, lo mismo que sucedió en la estación 1 La Chonta (LCE1).

c) Estación 3 El Guayabo (EGE3)

- Época seca

En la Estación 3 El Guayabo de la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa se recolectaron un total de 11 familias distribuidas en 6 órdenes diferentes y 109 individuos totales para la época seca. En la **figura 17** se visualiza como están distribuidos los macroinvertebrados en esta estación durante esta época: se puede apreciar que la familia con mayor abundancia relativa es Veliidae con 77,06% (84 individuos), las familias que tienen una abundancia relativa media son Chironomidae con 7,34% (8 individuos) y Elmidae con 3,67 % (4 individuos), finalmente las familias con abundancia relativa baja son Psephenidae con 2.75 % (3 individuos), Simuliidae, Leptohyphidae y Polycentropodidae con 1,83% (2 individuos por familia) y Leptophlebiidae, Naucoridae, Corydalidae e Hydropsychidae con 0,92% (1 individuo por familia).

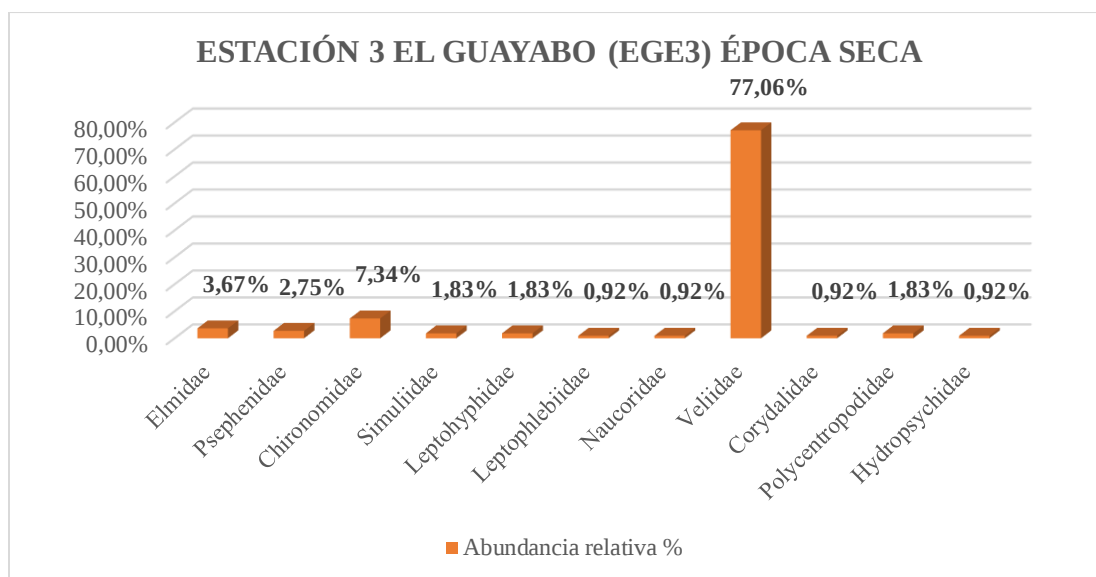


Fig. 17. Abundancia relativa de macroinvertebrados en EGE3 época seca

En la **TABLA XII** se detalla el cálculo de los índices Shannon-Wiener y Simpson para la estación EGE3 en época seca. El valor de $H = 1,00$ indica que existe una diversidad moderada dentro de la estación, se evidencia la dominancia de una familia, pero la existencia de un número considerable de familias (riqueza), aporta a la diversidad en esta estación. Por otra parte, el valor $D = 0,40$ indica que existe una dominancia notable de una familia, pero sin ser tan extrema gracias al número considerable de familias que se registraron dentro de la estación.

TABLA XII. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTACIÓN 3 EL GUAYABO (EGE3) ÉPOCA SECA

Orden	Familia	Individuos	Pi	Pi*LnPi	Pi ²
COLEOPTERA	Elmidae	4	0,0367	-0,1213	0,0013
	Psephenidae	3	0,0275	-0,0989	0,0008
DIPTERA	Chironomidae	8	0,0734	-0,1917	0,0054
	Simuliidae	2	0,0183	-0,0734	0,0003
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	2	0,0183	-0,0734	0,0003
	Leptophlebiidae	1	0,0092	-0,0430	0,0001
HEMIPTERA	Naucoridae	1	0,0092	-0,0430	0,0001
	Veliidae	84	0,7706	-0,2008	0,5939
MEGALOPTERA	Corydalidae	1	0,0092	-0,0430	0,0001
TRICHOPTERA	Polycentropodidae	2	0,0183	-0,0734	0,0003
	Hydropsychidae	1	0,0092	-0,0430	0,0001
Sumatoria		109	1	-1,00	0,60
				* (-1)	1 - 0.60
H (Shannon)			1,00		
D (Simpson)			0,40		

Elaborado por: Los Autores

Se evidencia claramente que la familia Veliidae (77,06%) es la dominante con un total de 84 individuos, pero la presencia de varias familias con menores abundancias evita que la dominancia de esta familia sea extremadamente alta, y, por ende, generan que la estación presente una diversidad moderada. Esto quiere decir que la comunidad tiene una equidad limitada, presenta diversidad de familias, pero con un sesgo hacia una familia dominante.

- Época lluviosa

En la Estación 3 El Guayabo se recolectaron un total de 11 familias distribuidas en 6 órdenes diferentes y 109 individuos totales para la época lluviosa. En la **figura 18** se visualiza como están distribuidos los macroinvertebrados en esta estación durante esta época: la familia con mayor abundancia relativa es Veliidae representada con un 78% (39 individuos), las demás familias presentan una abundancia relativa baja, donde se encuentran la familia Chironomidae con 6% (3 individuos), las familias Elmidae y Leptophlebiidae representadas con 4% (2 individuos por familia), y Tipulidae, Leptohyphidae, Naucoridae e Hydropsychidae representadas con 2% (1 individuo por familia).

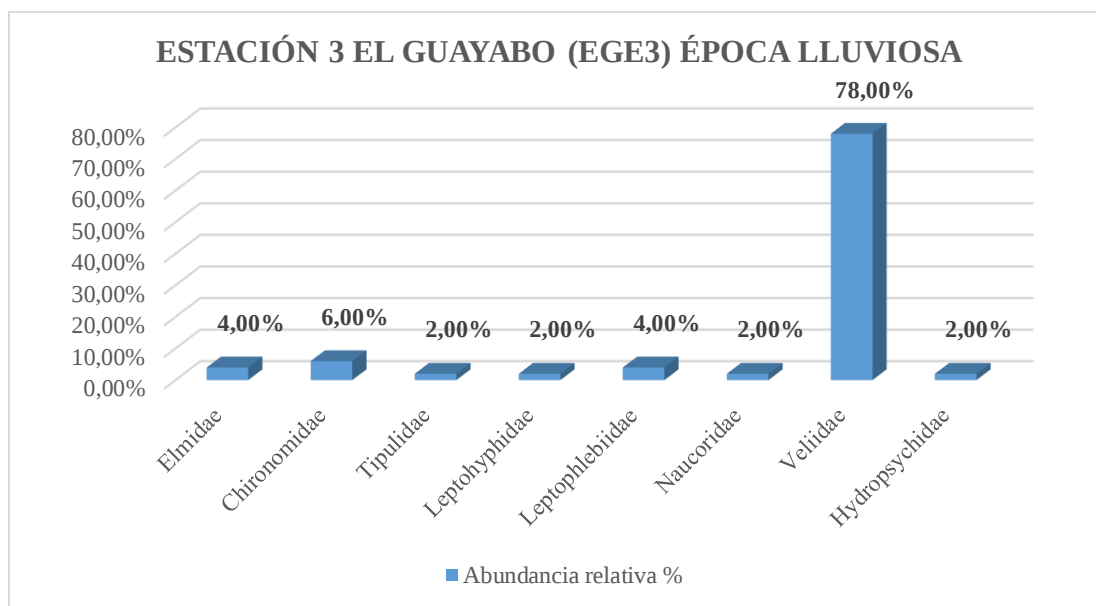


Fig. 18. Abundancia relativa de macroinvertebrados en EGE3 época lluviosa

En la **TABLA XIII** se detalla el cálculo de los índices Shannon-Wiener y Simpson para la estación EGE3 en época lluviosa. El valor de $H = 0,93$ indica que se presenta una diversidad baja, el valor tiende a ser bajo puesto que la equidad no es alta, una familia domina sobre las otras dentro de la estación, pero la presencia de varias familias (riqueza) aporta a la diversidad de la estación.

Por otra parte, el valor $D = 0,38$ indica que existe la dominancia de una familia, ya que concentra la mayor parte de individuos dentro de la estación.

TABLA XIII. ÍNDICES DE DIVERSIDAD ESTACIÓN 3 EL GUAYABO (EGE3) ÉPOCA LLUVIOSA

Orden	Familia	Individuos	Pi	Pi*LnPi	Pi^2
COLEOPTERA	Elmidae	2	0,0400	-0,1288	0,0016
DIPTERA	Chironomidae	3	0,0600	-0,1688	0,0036
	Tipulidae	1	0,0200	-0,0782	0,0004
EPHEMEROPTER	Leptohyphidae	1	0,0200	-0,0782	0,0004
A	Leptophlebiidae	2	0,0400	-0,1288	0,0016
HEMIPTERA	Naucoridae	1	0,0200	-0,0782	0,0004
	Veliidae	39	0,7800	-0,1938	0,6084
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	1	0,0200	-0,0782	0,0004
Sumatoria		50	1	-0,93	0,62
				* (-1)	1 - 0,62
H (Shannon)			0,93		
D (Simpson)			0,38		

Elaborado por: Los Autores

Es evidente que la familia dominante es la Veliidae (39%) ya que se registraron un total de 39 individuos dentro de la estación a comparación de la abundancia de las demás familias presentes. Existen varias familias presentes, pero al tener un número muy bajo de individuos, y presentar una especie dominante alta, la diversidad se considera baja, tal como se demuestra en los resultados de los índices de Shannon y Simpson, y como se puede observar en la **figura 18**.

Se determinó que existe una igualdad entre ambas épocas dentro de la estación EGE3, puesto que, en ambas temporadas, la familia con mayor dominancia fue Veliidae, además de presentar casi el mismo número de familias, a excepción de Psephenidae, Simuliidae, Corydalidae y Polycentropodidae que no estuvieron presentes en la época lluviosa, añadiendo que se registró en esta época la presencia de Tipulidae, familia que en época seca no fue registrada. El total de individuos varió en ambas épocas, en época seca se registraron 109 individuos y en época lluviosa 50 individuos. La estación EGE3 presentó la misma familia abundante que la estación LGE2, siendo Veliidae, la familia con un número considerable de individuos en ambas épocas del año.

2. *Análisis de familias de macroinvertebrados en la cuenca alta.*

Para conocer la diversidad, dominancia y distribución de los macroinvertebrados de toda la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa, se calculó el sumatorio total de los valores promedios de las familias encontradas en toda la cuenca alta a lo largo de las 3 estaciones de muestreo tanto para época seca como para época lluviosa. Esta sumatoria se puede evidenciar en el **Anexo I**, donde se especifican, además, los distintos órdenes y familias encontradas en toda la cuenca alta, y su abundancia relativa representada en porcentaje.

a) Distribución en época seca

En la **figura 19** se puede observar la distribución de los macroinvertebrados bentónicos en toda la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa durante la época seca. Dentro de esta época se presentaron 260 ejemplares, divididos en 7 órdenes y 16 familias; la familia que tuvo mayor impacto en cuanto a su abundancia relativa es Veliidae con 58,46% (152 individuos), otra familia que representa una buena contribución dentro de la cuenca alta es Polycentropodidae con 10,77% (28 individuos). Otra familia que tuvo una contribución en la cuenca alta fue Leptohyphidae con 7,31% (19 individuos); así mismo se encuentran Elmidae y Psephenidae representando con un 4,23% (11 individuos por familia), por otra parte, tenemos a Chironomidae con abundancia relativa del 3,85% (10 individuos), Naucoridae con 1,92% (5 individuos); Leptophlebiidae, Corydalidae e Hidropsychidae con una abundancia relativa del 1,54% (4 individuos por familia), Libellulidae con 1,15% (3 individuos), Hydrophilidae, Simuliidae, Tipulidae e Hydrobiosidae con 0,77% (2 individuos), y finalmente la familia Ptilodactylidae con una abundancia relativa del 0,38% (1 individuo), siendo esta la familia con la abundancia relativa más baja dentro de la cuenca alta de la microcuenca durante la época seca.

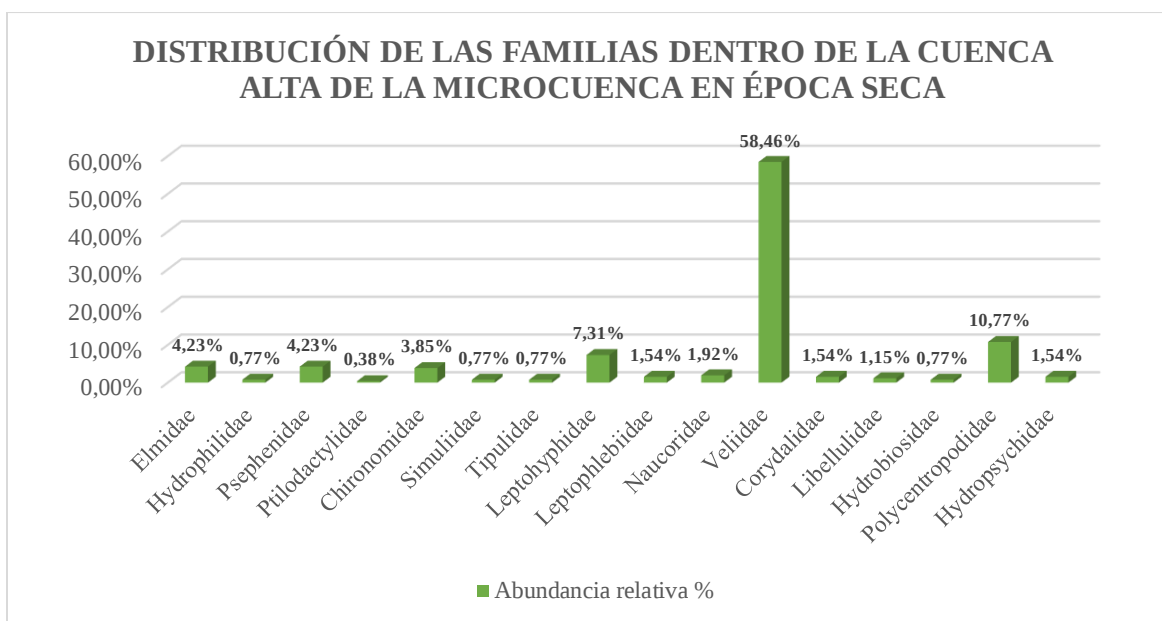


Fig. 19. Abundancia relativa de macroinvertebrados en la cuenca alta época seca

En la **TABLA XIV** se detalla el cálculo de los índices Shannon-Wiener y Simpson para la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa en época seca. El valor de $H = 1,63$ indica que existe una diversidad moderadamente alta en la cuenca alta, ya que se evidencia un alto número de familias (riqueza) presentes, con una distribución que es relativamente equilibrada. Por otro lado, el valor $D = 0,63$ indica que existe una dominancia moderada, ya que se presenta una familia que cuenta con mayor número de individuos, pero entre las demás familias la distribución es pareja, además de existir familias que también cuentan con una abundancia moderada.

TABLA XIV. ÍNDICES DE DIVERSIDAD CUENCA ALTA MICROCUENCA DEL RÍO SANTA ROSA ÉPOCA SECA

Orden	Familia	Individuos	Pi	Pi*LnPi	Pi ²
COLEOPTERA	Elmidae	11	0,0423	-0,1338	0,0018
	Hydrophilidae	2	0,0077	-0,0374	0,0001
	Psephenidae	11	0,0423	-0,1338	0,0018
	Ptilodactylidae	1	0,0038	-0,0214	0,0000
DIPTERA	Chironomidae	10	0,0385	-0,1253	0,0015
	Simuliidae	2	0,0077	-0,0374	0,0001
	Tipulidae	2	0,0077	-0,0374	0,0001
	Leptohyphidae	19	0,0731	-0,1912	0,0053
EPHEMEROPTERA	Leptophlebiidae	4	0,0154	-0,0642	0,0002
HEMIPTERA	Naucoridae	5	0,0192	-0,0760	0,0004
	Veliidae	152	0,5846	-0,3138	0,3418
MEGALOPTERA	Corydalidae	4	0,0154	-0,0642	0,0002
ODONATA	Libellulidae	3	0,0115	-0,0515	0,0001

TRICHOPTERA	Hydrobiosidae	2	0,0077	-0,0374	0,0001
	Polycentropodidae	28	0,1077	-0,2400	0,0116
	Hydropsychidae	4	0,0154	-0,0642	0,0002
Sumatoria		260	1	-1,63	0,37
				* (-1)	1 – 0,37
H (Shannon)			1,63		
D (Simpson)			0,63		

Elaborado por: Los Autores

Dentro de la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa en la época seca, se evidenció que la familia Veliidae (58,46%) es la de mayor abundancia y, por ende, es la que domina sobre las otras, pero sin llegar a ser una dominancia realmente alta, esto gracias a la contribución (en menor proporción) que otras familias presentan dentro de la cuenca alta, como la familia Polycentropodidae (10,77%) con 28 individuos y la familia Leptohyphidae (7,31%) con 19 individuos.

b) Distribución en época lluviosa

En la **figura 20** se puede observar la distribución de los macroinvertebrados bentónicos en toda la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa durante la época lluviosa. Dentro de esta época se presentaron 105 ejemplares, divididos en 5 órdenes y 9 familias; la familia que tuvo mayor impacto fue Veliidae con una abundancia relativa del 70,48% (74 individuos), después se encuentra la familia Polycentropodidae con un 5,71% (6 individuos), Elmidae y Naucoridae familias con una abundancia relativa de 4,76% (5 individuos por familia), Leptophlebiidae con 3,81% (4 individuos), Chironomidae, Leptohyphidae e Hydropsychidae con 2,86% (3 individuos por familia), y finalmente, la familia con la abundancia relativa más baja en época lluviosa en la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa, familia Tipulidae con 1,90% (2 individuos).

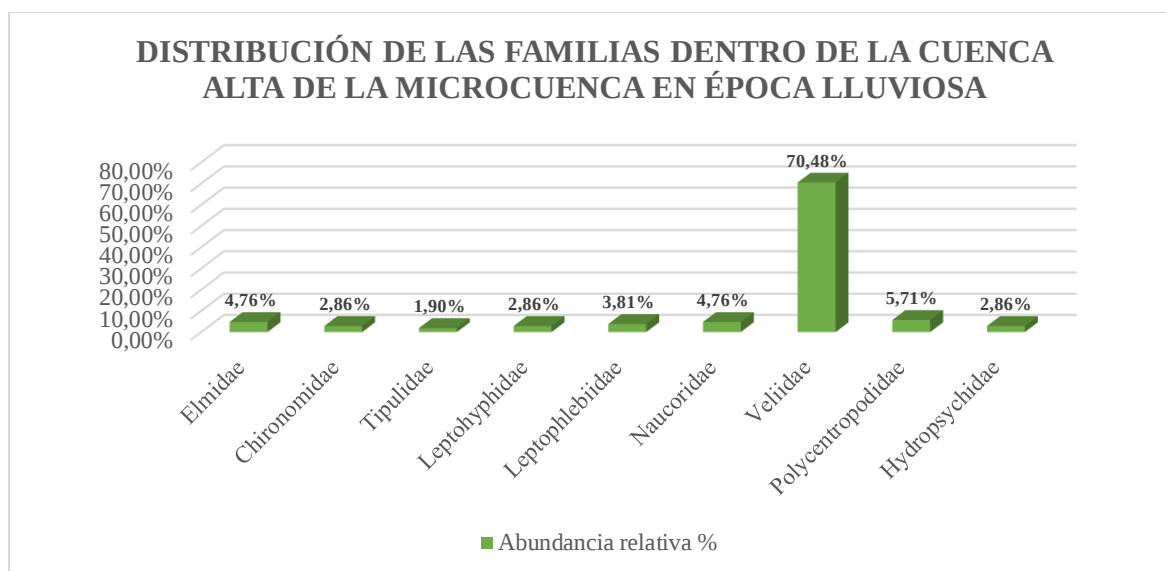


Fig. 20. Abundancia relativa de macroinvertebrados en la cuenca alta época lluviosa

En la **TABLA XV** se detalla el cálculo de los índices Shannon-Wiener y Simpson para la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa en época lluviosa. El valor de $H = 1,20$ indica una diversidad moderada, a pesar de existir un número relativamente bueno de familias, la fuerte dominancia de una limita la equidad en época lluviosa, es por eso que el valor no es alto, pero tampoco es bajo gracias a la presencia de varias familias. Por otro lado, el valor $D = 0,49$ indica una dominancia moderada a alta, puesto que existe una familia que concentra gran parte de la comunidad de macroinvertebrados en época lluviosa dentro de la cuenca alta, y como la presencia de las demás familias es mínima, afecta negativamente la equidad de familias, provocando que la diversidad sea moderada a baja.

TABLA XV. ÍNDICES DE DIVERSIDAD CUENCA ALTA MICROCUENCA DEL RÍO SANTA ROSA ÉPOCA LLUVIOSA

Orden	Familia	Individuos	Pi	Pi*LnPi	Pi ²
COLEOPTERA	Elmidae	5	0,0476	-0,1450	0,0023
	Chironomidae	3	0,0286	-0,1016	0,0008
DIPTERA	Tipulidae	2	0,0190	-0,0754	0,0004
	Leptohyphidae	3	0,0286	-0,1016	0,0008
EPHEMEROPTERA	Leptophlebiidae	4	0,0381	-0,1245	0,0015
	Naucoridae	5	0,0476	-0,1450	0,0023
HEMIPTERA	Veliidae	74	0,7048	-0,2466	0,4967
	Polycentropodidae	6	0,0571	-0,1636	0,0033
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	3	0,0286	-0,1016	0,0008
Sumatoria		105	1	-1,20	0,51
				* (-1)	1 - 0,51

H (Shannon)	1,20
D (Simpson)	0,49

Elaborado por: Los Autores

Se evidencia claramente que la familia Veliidae (70,48%) es la familia dominante de la cuenca alta durante la época lluviosa, ya que se registró un total de 74 individuos, en relación con el total de individuos de otras familias.

Se determinó que, dentro de la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa, la familia que domina y se encuentra tanto en época seca como en época lluviosa, es Veliidae. Las familias en época lluviosa se redujeron significativamente con respecto a la época seca, varias familias perduran en ambas épocas, pero, por el contrario, hay otras que no tienen presencia en época lluviosa. El total de individuos también varió, puesto que en época seca se recolectaron un total de 206 individuos, y en época lluviosa un total de 105 individuos.

B. Análisis de los parámetros físico químicos.

Se realizó un análisis descriptivo con los resultados de los parámetros físico químicos (pH, Temperatura, Conductividad eléctrica y Sólidos Disueltos totales) tomadas in situ en cada estación de muestreo. Como primer punto se comparó los resultados obtenidos (**Anexo J**) con la normativa guía Acuerdo Ministerial 097-A, se usó la Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, y la Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola.

En la **TABLA XVI** se pueden observar los parámetros tomados in situ dentro de cada una de las estaciones de muestreo, tanto en época seca como época lluviosa.

TABLA XVI. PARÁMETROS TOMADOS IN SITU POR ÉPOCA

ESTACIÓN	ÉPOCA	pH	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (uS/cm)	Sólidos disueltos totales (mg/l)
LA CHONTA (LCE1)	SECA	7,97	25,0	43,50	25,30
	LLUVIOSA	7,65	23,50	71,9	28,32
LOS GRINGOS (LGE2)	SECA	7,68	25,60	147,0	105,50
	LLUVIOSA	5,22	24,30	172,0	157,40
EL GUAYABO (EGE3)	SECA	7,03	23,70	74,49	41,59
	LLUVIOSA	6,51	26,30	80,80	54,65

Elaborado por: Los Autores

A continuación, se realizó el análisis descriptivo de cada parámetro en cada una de las estaciones de muestreo tanto para época seca como época lluviosa. Se emplearon gráficos para la mejor comprensión de los datos.

1. pH

La **figura 21** literal a) demuestra los valores de pH que se registraron en todas las estaciones, tanto en época seca como en época lluviosa, denotando que en la época lluviosa el pH tiene un descenso, en especial en la estación LGE2 que tuvo un descenso significativo (de 7,68 a 5,22), mientras que LCE1 y EGE3 muestran cambios moderados; en general se presentan valores intermedios, con una variación marcada y con otras variaciones más estables. Por otra parte, el literal b) indica la magnitud del cambio absoluto del pH en cada estación entre ambas épocas, donde se visualiza claramente que la estación LGE2 tiene la mayor diferencia absoluta (2,46), lo que indica una menor estabilidad del pH en relación a las otras estaciones que demuestran una mayor estabilidad del pH, es decir que presentan una menor diferencia absoluta entre épocas.

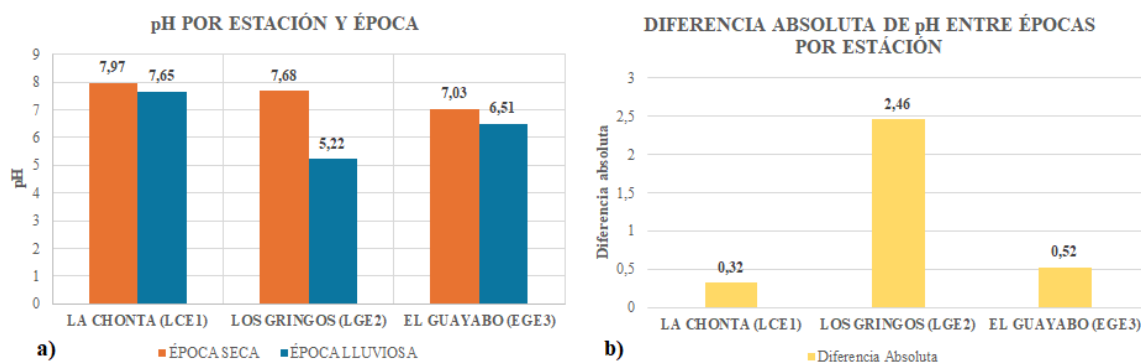


Fig. 21. a) Valor de pH por estación y época; b) Diferencia absoluta de pH entre épocas

En la normativa ambiental Acuerdo Ministerial 097-A, tanto en la Tabla 1 y la Tabla 3, el rango máximo permisible del pH va de 6 a 9. Dentro de los resultados se observó que, en la época seca, todas las estaciones se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, por el contrario, en la época lluviosa, la estación LGE2 presentó estar por debajo del rango, con un pH de 5,22. Se calculó el promedio total de pH en ambas épocas (**Anexo K**); en la época seca el promedio fue de 7,56, por lo que, SI CUMPLE con el límite máximo permisible, en la época lluviosa el promedio fue de 6,46, por lo que, de la misma manera SI CUMPLE con el límite máximo permisible.

2. Temperatura

La **figura 22** literal a) demuestra los valores de temperatura que se registraron en todas las estaciones, tanto en época seca como en época lluviosa, denotando que en la época lluviosa la temperatura presenta un descenso en las estaciones LCE1 y LGE2, mientras que la estación EGE3 presenta un aumento de temperatura; en general las 3 estaciones presentan valores similares. Por otra parte, el literal b) indica la magnitud del cambio absoluto de temperatura en cada estación entre ambas épocas, donde se visualiza que la estación EGE3 tiene la mayor diferencia absoluta (2,6°C), lo que indica una menor estabilidad de la temperatura, en relación a las otras estaciones LCE1 (1,5°C) y LGE2 (1,3°C) que demuestran una mayor estabilidad de temperatura, es decir que presentan una menor variabilidad térmica entre épocas. En este caso en general se puede establecer que existe una variación pequeña, debido a que el rango de temperatura natural del recurso es muy amplio.

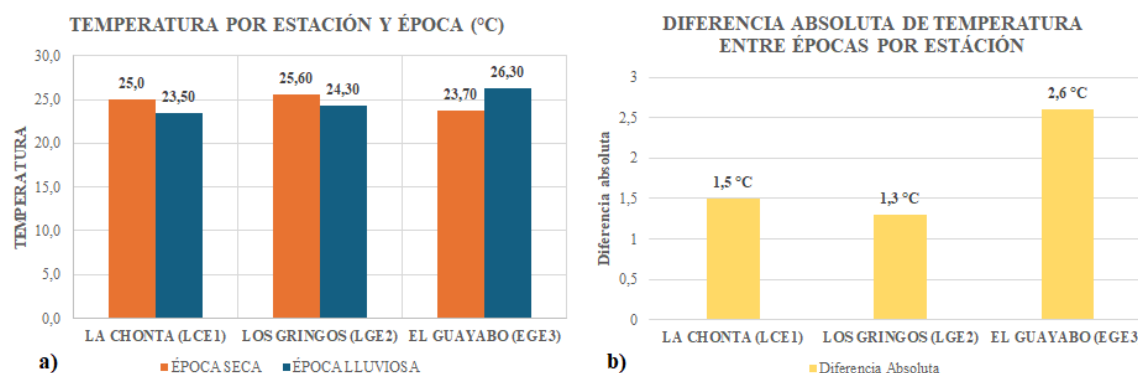


Fig. 22. a) Valor de temperatura por estación y época; b) Diferencia absoluta de temperatura entre épocas

En la normativa ambiental Acuerdo Ministerial 097-A, el parámetro de temperatura no está considerado como criterio de calidad, por lo que no se puede definir el cumplimiento o no de este parámetro, sin embargo, en los resultados se observó que la temperatura se mantiene constante con respecto al estado natural del recurso. Se calculó el promedio total de temperatura en ambas épocas (**Anexo K**); en la época seca el promedio fue de 24,77 °C, y en la época lluviosa el promedio fue de 24,70, lo que comprueba que la temperatura se encuentra estable en ambas épocas.

3. Conductividad eléctrica

La **figura 23** literal a) demuestra los valores de conductividad eléctrica que se registraron en todas las estaciones, tanto en época seca como en época lluviosa, denotando que en la época lluviosa la conductividad eléctrica presenta un aumento en todas las estaciones; además se puede observar claramente que es la estación LGE2 la que presenta un mayor valor de este parámetro, con un rango de 147 a 172 uS/cm entre épocas, a diferencia de las estaciones LCE1 y EGE3, que presentan rangos que no sobrepasan de 90 uS/cm entre épocas; los valores presentan diferencias marcadas. Por otra parte, el literal b) indica la magnitud del cambio absoluto de temperatura en cada estación entre ambas épocas, donde se visualiza que las estaciones LCE1 (28,4 uS/cm) y LGE2 (25 uS/cm) son las que presentan una mayor diferencia absoluta, lo que indica que existe una menor estabilidad de la conductividad eléctrica entre épocas, a diferencia de la estación EGE3 que tiene una menor diferencia del parámetro entre estaciones (2,6 uS/cm), dando a entender que existe mayor estabilidad en esta estación.

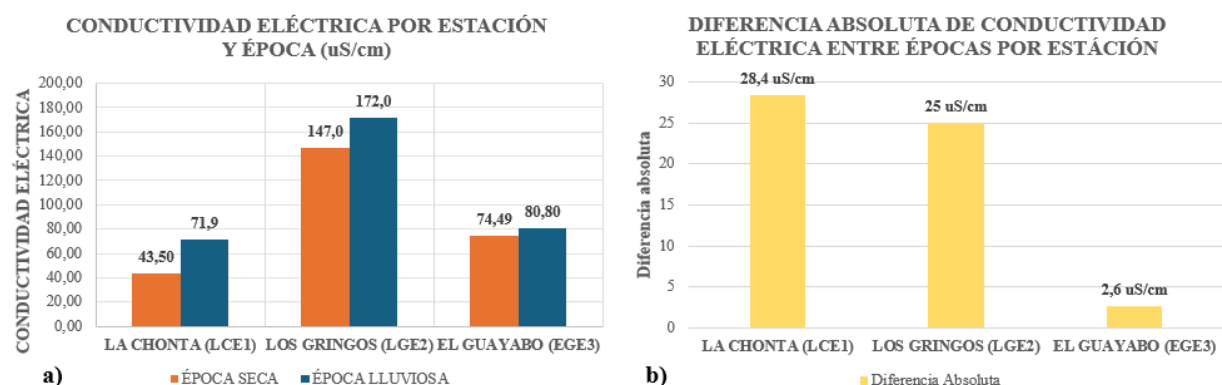


Fig. 23. a) Valor de conductividad por estación y época; b) Diferencia absoluta de conductividad entre épocas

En la normativa ambiental Acuerdo Ministerial 097-A, en la Tabla 1 el rango máximo permisible de la conductividad eléctrica no está considerado, y en la Tabla 3, el rango máximo permisible es >3000 . Dentro de los resultados se observó que, tanto en época seca como en época lluviosa, todas las estaciones se encuentran dentro de los límites máximos permisibles. Se calculó el promedio total de conductividad eléctrica en ambas épocas (**Anexo K**); en la época seca el promedio fue de 88,33 uS/cm, por lo que, SI CUMPLE con el límite máximo permisible con respecto al criterio de agua para riego, en la época lluviosa el promedio fue de 108,23 uS/cm, por lo que, de la misma manera SI CUMPLE con el límite máximo permisible del mismo criterio.

4. Sólidos disueltos totales (SDT)

La **figura 24** literal a) demuestra los valores de conductividad eléctrica que se registraron en todas las estaciones, tanto en época seca como en época lluviosa, denotando que en la época lluviosa el parámetro de SDT presenta un aumento en todas las estaciones; además se puede observar claramente que es la estación LGE2 la que presenta un mayor valor de este parámetro, con un rango de 105,50 a 157,40 mg/l entre épocas, a diferencia de las estaciones LCE1 y EGE3, que presentan rangos mucho menores entre épocas; los valores presentan diferencias marcadas. Por otra parte, el literal b) indica la magnitud del cambio absoluto de SDT en cada estación entre ambas épocas, donde se visualiza que la estación LGE2 es la que presenta una elevada diferencia absoluta de 51,9 mg/l, lo que indica que existe una menor estabilidad de los SDT entre épocas, a diferencia de la estación EGE3 que tiene una diferencia intermedia del parámetro entre estaciones, con 13,06 mg/l, dando a entender que existe estabilidad intermedia en esta estación, y la estación LCE1 que presenta la menor diferencia absoluta con 3,02 mg/l, lo que indica que en esta estación los SDT se mantienen muy estables entre épocas.

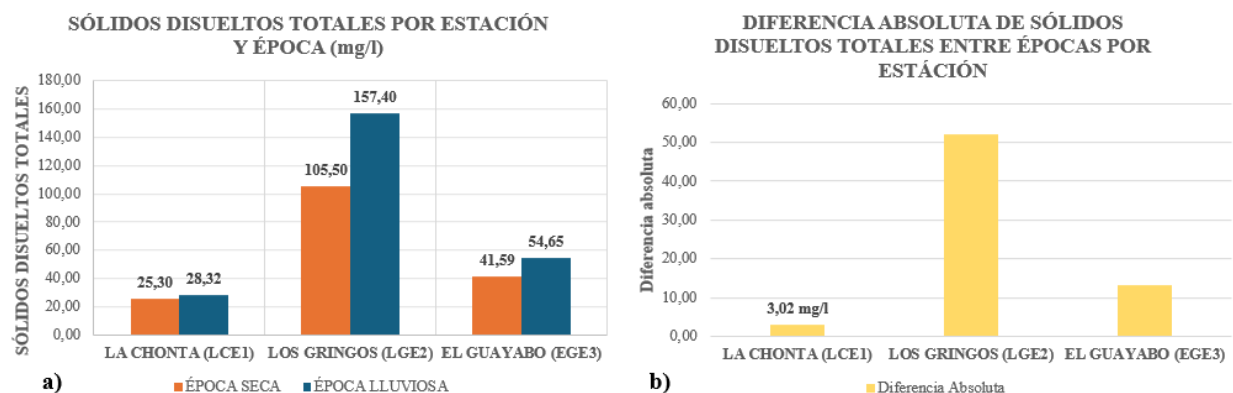


Fig. 24. a) Valor de SDT por estación y época; b) Diferencia absoluta de SDT entre épocas

En la normativa ambiental Acuerdo Ministerial 097-A, en la Tabla 1 el rango máximo permisible de SDT es de 1600, y en la Tabla 3, el rango máximo permisible es >2000. Dentro de los resultados se observó que, tanto en época seca como en época lluviosa, todas las estaciones se encuentran dentro de los límites máximos permisibles. Se calculó el promedio total de SDT en ambas épocas (**Anexo K**); en la época seca el promedio fue de 57,46 mg/l, por lo que, SI CUMPLE con el límite máximo permisible, en la época lluviosa el promedio fue de 80,12 mg/l, por lo que, de la misma manera SI CUMPLE con el límite máximo permisible de la normativa ambiental.

C. Análisis de los índices bióticos BMWP/Col y EPT

Los resultados de estos índices se analizaron por estación y a nivel de la cuenca alta. Además, con el fin de comparar el comportamiento de la calidad del agua que presenta la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa durante época seca y época lluviosa, se creó un gráfico de barras de error mediante el uso de la herramienta Microsoft Excel, donde se realizó un análisis descriptivo de los datos para comprender la fluctuación estacional de la calidad del agua de las estaciones durante las épocas seca y lluviosa

1. Índice BMWP/Col

a) Por estaciones

Se calculó el índice BMWP/Col en cada una de las estaciones estudiadas (**Anexo L**), asignando el puntaje correspondiente a cada familia de macroinvertebrados que fueron recolectados en cada estación, puntaje que se encuentra en la **TABLA II**.

En la **TABLA XVII**, se presenta el valor de este índice para cada una de las estaciones estudiadas en ambas épocas (seca y lluviosa), donde se define la calidad del agua que cuenta cada sitio que fue monitoreado en la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa.

TABLA XVII. CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE ÍNDICE BMWP/Col POR ESTACIÓN EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA

ESTACIÓN	ÉPOCA	VALOR BMWP/Col	CALIDAD	COLOR
LA CHONTA (LCE1)	SECA	102	BUENA	
	LLUVIOSA	47	DUDOSA	
LOS GRINGOS (LGE2)	SECA	29	CRÍTICA	
	LLUVIOSA	23	CRÍTICA	
EL GUAYABO (EGE3)	SECA	79	ACEPTABLE	
	LLUVIOSA	49	DUDOSA	

Elaborado por: Los Autores

Para definir y analizar los resultados, se empleó la **TABLA III** donde se encuentra la clasificación y valor de la calidad del agua para el índice. La estación La Chonta (LCE1) presentó un valor de 102 para este índice en la época seca, lo que determinó que la calidad del agua dentro

de esta estación es “buena”; por otra parte, en la época lluviosa esta estación presentó un valor de 47, lo que determinó que la calidad del agua es “dudosa”.

La estación Los Gringos (LGE2) presentó un valor de 29 en la época seca, lo que determinó que la calidad del agua en esta estación es “crítica”; por otro lado, en la época lluviosa la estación presentó un valor de 23, que establece así mismo a la calidad del agua como “crítica”.

Finalmente, la estación El Guayabo (EGE3) presentó un valor de 79 en la época seca, lo que determinó que la calidad del agua en esta estación es “aceptable”, por otra parte, en la época lluviosa la estación presentó un valor de 49, lo que establece a la calidad del agua como “dudosa”.

Aplicando el índice Biological Monitoring Working Party adaptado para Colombia, se ha determinado que las estaciones de monitoreo presentan distintas clasificaciones de calidad del agua, como calidad “buena” en la estación LCE1 época seca, que quiere decir que son aguas muy limpias a limpias, y están categorizadas como clase I, calidad “aceptable” en la estación EGE3 época seca, que son aguas ligeramente contaminadas y están categorizadas como clase II, calidad “dudosa” en las estaciones LCE1 y EGE3 época lluviosa, que tiene por significado aguas moderadamente contaminadas y están categorizadas como clase III, y por último, calidad “crítica” en la estación LGE2 en ambas épocas (seca y lluviosa) que tiene por significado aguas muy contaminadas y están categorizadas como clase IV.

En la **TABLA XVIII** se presenta el valor promedio y el rango que presentan cada una de las estaciones entre la época seca y la época lluviosa.

TABLA XVIII. VALOR PROMEDIO Y RANGO DEL ÍNDICE BMWP/Col POR ESTACIÓN ENTRE ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA

ESTACIÓN	VALOR PROMEDIO	RANGO
LA CHONTA (LCE1)	74,5	55
LOS GRINGOS (LGE2)	26	6
EL GUAYABO (EGE3)	64	30

Elaborado por: Los Autores

En la **figura 25** se pueden observar los valores promedios del índice BMWP/Col para cada una de las estaciones LCE1, LGE2, EGE3, en conjunto con la barra de error que representa la variación que existe entre ambas estaciones con respecto a la calidad del agua. La estación LCE1

presenta la barra de error que es notablemente más amplia, con un rango de 55, lo que indica que la calidad del agua, según el índice BMWP/Col cambia drásticamente entre la época seca y la época lluviosa. La estación LGE2 presenta la barra de error más pequeña, con un rango de 6, lo que indica que la calidad del agua pertenece más estable en ambas épocas, sin fluctuaciones estacionales significativas. Finalmente, la estación EGE3, presenta una barra con variabilidad intermedia, rango de 30, lo que indica que hay una diferencia, pero sin ser tan extrema.

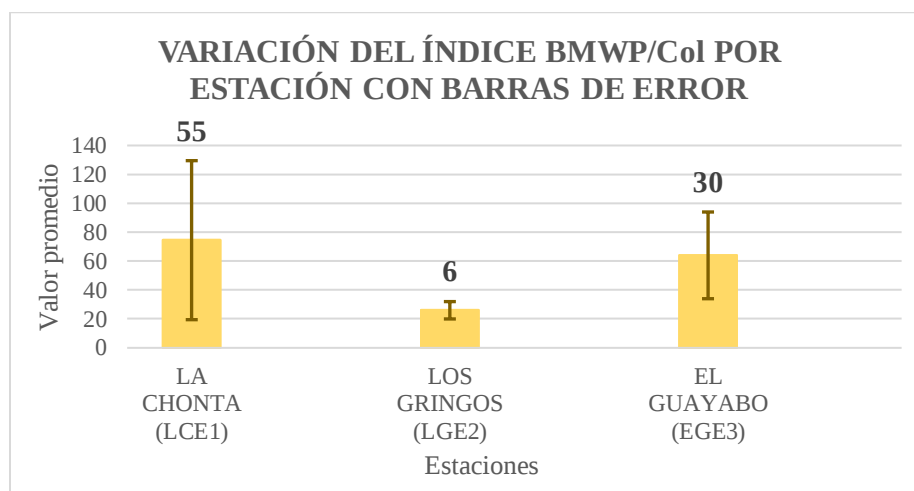


Fig. 25. Variación de los valores de BMWP/Col en época seca y lluviosa

En la **figura 26** se observa claramente que es la época lluviosa la que presenta mayor disminución del índice BMWP/Col en las 3 estaciones.

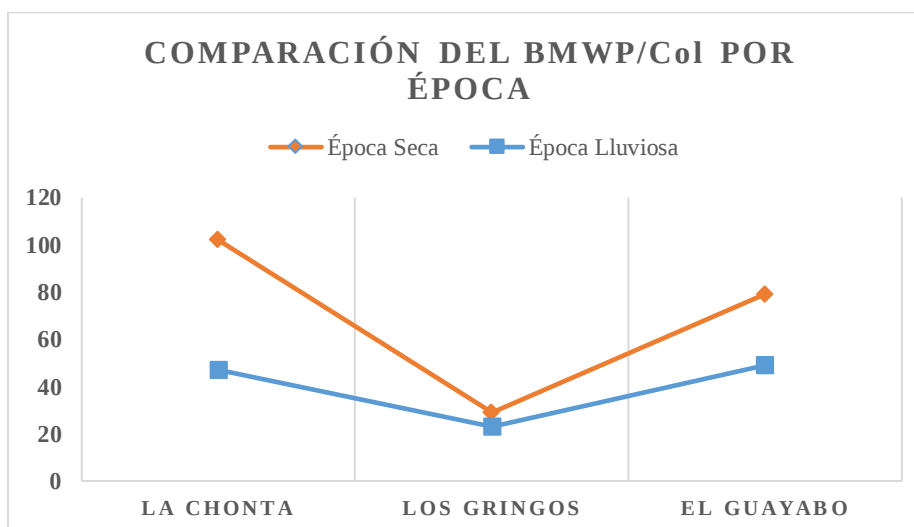


Fig. 26. Comparación del índice BMWP/Col por época

b) A nivel de la cuenca alta

Para conocer la calidad de agua que presenta la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa mediante el índice BMWP/Col, se calculó el promedio final por época, con los valores de la **TABLA XVII**, donde el resultado fue el equivalente a toda la cuenca alta.

En la **TABLA XIX** se presenta el valor promedio total para determinar la calidad del agua a nivel de toda la cuenca alta de la microcuenca con el uso del índice BMWP/Col tanto en época seca como época lluviosa, dando como resultado para la época seca, una calidad ACEPTABLE, que se define como aguas ligeramente contaminadas, y para la época lluviosa una calidad DUDOSA, que se define como aguas moderadamente contaminadas.

TABLA XIX. VALOR PROMEDIO TOTAL BMWP/Col EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA A NIVEL DE LA CUENCA ALTA

ÉPOCA SECA			
ESTACIÓN	VALOR	CALIDAD	COLOR
LA CHONTA (LCE1)	102	BUENA	
LOS GRINGOS (LGE2)	29	CRÍTICA	
EL GUAYABO (EGE3)	79	ACEPTABLE	
PROMEDIO TOTAL	70	ACEPTABLE	
ÉPOCA LLUVIOSA			
ESTACIÓN	VALOR	CALIDAD	COLOR
LA CHONTA (LCE1)	47	DUDOSA	
LOS GRINGOS (LGE2)	23	CRÍTICA	
EL GUAYABO (EGE3)	49	DUDOSA	
PROMEDIO TOTAL	40	DUDOSA	

Elaborado por: Los Autores

2. Índice EPT

a) Por estaciones

Se calculó el índice EPT en cada una de las estaciones estudiadas (**Anexo L**), identificando a las familias y número de individuos pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera, y aplicando la ecuación para este índice.

En la **TABLA XX**, se presenta el valor de este índice para cada una de las estaciones estudiadas en ambas épocas (seca y lluviosa), donde se define la calidad del agua que cuenta cada sitio que fue monitoreado en la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa.

TABLA XX. CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE ÍNDICE EPT POR ESTACIÓN EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA

ESTACIÓN	ÉPOCA	VALOR EPT %	CALIDAD	COLOR
LA CHONTA	SECA	41%	REGULAR	
	LLUVIOSA	33%	REGULAR	
LOS GRINGOS	SECA	28%	REGULAR	
	LLUVIOSA	16%	MALA	
EL GUAYABO	SECA	6%	MALA	
	LLUVIOSA	8%	MALA	

Elaborado por: Los Autores

Para definir y analizar los resultados, se empleó la **TABLA IV** donde se encuentra la clasificación y valor de la calidad del agua para el índice. La estación La Chonta (LCE1) presentó un valor de 41% para este índice en la época seca, lo que determinó que la calidad del agua dentro de esta estación es “regular”; en época lluviosa esta estación presentó un valor de 33% lo que determinó que la calidad del agua también es “regular”.

La estación Los Gringos (LGE2) presentó un valor de 28% en época seca, lo que determinó que la calidad del agua en esta estación es “regular”; por otro lado, en la época lluviosa la estación presentó un valor de 16%, que establece a la calidad del agua como “mala”.

Finalmente, la estación El Guayabo (EGE3) presentó un valor de 6% en época seca, lo que determinó que la calidad del agua en esta estación es “mala”, por otra parte, en la época lluviosa la estación presentó un valor de 8%, lo que también establece a la calidad del agua como “mala”.

Aplicando el índice EPT, se ha determinado que las estaciones de monitoreo presentan distintas clasificaciones de calidad del agua, como calidad “regular” en la estación LCE1 época seca y lluviosa, y en la estación LGE2 en época seca; calidad “mala” en la estación LGE2 en época lluviosa, así como la estación EGE3 en ambas épocas, tanto seca como lluviosa.

En la **TABLA XXI** se presenta el valor promedio y el rango que presentan cada una de las estaciones entre la época seca y la época lluviosa.

TABLA XXI. VALOR PROMEDIO Y RANGO DEL ÍNDICE EPT POR ESTACIÓN ENTRE ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA

ESTACIÓN	VALOR PROMEDIO	RANGO
LA CHONTA (LCE1)	37	8
LOS GRINGOS (LGE2)	22	12
EL GUAYABO (EGE3)	7	2

Elaborado por: Los Autores

En la **figura 27** se pueden observar los valores promedios del índice EPT para cada una de las estaciones LCE1, LGE2, EGE3, en conjunto con la barra de error que representa la variación que existe entre ambas estaciones con respecto a la calidad del agua. La estación LCE1 presenta una barra de error de variación media, con un rango de 8, lo que indica que la calidad del agua, según el índice EPT cambia moderadamente entre la época seca y la época lluviosa. La estación LGE2 presenta la barra de error más amplia, con un rango de 12, lo que indica que la calidad del agua, según este índice, tiene una variación marcada en ambas épocas, con fluctuaciones estacionales significativas. Finalmente, la estación EGE3, presenta una barra con variabilidad mínima, rango de 2, lo que indica que la calidad del agua, según el índice EPT, no presenta fluctuaciones estacionales significativas.

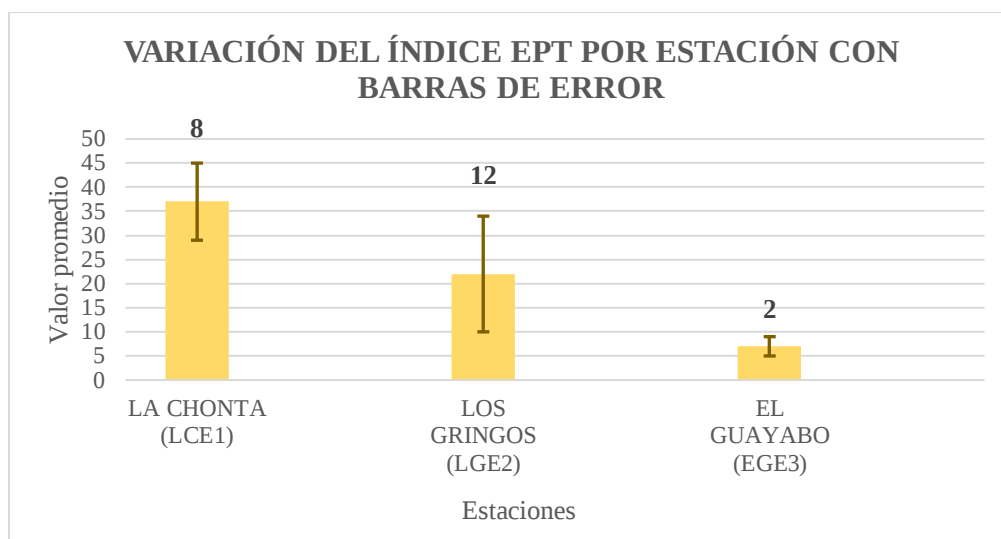


Fig. 27. Variación de los valores de EPT en época seca y lluviosa

En la **figura 28** se observa claramente que es la época lluviosa la que presenta mayor disminución del índice EPT en las estaciones LCE1 y LGE2, por otra parte, en la estación EGE3, la época seca es la de menor índice EPT, sin ser tan significativo entre épocas como en las otras estaciones.

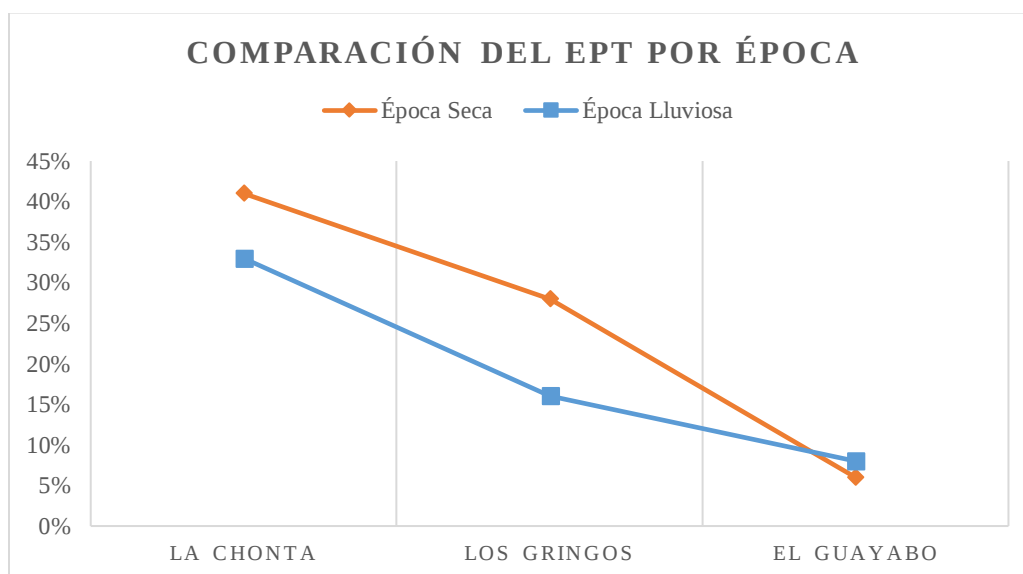


Fig. 28. Comparación del índice EPT por época

b) A nivel de la cuenca alta

Para conocer la calidad de agua que presenta la cuenca alta de la microcuenca del Río Santa Rosa mediante el índice EPT, se calculó el promedio final por época, con los valores de la **TABLA XX**, donde el resultado fue el equivalente a toda la cuenca alta.

En la **TABLA XXII** se presenta el valor promedio total para determinar la calidad del agua a nivel de toda la cuenca alta de la microcuenca con el uso del índice EPT tanto en época seca como época lluviosa, dando como resultado para la época seca, una calidad REGULAR, y para la época lluviosa una calidad MALA.

TABLA XXII. VALOR PROMEDIO TOTAL EPT EN ÉPOCA SECA Y LLUVIOSA A NIVEL DE LA CUENCA ALTA

ÉPOCA SECA			
ESTACIÓN	VALOR	CALIDAD	COLOR
LA CHONTA (LCE1)	41%	REGULAR	
LOS GRINGOS (LGE2)	28%	REGULAR	
EL GUAYABO (EGE3)	6%	MALA	
PROMEDIO TOTAL	25%	REGULAR	
ÉPOCA LLUVIOSA			
ESTACIÓN	VALOR	CALIDAD	COLOR
LA CHONTA (LCE1)	33%	REGULAR	
LOS GRINGOS (LGE2)	16%	MALA	
EL GUAYABO (EGE3)	8%	MALA	
PROMEDIO TOTAL	19%	MALA	

Elaborado por: Los Autores

VIII. DISCUSIONES

Con los resultados obtenidos en esta investigación sobre la calidad del agua en la microcuenca del Rio Santa Rosa a través del estudio de macroinvertebrados como bioindicadores, podemos demostrar que hay una variación por la calidad ambiental que se da actividades antropogénicas, como agricultura, y debido a esto se da impacto notorio en la calidad del agua esto según [88].

Tomando en cuenta las estaciones de muestreo, tenemos a la estación La chonta (LCE1), la cual nos arrojó como resultados una alta diversidad biológica con índice de Shannon-Wiener ($H=2,33$) y en índice Simpson una baja dominancia ($D=0,87$) en época seca. Estos resultados lo que nos muestra una estructura ecológica balanceada, en donde existe una abundancia en las familias de la Leptohyphidae, Veliidae y Psephenidae. La alta diversidad biológica que se evidencia esta correlacionada con las condiciones fisicoquímicas favorables que se registran en la zona, que normalmente se encuentran en zonas en donde existe poca intervención para desarrollo de actividades antrópicas, lo que coincide a el estudio que realizo [89], en el cual hace énfasis en como la poca presión antropogénica favorece la diversidad y distribución homogénea de los macroinvertebrados acuáticos.

Ante la existencia destacada de familias sensibles como Psephenidae estas indican una buena calidad de agua en esta estación, ya que estos organismos son considerados indicadores de aguas bien oxigenadas y limpias [90]. Por otro lado, la presencia de Chironomidae, aunque es mínima, puede ser indicador de ligeras perturbaciones, porque esta familia es conocida por su tolerancia a condiciones adversas [91].

La estación intermedia Los Gringos (LGE2) mostró una composición diferente, con valores de diversidad ligeramente inferiores comparados con LCE1. En esta estación, se observó un aumento en la proporción de familias más tolerantes a perturbaciones, como Chironomidae y Tipulidae, lo que podría indicar efectos incipientes de actividades agrícolas próximas a la estación de muestreo. Resultados similares han sido encontrados en el estudio [92], en donde indican que las comunidades de macroinvertebrados cambian significativamente en zonas intermedias debido a las perturbaciones moderadas derivadas del uso del suelo agrícola. En contraste, la disminución de grupos sensibles como los representantes del orden Ephemeroptera podría indicar una leve disminución en la calidad del agua, coincidiendo con la literatura reciente que señala a estos

organismos como altamente sensibles a contaminantes agroquímicos y sedimentos suspendidos según [93].

En la estación ubicada en la parte más baja de la cuenca alta de la microcuenca, El Guayabo (EGE3), se detectó una disminución considerable en la diversidad biológica y un incremento en la dominancia de familias altamente tolerantes como Chironomidae, Tipulidae y algunas Hemípteras. Estos resultados indican claramente un ambiente afectado por actividades antrópicas más intensas, tales como urbanización y actividades agrícolas intensificadas que podrían estar contribuyendo a la entrada de nutrientes y sedimentos al agua, situación que ha sido previamente reportada por investigaciones recientes como la de [94], que relacionan la urbanización y agricultura intensiva con la pérdida significativa de biodiversidad acuática.

Tenemos que el índice de diversidad de Shannon-Wiener que obtuvimos para la época seca ($H = 1,63$) indica una diversidad moderada de macroinvertebrados, lo que demuestra condiciones buenas en refiriéndose en términos de ecología, parecidos a lo que ha reportado [88], en donde dice que encontró valores similares en microcuencas tropicales que se han visto afectadas moderadamente por actividades de agricultura. La dominancia moderada que se indica por medio del índice de Simpson ($D = 0,63$) apunta a la presencia de ciertas familias con mayor adaptación a cambios ambientales, este hallazgo ha sido notado por [95] que realizó su investigación en ríos subtropicales que se han visto afectados por actividades antrópicas, resaltando la capacidad de adaptación y la de dominancia de familias como Veliidae.

Los valores que se obtuvieron en el índice BMWP/Col revelan alteraciones notorias entre las épocas seca y lluviosa, y las estaciones. En especial, la estación “La Chonta” presentó una calidad de agua buena en época seca (valor BMWP/Col= 102), que bajó en época lluviosa (BMWP/Col= 47), en donde refiere un fuerte impacto estacional que posiblemente se encuentre relacionado a la existencia de arrastre de sedimentos y otros contaminantes, como sucedió a [96], en donde dieron un reporte de baja notoria en lo que respecta a calidad biológica del agua durante las épocas de lluvia en microcuencas tropicales.

En la estación “Los Gringos (LGE2)” se mostraron condiciones críticas en ambos periodos seco y lluvioso, mismas condiciones que se hacen similar al estudio de [97], en donde notaron condiciones altas de contaminación esto gracias a vertidos de uso agrícola y vertidos urbanos continuos en sistemas acuáticos urbanos.

Por otro lado, en el índice EPT se demostró una calidad regular en parte de las estaciones durante la época seca, con una notoria disminución a calidad mala en la época lluviosa, sugiriendo un impacto ambiental estacional notorio, estos resultados se asocian al estudio que realizaron [98], en donde usaron índices EPT en microcuencas andinas afectadas por prácticas agrícolas intensivas, demostrando la sensibilidad y precisión del índice EPT, para indicar así la calidad ecológica y a su vez las perturbaciones ambientales.

Se debe tomar en cuenta que la existencia de la disminución de la calidad de agua en épocas lluviosas puede ser por el aumento de escorrentía, ya que se transportan contaminantes provenientes de prácticas agrícolas hacia los cuerpos de agua, esta situación es descrita en los estudios realizados por [99] en regiones similares de América Latina.

Por último, la variabilidad que se observó en los índices biológicos en las distintas estaciones de muestreo resalta la necesidad urgente de implementar estrategias de gestión hídrica sostenible y monitoreo ambiental continuo, estas recomendaciones son dadas bajo el apoyo de estudio de [100], en donde se recalca el valor de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores efectivos y sensibles para la evaluación y gestión de ecosistemas acuáticos en las áreas en donde existe afectación por actividades antropogénicas.

IX. CONCLUSIONES

- Se determinó que la calidad del agua en la cuenca alta de la microcuenca del río Santa Rosa, por medio de análisis de comunidades de macroinvertebrados acuáticos, evidencia una calidad aceptable, destacando la influencia de las estaciones, en donde se determina mejor calidad en época seca.
- Los índices biológicos BMWP/Col y EPT indicaron variaciones entre estaciones y temporadas, siendo notorias las mejores condiciones ecológicas durante la época seca ante la existencia de menor perturbación antrópica y estabilidad de las condiciones fisicoquímicas.
- En el análisis de los parámetros fisicoquímicas (pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales) se encontraron valores que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que están establecidos por la normativa ecuatoriana vigente, señalando condiciones generales aptas para consumo humano y doméstico y para uso agrícola.
- La biodiversidad y la abundancia de macroinvertebrados reflejaron diferencias marcadas según la estación y época del año, en donde los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (ETP) se marcaron siendo excelentes bioindicadores debido a su sensibilidad ante las perturbaciones ambientales.
- El estudio que se ha realizado ha contribuido para que se dé un mejor entendimiento del estado ecológico en el que se encuentra el Río Santa Rosa y de la misma manera proporciona información importante para que se lleven a cabo futuras acciones de conservación y manejo sostenible de la microcuenca.

X. RECOMENDACIONES

- Implementar un programa regular de monitoreo biológico y físico-químico, especialmente en época lluviosa, que permita la detección temprana de cambios en la calidad del agua y posibles fuentes de contaminación.
- Fomentar prácticas agrícolas sostenibles y el control estricto de descargas residuales domésticas, para mantener y mejorar las condiciones ecológicas del río.
- Establecer programas educativos y de sensibilización ambiental dirigidos a las comunidades locales sobre la importancia del manejo sostenible del recurso hídrico y conservación de la biodiversidad acuática.
- Continuar con investigaciones detalladas sobre la dinámica de poblaciones de macroinvertebrados y su relación con parámetros físico-químicos para mejorar los métodos de evaluación y manejo ecológico del río Santa Rosa.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. A. Osejos Merino, M. C. Merino Conforme, M. V. Merino Conforme, y J. L. Solis Barzola, «Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua de la parte céntrica del río Jipijapa - Ecuador», *RECIMUNDO*, vol. 4, n.º 4, pp. 454-467, oct. 2020, doi: 10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.454-467.
- [2] N. L. Nyamsi Tchatcho *et al.*, «Benthic Macroinvertebrate Communities as Indicator of the Water Quality of a Suburban Stream in the Littoral Region of Cameroon», *Pollutants*, vol. 4, n.º 2, pp. 251-262, may 2024, doi: 10.3390/pollutants4020016.
- [3] A. Rodríguez Castillo, J. Roldán Rodríguez, y G. M. Bopp Vidal, «MACROINVERTEBRATES BENTONSBIOLOGICAL QUALITY INDICATORS OF THE WATER OF HIGHALTITUDEANDEAN LAGOONS, LA LIBERTAD-PERU», *REBIOL*, vol. 41, n.º 1, pp. 91-101, jul. 2021, doi: 10.17268/rebiol.2021.41.01.09.
- [4] P. Gastezzi, J. E. Rincón, y J. E. Rincón, «Composición de los macroinvertebrados según la calidad del agua en turberas de altura, Costa Rica», *Rev. Biol. Trop.*, vol. 71, n.º 1, p. e54605, oct. 2023, doi: 10.15517/rev.biol.trop..v71i1.54605.
- [5] M. Concepción, L. Cano, A. Averza, Q. Ortega, E. Araúz, y E. Muñoz, «MACROINVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE PANAMÁ».
- [6] C. Prieto-Merino y F. Martínez-Gonzaga, «Estudio de la calidad de agua con macroinvertebrados en el sector turístico Pailas Rotas, Cantón Gonzanamá Provincia de Loja», *Polo Conoc.*, vol. 7, n.º 7, pp. 735-751, jul. 2022, doi: 10.23857/pc.v7i6.
- [7] S. H. Torres, J. P. Martin, L. Gárgano, y F. Tejedor, «Respuesta del ensamble de macroinvertebrados bentónicos en un río afectado por la actividad antrópica de la Patagonia extrandina (Provincia de Santa Cruz, Argentina)», *Ecol. Austral*, vol. 33, n.º 2, pp. 516-532, may 2023, doi: 10.25260/EA.23.33.2.0.2137.
- [8] L. Y. Pineda-Alarcón y J. E. Cañón Barriga, «MODELACIÓN DE LA RELACIÓN PREDADOR-PRESA PARA LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS EN EL

LITORAL DEL LAGO DE TOTA», *Acta Biológica Colomb.*, vol. 28, n.º 2, pp. 189-203, may 2023, doi: 10.15446/abc.v28n2.97983.

[9] C. E. Orozco-González y M. E. Ocasio-Torres, «Aquatic Macroinvertebrates as Bioindicators of Water Quality: A Study of an Ecosystem Regulation Service in a Tropical River», *Ecologies*, vol. 4, n.º 2, pp. 209-228, mar. 2023, doi: 10.3390/ecologies4020015.

[10] F. Z. Etemi *et al.*, «The use of macroinvertebrate based biotic indices and diversity indices to evaluate the water quality of Lepenci river basin in Kosovo», *J. Environ. Sci. Health Part A*, vol. 55, n.º 6, pp. 748-758, may 2020, doi: 10.1080/10934529.2020.1738172.

[11] J. J. Pineda-Pineda, C. T. Martínez-Martínez, J. A. Méndez-Bermúdez, J. Muñoz-Rojas, y J. M. Sigarreta, «Application of Bipartite Networks to the Study of Water Quality», *Sustainability*, vol. 12, n.º 12, p. 5143, jun. 2020, doi: 10.3390/su12125143.

[12] G. Monforte García y P. C. Cantú Martínez, «Escenario del agua en México», *Cultura Científica y Tecnológica*, vol. 6, n.º 30, pp. 31-40, febrero de 2009.

[13] B. Ramakrishna, *Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas*, 1.^a ed., vol. 3. en Investigación y educación en desarrollo sostenible / IICA, no. no. A1/SC-97-02, vol. 3. San José, C.R.: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)., 1997. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/17713>

[14] G. L. Ollague Flores, «Evaluación de la calidad de agua en la reserva municipal de la microcuenca alta del río Santa Rosa mediante método de macroinvertebrados bentónicos», TRABAJO EXPERIMENTAL, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA, Cuenca, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21097/1/UPS-CT009273.pdf>

[15] M. T. Barbour, J. Gerritsen, B. D. Snyder, y J. B. Stribling, «Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition.», U.S. Environmental Protection Agency (EPA)., Washington, D.C., Protocolo EPA 841-B-99-002., 1999. [En línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/OWOW/monitoring/techmon.html>

- [16] T. E. Eriksen, J. E. Brittain, G. Søli, D. Jacobsen, P. Goethals, y N. Friberg, «A global perspective on the application of riverine macroinvertebrates as biological indicators in Africa, South-Central America, Mexico and Southern Asia», *Ecol. Indic.*, vol. 126, p. 107609, jul. 2021, doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107609.
- [17] S. Segnini, «EL USO DE LOS MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO INDICADORES DE LA CONDICIÓN ECOLÓGICA DE LOS CUERPOS DE AGUA CORRIENTE», pp. 45-63, 2003.
- [18] D. Jacobsen, R. Schultz, y A. Encalada, «Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude», *Freshw. Biol.*, vol. 38, n.º 2, pp. 247-261, oct. 1997, doi: 10.1046/j.1365-2427.1997.00210.x.
- [19] C. Arroyo J. y A. C. Encalada, «Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en bosque de neblina montano», *ACI Av. En Cienc. E Ing.*, vol. 1, n.º 1, abr. 2009, doi: 10.18272/aci.v1i1.4.
- [20] J. Valdiviezo-Riera, C. Garzón-Santomaro, D. Inclán-Luna, J. Mena-Jaén, y D. González-Romero, *Ecosistemas dulceacuícolas de la provincia de El Oro: Peces y macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos del páramo al manglar*. en Publicación Miscelánea N° 10, no. 10. Quito, Ecuador: GADPEO-INABIO, 2018.
- [21] M. R. Pontón Valarezo, «EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PIÑAS MEDIANTE LOS ÍNDICES ICA Y BMWP.», p. 96, 2018.
- [22] S. L. Gonzaga Vallejo y P. A. Jaramillo Rivera, «Análisis de calidad de agua de los ríos Calera y Amarillo, sur del Ecuador aplicando los métodos UWQI y CWQI». 2021. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/28016>
- [23] N. Bonada, N. Prat, V. H. Resh, y B. Statzner, «DEVELOPMENTS IN AQUATIC INSECT BIOMONITORING: A Comparative Analysis of Recent Approaches», *Annu. Rev. Entomol.*, vol. 51, n.º 1, pp. 495-523, ene. 2006, doi: 10.1146/annurev.ento.51.110104.151124.
- [24] K. J. Rodríguez Robayo, C. A. Herrera Heredia, y F. E. Martínez Camelo, «Entre conservar y producir. La relación sociedad-naturaleza y los conflictos socioecológicos en el lago de Tota, Boyacá, Colombia», *Región Soc.*, vol. 33, p. e1419, mar. 2021, doi: 10.22198/rys2021/33/1419.

- [25] G. R. Pérez, «Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia», p. 226, 1996.
- [26] Naciones Unidas, «Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible», Asamblea General de las Naciones Unidas, Documento gubernamental A/RES/70/1, oct. 2015. [En línea]. Disponible en: https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf
- [27] C. A. Sierra Ramírez, *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*, 1a ed. Medellín s.l: Ediciones de la U, 2011.
- [28] A. Y. Chanatasig Chicaiza y M. F. Parra Toro, «DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA POR BIOINDICADORES MACROINVERTEBRADOS EN EL RÍO QUINDIGUA, PARROQUIA GUASAGANDA, CANTÓN LA MANÁ, 2023», Proyecto de investigación, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga, 2024.
- [29] I. C. Daga, M. C. Fernández Belmonte, y S. María Reyna, «Composicion algal y bioindicadores de calidad de agua. Caso de estudio: Embalse San Roque, Córdoba. Argentina», *Cuad. CURIHAM*, vol. 26, pp. 1-11, dic. 2020, doi: 10.35305/curiham.v26i0.143.
- [30] M. A. Osorio-Rivera, W. E. Carrillo-Barahona, J. H. Negrete-Costales, X. A. Loor-Lalvay, y E. J. Riera-Guachichulca, «La calidad de las aguas residuales domésticas The quality of domestic waste water», vol. 6, n.º 3, 2021.
- [31] M. T. Rincón-Bello, F. Y. Soler-Romero, D. S. Calderón-Rivera, y R. J. Sierra-Parada, «Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de agua en el río Chicú, Cundinamarca, Colombia Aquatic macroinvertebrates as water quality bioindicators in Chicú river, Cundinamarca, Colombia», vol. 31, n.º 1, 2021.
- [32] L. F. Gudiño-Sosa *et al.*, «Evaluación de la calidad del agua en un río subtropical y tributarios utilizando índices fisicoquímicos y macroinvertebrados acuáticos», *Hidrobiológica*, vol. 32, n.º 1, pp. 33-50, abr. 2022, doi: 10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2022v32n1/ Gudino.
- [33] J. H. Pérez, Z. E. Rocha-Gil, C. C. Pérez-Rubiano, y A. A. Bernal-Figueroa, «CALIDAD BIOLÓGICA EN UN SISTEMA ACUÁTICO CON INFLUENCIA DE ACTIVIDADES

MINERAS Y AGROPECUARIAS: RÍO SALITRE, BOYACÁ (COLOMBIA)», *Trop. Subtrop. Agroecosystems*, vol. 24, n.º 3, ago. 2021, doi: 10.56369/tsaes.3387.

[34] C. A. Severiche Sierra, R. L. Acevedo Barrios, y M. E. Castillo Bertel, *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas*. Cartagena de Indias, Colombia: Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm>

[35] G. C. Herrera-Morales, M. I. Chávez-Cadena, y M. Y. Jiménez-Gutiérrez, «Medición de calidad del agua en río Chambo (Ecuador) en un programa educativo experiencial», *Inf. Tecnológica*, vol. 33, n.º 2, pp. 59-66, abr. 2022, doi: 10.4067/S0718-07642022000200059.

[36] G. Pauta-Calle, G. Vázquez, A. Abril, C. Torres, M. Loja-Sari, y A. Palta-Vera, «Indicadores bacteriológicos de contaminación fecal en los ríos de Cuenca, Ecuador», *MASKANA*, vol. 11, n.º 2, pp. 46-57, dic. 2020, doi: 10.18537/mskn.11.02.05.

[37] A. D. L. C. Morell Bayard y L. Gómez Luna, «La significación práctica de la Ecohidrología: un análisis de su potencial para el estudio de cuencas hidrográficas», *Agua Territ. Water Landsc.*, n.º 24, p. e7127, feb. 2024, doi: 10.17561/at.24.7127.

[38] C. Maldonado Santana, C. Franco-Billini, y U. J. Jáuregui-Haza, «Gestión integrada de las cuencas hidrográficas: hacia un nuevo paradigma en la gobernanza del agua», *Cienc. Ambiente Clima*, vol. 6, n.º 2, pp. 67-101, dic. 2023, doi: 10.22206/cac.2023.v6i2.2951.

[39] M. Váscones, A. Mancheno, C. Álvarez, C. Prehn, C. Cevallos, y L. Ortiz, Eds., *Cuencas hidrográficas*, Primera edición. Quito, Ecuador: Cuenca, Ecuador: Abya Yala; Universidad Politécnica Salesiana, 2019.

[40] L. F. Lucio Villacreses *et al.*, *Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas*. Editorial Sinapsis, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://editorial.itsup.edu.ec/index.php/itsup/catalog/view/75/70/419-1>

[41] C. A. V. Villalta Rodriguez y L. F. C. Castañeda Romero, «MANUAL DE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRAFICAS», p. 177, 2003.

- [42] J. Faustino y S. García, *Manual de Manejo de Cuencas*. El Salvador, 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.uv.mx/oabcc/files/2018/11/MANUAL-DE-MANEJO-DE-CUENCAS_COMPLETO.pdf
- [43] J. J. Ordoñez Gálvez, *CARTILLA TÉCNICA: ¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?*, Primera. Lima: Sociedad Geográfica de Lima, 2011. [En línea]. Disponible en: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- [44] F. J. Gaspari, A. M. Rodríguez Vagaría, G. E. Senisterra, M. I. Delgado, y S. Besteiro, *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), 2013. doi: 10.35537/10915/27877.
- [45] J. Faustino y F. Jimenez, *Manejo de cuencas hidrográficas*. Turrialba, Costa Rica, 2000. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8431>
- [46] F. Jaramillo Monroy, E. V. Wehncke, V. H. Flores Armillas, O. M. Pohle Morales, y X. López-Medellín, «Enfoque regional de manejo integrado del agua en la microcuenca El Pantano, Morelos, México», *Econ. Soc. Territ.*, vol. 21, n.º 65, pp. 275-304, mar. 2021, doi: 10.22136/est20211625.
- [47] L. Bassi, «Guía metodológica para el manejo participativo de microcuencas», p. 77, 2007.
- [48] G. Merten, J. Riquelme, y A. Borges, «MANEJO DE MICROCUENCAS: LA MANERA INTELIGENTE DE CONSERVAR EL SUELO Y LAS AGUAS», pp. 137-157.
- [49] A. Pérez *et al.*, *GUIA DE MACROINVERTEBRADOS BENTONICOS DE LA PROVINCIA DE ORELLANA*, Primera. El Coca - Orellana - Ecuador: Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres, 2016. [En línea]. Disponible en: https://esf-cat.org/wp-content/uploads/2017/02/Guia-de-Macroinvertebrados-Bentonicos-de-la-provincia-de-Orellana-ESF-Baja-Calidad.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [50] J. C. Nuñez y P. J. Fragoso-Castilla, «Uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en la cuenca media del río Guatapurí (Valledupar, Colombia)», *Inf. Tecnológica*, vol. 31, n.º 6, pp. 207-216, dic. 2020, doi: 10.4067/S0718-07642020000600207.

- [51] T. E. Eriksen *et al.*, «Ecological condition, biodiversity and major environmental challenges in a tropical river network in the Bago District in South-central Myanmar: First insights to the unknown», *Limnologica*, vol. 86, p. 125835, ene. 2021, doi: 10.1016/j.limno.2020.125835.
- [52] T. Wondmagegn y S. Mengistou, «Effects of anthropogenic activities on macroinvertebrate assemblages in the littoral zone of Lake Hawassa, a tropical Rift Valley Lake in Ethiopia», *Lakes Reserv. Sci. Policy Manag. Sustain. Use*, vol. 25, n.º 1, pp. 61-71, mar. 2020, doi: 10.1111/lre.12303.
- [53] C. A. Díaz-Rojas, Á. J. Motta-Díaz, y N. Aranguren-Riaño, «Estudio de la diversidad taxonómica y funcional de los macroinvertebrados en un río de montaña Andino», *Rev. Biol. Trop.*, vol. 68, n.º S2, pp. S132-S149, oct. 2020, doi: 10.15517/rbt.v68iS2.44345.
- [54] P. Coayla-Peñaloza, A. A. Chenaux-Díaz, C. V. Moreno-Salazar, C. E. Cruz-Remache, E. W. Colque-Rondón, y C. Damborenea, «Benthic macroinvertebrate communities and water quality assessment in high Andean Wetlands Callali-Oscollo, Arequipa-Cusco, Peru», *Rev. Mex. Biodivers.*, vol. 94, p. e944206, feb. 2023, doi: 10.22201/ib.20078706e.2023.94.4206.
- [55] A. Palma, *GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS DE CHILE*, Primera. 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/318970118>
- [56] J. Rincón, D. Merchán, D. Rojas, A. Sparer, y E. Zárate, *Los Macroinvertebrados acuáticos de los ríos del Parque Nacional Cajas*. Cuenca: Universidad del Azuay, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/317416107>
- [57] R. Ladrera Fernández, «Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos», *Páginas Inf. Ambient.*, n.º N° 39, p. 6, ago. 2012.
- [58] P. A. Guarderas, R. E. Espinosa, E. A. Guevara, y T. Santander, «Cartilla de identificación de macroinvertebrados acuáticos: Guía para el monitoreo participativo», p. 23, 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.25555.81447.
- [59] D. M. Walters, M. A. Ford, y R. E. Zuellig, «A digital reference collection for aquatic macroinvertebrates of North America», *Freshw. Sci.*, vol. 36, n.º 4, pp. 693-697, dic. 2017, doi: 10.1086/694539.

- [60] D. Mitchell y T. Orrell, «ITIS and the Global Taxonomic Backbone», *Biodivers. Inf. Sci. Stand.*, vol. 5, p. e75471, sep. 2021, doi: 10.3897/biss.5.75471.
- [61] A. Schmidt-Kloiber y D. Hering, «www.freshwaterecology.info – An online tool that unifies, standardises and codifies more than 20,000 European freshwater organisms and their ecological preferences», *Ecol. Indic.*, vol. 53, pp. 271-282, jun. 2015, doi: 10.1016/j.ecolind.2015.02.007.
- [62] M. Saad Abdelkarim, «Biomonitoring and bioassessment of running water quality in developing countries: A case study from Egypt», *Egypt. J. Aquat. Res.*, vol. 46, n.º 4, pp. 313-324, dic. 2020, doi: 10.1016/j.ejar.2020.11.003.
- [63] G. Magallón Ortega *et al.*, «Water Quality Analysis in a Subtropical River with an Adapted Biomonitoring Working Party (BMWP) Index», *Diversity*, vol. 13, n.º 11, p. 606, nov. 2021, doi: 10.3390/d13110606.
- [64] G. Roldán Pérez, *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*. Bogotá D.C, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/wbp12.pdf>
- [65] M. Bueñaño, C. Vásquez, H. Zurita-Vásquez, J. Parra, y R. Pérez, «Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en la cuenca del Pachanlica, provincia de Tungurahua, Ecuador», *Intropica*, p. 41, mar. 2018, doi: 10.21676/23897864.2405.
- [66] F. N. Souza, R. Mariano, T. Moreira, y S. Campiolo, «Influence of the landscape in different scales on the EPT community (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) in an Atlantic Forest region», *Environ. Monit. Assess.*, vol. 192, n.º 6, p. 391, jun. 2020, doi: 10.1007/s10661-020-08318-x.
- [67] C. Carrera Reyes y K. Fierro Peralbo, *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*, 1. ed. Quito: EcoCiencia, 2001. [En línea]. Disponible en: <https://ecociencia.org/manual-de-monitoreo-los-macroinvertebrados-acuaticos-como-indicadores-de-la-calidad-del-agua/>

- [68] M. Angeles, J. C. Altamirano, L. Juarez-Contreras, E. Chichipe Vela, J. Florida García, y J. Rascón, «Ecological quality of the Jucusbamaba River, a high Andean urban river in northeastern Peru», *Environ. Adv.*, vol. 17, p. 100584, oct. 2024, doi: 10.1016/j.envadv.2024.100584.
- [69] S. J. Miranda, «Relevamiento de flora del área protegida Bosque de Bolognia para la obtención de un índice de diversidad Shannon Wiener a través de una aplicación móvil», vol. 17, n.º 17, pp. 215-238, mar. 2019.
- [70] I. A. Baryshev, E. Savosin, y S. F. Komulainen, «Assessment of the ecological status of the river water system in European North under conditions of ultra-fresh humus waters using biotic indices (Suna River, Lake Onega Basin, Russia)», *Water Sci. Technol.*, vol. 90, n.º 3, pp. 1023-1032, ago. 2024, doi: 10.2166/wst.2024.254.
- [71] O. Perez, P. Méndez, y X. Cazorla, «Diagnóstico de la calidad del agua del río jurumbaino mediante macroinvertebrados como bioindicadores, Macas, Morona Santiago», vol. 6, n.º 9, pp. 259-281, sep. 2021, doi: 10.23857/pc.v6i9.3024.
- [72] C. TayHing Cajas, N. Guerrero Chúez, K. Sánchez Moyano, y J. Rosado Lozano, «Macroinvertebrados Acuáticos y su Relación con Diferentes Coberturas Ribereñas en el río Baba, Microcuenca del río Quevedo», *Rev. Cienc. Mar Acuic. YAKU*, vol. 7, n.º 12, pp. 1-13, jun. 2024, doi: 10.56124/yaku.v7i12.001.
- [73] L. Atoche-Bazán, C. Cordova-Rojas, A. Ramos-Camacho, S. Sánchez-Llanos, K. Velezmoro-Cruzado, y M. Sanchez-Peña, «Determination of the water quality of the Chancay-Baños river using aquatic macroinvertebrates.», en *Proceedings of the 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2024): "Sustainable Engineering for a Diverse, Equitable, and Inclusive Future at the Service of Education, Research, and Industry for a Society 5.0."*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2024. doi: 10.18687/LACCEI2024.1.1.1773.
- [74] D. Kiernan, *Natural Resources Biometrics*. SUNY College of Environmental Science and Forestry, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://digitalcommons.humboldt.edu/oer/1/>
- [75] Asamblea Constituyente, *CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR*. 2008. [En línea]. Disponible en: <https://www.defensa.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

[76] Asamblea Constituyente, *CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. 2017, p. 92. [En línea]. Disponible en: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

[77] Asamblea Constituyente, *REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI, Acuerdo Ministerial 97*. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>

[78] GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN SANTA ROSA, *ORDENANZA PARA LA PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN DE FUENTES DE AGUA, ECOSISTEMAS FRÁGILES, BIODIVERSIDAD Y SERVICIOS AMBIENTALES DEL CANTÓN SANTA ROSA A TRAVÉS DE LA CREACIÓN Y GESTIÓN DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN MUNICIPAL Y USO SOSTENIBLE*". p. 37. [En línea]. Disponible en: <https://santarosa.gob.ec/phocadownload/Ordenanzas/2021/ORDENA~1.PDF>

[79] G. C. Egas, «Caracterización y evaluación de la Cuenca Alta del Río Santa Rosa», pp. 1-12, 2009.

[80] INAMHI, «Informe de rendición de cuentas 2023», Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito, Ecuador, mar. 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.inamhi.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/04/Informe_RC_2023.pdf

[81] Agencia de regulación y control del agua, *Plan Estratégico Institucional 2018-2021*. Quito, Ecuador, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/01/Plan-Estrat%C3%A9gico-Institucional-2018-2021-Aprobado.pdf>

[82] V. Narvaez y G. Zapata Ríos, *MANUAL PARA EL MUESTREO DE FAUNA SILVESTRE CON TRANSECTOS LINEALES*. Quito, Ecuador: Wildlife Conservation Society, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://library.wcs.org/en-us/Scientific-Research/Research-Publications/Publications-Library/ctl/view/mid/40093/pubid/DMX3791700000.aspx>

- [83] G. Liu *et al.*, «Uncovering patterns and drivers of macroinvertebrate ecological uniqueness for conservation planning in riverine tributaries of Thousand Islands Lake, China», *Ecol. Indic.*, vol. 167, p. 112652, oct. 2024, doi: 10.1016/j.ecolind.2024.112652.
- [84] J. Alba-Tercedor, I. Pardo, N. Prat, y A. Pujante, *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro protocolos de muestreo y análisis para: fitoplancton, fitobentos (microalgas bentónicas), macrofitos, invertebrados bentónicos, ictiofauna*. España: Ministerio de Medio Ambiente, Centro de Publicaciones, 2005. [En línea]. Disponible en: <https://datos.bne.es/edicion/a4304607.html>
- [85] Tongayi Mwedzi, Nqobizitha Siziba, Oghenekaro Nelson Odume, Eisen Nyamazana, y Innocent Mabika, «Responses of macroinvertebrate community metrics to urban pollution in semi-arid catchments around the city of Bulawayo, Zimbabwe», *Water SA*, vol. 46, n.º 4 October, oct. 2020, doi: 10.17159/wsa/2020.v46.i4.9071.
- [86] P. Hanson, S. Springer, y A. Ramirez, «Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos», *Rev. Biol. Trop.*, pp. 3-37, jul. 2015, doi: 10.15517/rbt.v58i4.20080.
- [87] J. V. A. D. S. Santos *et al.*, «Assessing physical habitat structure and biological condition in eastern Amazonia stream sites», *Water Biol. Secur.*, vol. 2, n.º 2, p. 100132, abr. 2023, doi: 10.1016/j.watbs.2022.100132.
- [88] M. Suárez, J. Benayas, A. Justel, R. Sisto, C. Montes, y E. Sanz-Casado, «A holistic index-based framework to assess urban resilience: Application to the Madrid Region, Spain», *Ecol. Indic.*, vol. 166, p. 112293, sep. 2024, doi: 10.1016/j.ecolind.2024.112293.
- [89] M. Silva y A. Huamantínco, «DIVERSIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN DOS QUEBRADAS ALTOANDINAS EN LA LOCALIDAD DE CHONTACA, AYACUCHO, PERÚ», 2020, doi: 10.13140/RG.2.2.27660.74888.
- [90] K. Yumbo, V. Iler, W. Espinoza, D. Campos, R. Castro, y D. Chirinos, «Determinación de la calidad de aguas mediante indicadores biológicos y físico-químicos en el río Paján, Manabí, Ecuador», *Investig. No 10*, pp. 32-40, mar. 2018.

- [91] C. Villamarín, S. Villamarín-Cortez, D. M. Salcido, M. Herrera-Madrid, y B. Ríos-Touma, «Drivers of diversity and altitudinal distribution of chironomids (Diptera: Chironomidae) in the Ecuadorian Andes», *Rev. Biol. Trop.*, vol. 69, n.º 1, nov. 2020, doi: 10.15517/rbt.v69i1.40964.
- [92] M. J. Álvarez-Álvarez, L. A. Moreno-Ponce, y J. J. Regalado-Jalca, «Impacto Ambiental Asociado a Factores Antropogénicos: Incidencia en la Economía de las Cuencas hidrográficas», *MQRInvestigar*, vol. 8, n.º 4, pp. 2158-2180, oct. 2024, doi: 10.56048/MQR20225.8.4.2024.2158-2180.
- [93] N. Benhadji, S. B. Kurniawan, y M. F. Imron, «Review of mayflies (Insecta Ephemeroptera) as a bioindicator of heavy metals and microplastics in freshwater», *Sci. Total Environ.*, vol. 958, p. 178057, ene. 2025, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.178057.
- [94] J. P. Urdanigo *et al.*, «Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en quebradas con diferente cobertura ribereña en el bosque Protector Murocomba, Ecuador», *Rev Biol Trop*, vol. 67, 2019.
- [95] I. Pikaar, X. Huang, F. Fatone, y J. S. Guest, «Resource recovery from water: From concept to standard practice», *Water Res.*, vol. 178, p. 115856, jul. 2020, doi: 10.1016/j.watres.2020.115856.
- [96] N. S. Marzolf *et al.*, «Do experimental pH increases alter the structure and function of a lowland tropical stream?», *Ecosphere*, vol. 13, n.º 7, p. e4097, jul. 2022, doi: 10.1002/ecs2.4097.
- [97] N. T. Anh, L. D. Can, N. T. Nhan, B. Schmalz, y T. L. Luu, «Influences of key factors on river water quality in urban and rural areas: A review», *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, vol. 8, p. 100424, dic. 2023, doi: 10.1016/j.cscee.2023.100424.
- [98] K. F. De La Cruz Rodríguez, «ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS COMUNIDADES DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN EL RÍO ATRAVEZADO. COMUNA LIBERTADOR BOLÍVAR - PROVINCIA DE SANTA ELENA», La Libertad - Ecuador, 2024.
- [99] F. González, Y. León-Alfaro, y N. López-Estébanez, «Flora de las turberas tropicales de alta montaña: amenazas y medidas de manejo, Cordillera de Talamanca, Costa Rica», *Rev. Biol. Trop.*, vol. 73, n.º 1, p. e58505, feb. 2025, doi: 10.15517/rev.biol.trop..v73i1.58505.

[100] J. C. Jaramillo Londoño, «Importancia de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua». 2002. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/234571353>

XII. ANEXOS

Anexo A. Criterios de calidad para agua de consumo humano y doméstico y para el riego agrícola

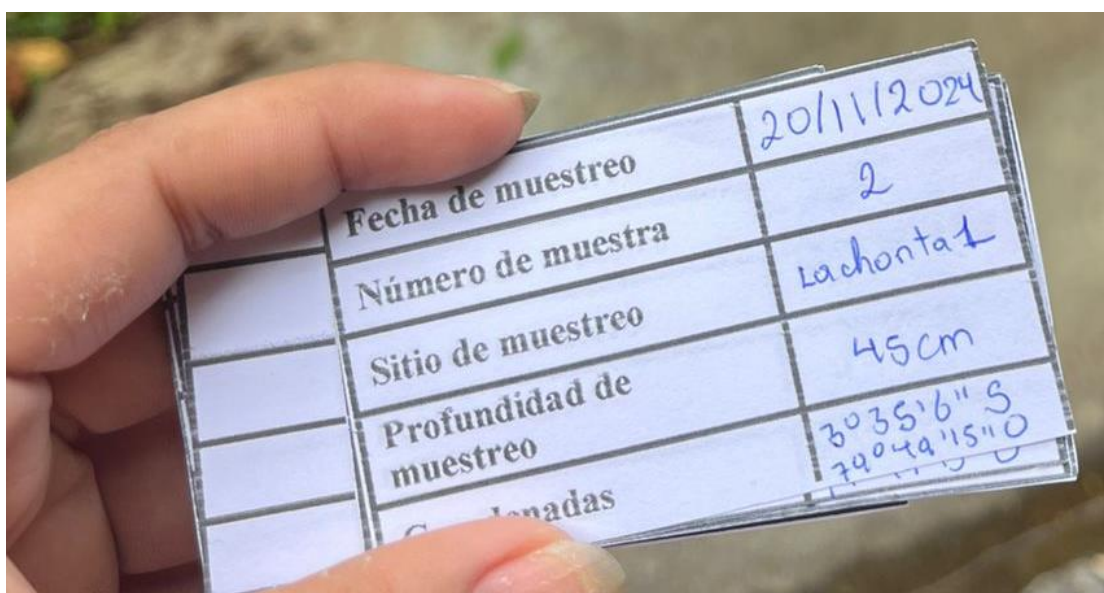
TABLA 1: CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Fluoruro	F	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	<4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	<2
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/l	50,0
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Potencial Hidrógeno	pH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA			
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	Película Visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/ l	0, 2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

Anexo B. Etiquetas utilizadas para rotular los envases de muestras

Fecha de muestreo	
Número de muestra	
Sitio de muestreo	
Profundidad de muestreo	
Coordenadas	



Anexo C. Muestreo de macroinvertebrados mediante Red Surber y Red de Patada



Anexo D. Muestreo y análisis de agua in situ



Anexo E. Identificación de macroinvertebrados en laboratorio



Anexo F. Macroinvertebrados presentes en la cuenca alta de la Microcuenca del Río Santa Rosa







Anexo G. Base de datos de macroinvertebrados

ESTACIÓN 1 LA CHONTA VERANO		
ORDEN	FAMILIA	N° EJEMPLARES
COLEOPTERA	Elmidae	4
	Hydrophilidae	2
	Psephenidae	8
	Ptilodactylidae	1
DIPTERA	Chironomidae	2
	Tipulidae	2
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	17
	Leptophlebiidae	3
HEMIPTERA	Naucoridae	4
	Veliidae	10
MEGALOPTERA	Corydalidae	1
ODONATA	Libellulidae	3
TRICHOPTERA	Hydrobiosidae	2
	Polycentropodidae	1
	Hydropsychidae	3
TOTAL	EJEMPLARES	63
	ORDENES	7
	FAMILIAS	15
ESTACIÓN 1 LA CHONTA INVIERNO		
ORDEN	FAMILIA	N° EJEMPLARES
COLEOPTERA	Elmidae	2
DIPTERA	Tipulidae	1
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	2
	Leptophlebiidae	2
HEMIPTERA	Naucoridae	4
	Veliidae	5
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	2
TOTAL	EJEMPLARES	18
	ORDENES	5
	FAMILIAS	7

ESTACIÓN 2 LOS GRINGOS VERANO		
ORDEN	FAMILIA	N° EJEMPLARES
COLEOPTERA	Elmidae	3
MEGALOPTERA	Corydalidae	2
TRICHOPTERA	Polycentropodidae	25
HEMIPTERA	Veliidae	58
TOTAL	EJEMPLARES	88
	ORDENES	4
	FAMILIAS	4

ESTACIÓN 2 LOS GRINGOS INVIERNO		
ORDEN	FAMILIA	N° EJEMPLARES
COLEOPTERA	Elmidae	1
TRICHOPTERA	Polycentropodidae	6
HEMIPTERA	Veliidae	30
TOTAL	EJEMPLARES	37
	ORDENES	3
	FAMILIAS	3

ESTACIÓN 3 EL GUAYABO VERANO		
ORDEN	FAMILIA	N° EJEMPLARES
COLEOPTERA	Elmidae	4
	Psephenidae	3
DIPTERA	Chironomidae	8
	Simuliidae	2
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	2
	Leptophlebiidae	1
HEMIPTERA	Naucoridae	1
	Veliidae	84
MEGALOPTERA	Corydalidae	1
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	1
	Polycentropodidae	2
TOTAL	EJEMPLARES	109
	ORDENES	6
	FAMILIAS	11
ESTACIÓN 3 EL GUAYABO INVIERNO		
ORDEN	FAMILIA	N° EJEMPLARES
COLEOPTERA	Elmidae	2
DIPTERA	Chironomidae	3
	Tipulidae	1
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	1
	Leptophlebiidae	2
HEMIPTERA	Naucoridae	1
	Veliidae	39
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	1
TOTAL	EJEMPLARES	50
	ORDENES	5
	FAMILIAS	8

Anexo H. Valores promedios de familias calculados por época

VALORES PROMEDIOS ÉPOCA SECA							
ORDEN	FAMILIA	LCE1		LGE2		EGE3	
		#	%	#	%	#	%
COLEOPTERA	Elmidae	4	6,35%	3	3,41%	4	3,67%
	Hydrophilidae	2	3,17%	0	0,00%	0	0,00%
	Psephenidae	8	12,70%	0	0,00%	3	2,75%
	Ptilodactylidae	1	1,59%	0	0,00%	0	0,00%
DIPTERA	Chironomidae	2	3,17%	0	0,00%	8	7,34%
	Simuliidae	0	0,00%	0	0,00%	2	1,83%
	Tipulidae	2	3,17%	0	0,00%	0	0,00%
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	17	26,98%	0	0,00%	2	1,83%
	Leptophlebiidae	3	4,76%	0	0,00%	1	0,92%
HEMIPTERA	Naucoridae	4	6,35%	0	0,00%	1	0,92%
	Veliidae	10	15,87%	58	65,91%	84	77,06%
MEGALOPTERA	Corydalidae	1	1,59%	2	2,27%	1	0,92%
ODONATA	Libellulidae	3	4,76%	0	0,00%	0	0,00%
TRICHOPTERA	Hydrobiosidae	2	3,17%	0	0,00%	0	0,00%
	Polycentropodidae	1	1,59%	25	28,41%	2	1,83%
	Hydropsychidae	3	4,76%	0	0,00%	1	0,92%
TOTAL	EJEMPLARES	63	100%	88	100%	109	100%
	ORDENES	7		4		6	
	FAMILIAS	15		4		11	
VALORES PROMEDIOS ÉPOCA LLUVIOSA							
ORDEN	FAMILIA	LCE1		LGE2		EGE3	
		#	%	#	%	#	%
COLEOPTERA	Elmidae	2	11,11%	1	2,70%	2	4,00%
	Hydrophilidae	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	Psephenidae	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	Ptilodactylidae	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
DIPTERA	Chironomidae	0	0,00%	0	0,00%	3	6,00%
	Simuliidae	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	Tipulidae	1	5,56%	0	0,00%	1	2,00%
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	2	11,11%	0	0,00%	1	2,00%
	Leptophlebiidae	2	11,11%	0	0,00%	2	4,00%
HEMIPTERA	Naucoridae	4	22,22%	0	0,00%	1	2,00%
	Veliidae	5	27,78%	30	81,08%	39	78,00%
MEGALOPTERA	Corydalidae	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
ODONATA	Libellulidae	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
TRICHOPTERA	Hydrobiosidae	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
	Polycentropodidae	0	0,00%	6	16,22%	0	0,00%
	Hydropsychidae	2	11,11%	0	0,00%	1	2,00%
TOTAL	EJEMPLARES	18	100%	37	100%	50	100%
	ORDENES	5		3		5	
	FAMILIAS	7		3		8	

Anexo I. Sumatoria de los valores promedios por época

MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN TODA LA MICROCUENCA ÉPOCA SECA			
ORDEN	FAMILIA	EJEMPLARES TOTALES	%
COLEOPTERA	Elmidae	11	4,23%
	Hydrophilidae	2	0,77%
	Psephenidae	11	4,23%
	Ptilodactylidae	1	0,38%
DIPTERA	Chironomidae	10	3,85%
	Simuliidae	2	0,77%
	Tipulidae	2	0,77%
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	19	7,31%
	Leptophlebiidae	4	1,54%
HEMIPTERA	Naucoridae	5	1,92%
	Veliidae	152	58,46%
MEGALOPTERA	Corydalidae	4	1,54%
ODONATA	Libellulidae	3	1,15%
TRICHOPTERA	Hydrobiosidae	2	0,77%
	Polycentropodidae	28	10,77%
	Hydropsychidae	4	1,54%
TOTAL	EJEMPLARES	260	100%
	ORDENES	7	
	FAMILIAS	16	
MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN TODA LA MICROCUENCA ÉPOCA LLUVIOSA			
ORDEN	FAMILIA	EJEMPLARES TOTALES	%
COLEOPTERA	Elmidae	5	4,76%
	Hydrophilidae	0	0,00%
	Psephenidae	0	0,00%
	Ptilodactylidae	0	0,00%
DIPTERA	Chironomidae	3	2,86%
	Simuliidae	0	0,00%
	Tipulidae	2	1,90%
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	3	2,86%
	Leptophlebiidae	4	3,81%
HEMIPTERA	Naucoridae	5	4,76%
	Veliidae	74	70,48%
MEGALOPTERA	Corydalidae	0	0,00%
ODONATA	Libellulidae	0	0,00%
TRICHOPTERA	Hydrobiosidae	0	0,00%
	Polycentropodidae	6	5,71%
	Hydropsychidae	3	2,86%
TOTAL	EJEMPLARES	105	100%
	ORDENES	5	
	FAMILIAS	9	

Anexo J. Comparación de parámetros in situ con la normativa ambiental vigente

RESULTADOS CUENCA ALTA MICROCUENCA DEL RÍO SANTA ROSA								GUIA NORMATIVA	
PARÁMETROS	UNIDAD	LA CHONTA LCE1		LOS GRINGOS LGE2		EL GUAYABO EGE3		ACUERDO MINISTERIAL 097-A	
		Época seca	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa	TABLA 1: CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO	TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA
pH	Unidades de pH	7,97	7,65	7,68	5,22	7,03	6,51	6 a 9	6 a 9
Temperatura (°C)	°C	25,0	23,50	25,60	24,30	23,70	26,30	N/A	N/A
Conductividad eléctrica (uS/cm)	uS/cm	43,50	71,9	147,0	172,0	74,49	80,80	N/A	>3000
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/l	25,30	28,32	105,50	157,40	41,59	54,65	1600	>2000

Anexo K. Valores promedios y diferencia absoluta de parámetros in situ en ambas épocas

pH			
ESTACIÓN	ÉPOCA SECA	ÉPOCA LLUVIOSA	DIFERENCIA ABSOLUTA
LA CHONTA (LCE1)	7,97	7,65	0,32
LOS GRINGOS (LGE2)	7,68	5,22	2,46
EL GUAYABO (EGE3)	7,03	6,51	0,52
PROMEDIO	7,56	6,46	

TEMPERATURA			
ESTACIÓN	ÉPOCA SECA	ÉPOCA LLUVIOSA	DIFERENCIA ABSOLUTA
LA CHONTA (LCE1)	25,0	23,50	1,5 °C
LOS GRINGOS (LGE2)	25,60	24,30	1,3 °C
EL GUAYABO (EGE3)	23,70	26,30	2,6 °C
PROMEDIO	24,77	24,70	

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA			
ESTACIÓN	ÉPOCA SECA	ÉPOCA LLUVIOSA	DIFERENCIA ABSOLUTA
LA CHONTA (LCE1)	43,50	71,9	28,4
LOS GRINGOS (LGE2)	147,0	172,0	25
EL GUAYABO (EGE3)	74,49	80,80	2,6
PROMEDIO	88,33	108,23	

SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES			
ESTACIÓN	ÉPOCA SECA	ÉPOCA LLUVIOSA	DIFERENCIA ABSOLUTA
LA CHONTA (LCE1)	25,30	28,32	3,02
LOS GRINGOS (LGE2)	105,50	157,40	51,90
EL GUAYABO (EGE3)	41,59	54,65	13,06
PROMEDIO	57,46	80,12	

Anexo L. Cálculo de los índices BMWP/Col y EPT en cada estación por época

ÍNDICES BIÓTICOS ÉPOCA SECA					
ORDEN	FAMILIA	ESTACIÓN 1 LA CHONTA (LCE1)			
		NÚMERO DE INDIVIDUOS	PUNTAJE BMWP/Col	ÍNDICE EPT	
COLEOPTERA	Elmidae	4	6		
	Hydrophilidae	2	3		
	Psephenidae	8	10		
	Ptilodactylidae	1	10		
DIPTERA	Chironomidae	2	2		
	Tipulidae	2	3		
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	17	7	17	
	Leptophlebiidae	3	9	3	
HEMIPTERA	Naucoridae	4	7		
	Veliidae	10	8		
MEGALOPTERA	Corydalidae	1	6		
ODONATA	Libellulidae	3	6		
TRICHOPTERA	Hydrobiosidae	2	9	2	
	Polycentropodidae	1	9	1	
	Hydropsychidae	3	7	3	
TOTAL	EJEMPLARES	63	102	Nº EPT	%
	ORDENES	7			
	FAMILIAS	15		26	41

ÍNDICES BIÓTICOS ÉPOCA LLUVIOSA					
ORDEN	FAMILIA	ESTACIÓN 1 LA CHONTA (LCE1)			
		NÚMERO DE INDIVIDUOS	PUNTAJE BMWP/Col	ÍNDICE EPT	
COLEOPTERA	Elmidae	2	6		
DIPTERA	Tipulidae	1	3		
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	2	7	2	
	Leptophlebiidae	2	9	2	
HEMIPTERA	Naucoridae	4	7		
	Veliidae	5	8		
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	2	7	2	
TOTAL	EJEMPLARES	18	47	Nº EPT	%
	ORDENES	5			
	FAMILIAS	7		6	33

ÍNDICES BIÓTICOS ÉPOCA SECA					
ORDEN	FAMILIA	ESTACIÓN 2 LOS GRINGOS (LGE2)			
		NÚMERO DE INDIVIDUOS	PUNTAJE BMWP/Col	ÍNDICE EPT	
COLEOPTERA	Elmidae	3	6		
MEGALOPTERA	Corydalidae	2	6		
TRICHOPTERA	Polycentropodidae	25	9	25	
HEMIPTERA	Veliidae	58	8		
TOTAL	EJEMPLARES	88	29	Nº EPT	%
	ORDENES	4			
	FAMILIAS	4		25	28

ÍNDICES BIÓTICOS ÉPOCA LLUVIOSA					
ORDEN	FAMILIA	ESTACIÓN 2 LOS GRINGOS (LGE2)			
		NÚMERO DE INDIVIDUOS	PUNTAJE BMWP/Col	ÍNDICE EPT	
COLEOPTERA	Elmidae	1	6		
TRICHOPTERA	Polycentropodidae	6	9	6	
HEMIPTERA	Veliidae	30	8		
TOTAL	EJEMPLARES	37	23	Nº EPT	%
	ORDENES	3			
	FAMILIAS	3		6	16

ÍNDICES BIÓTICOS ÉPOCA SECA					
ORDEN	FAMILIA	ESTACIÓN 3 EL GUAYABO (EGE3)			
		NÚMERO DE INDIVIDUOS	PUNTAJE BMWP/Col	ÍNDICE EPT	
COLEOPTERA	Elmidae	4	6		
	Psephenidae	3	10		
DIPTERA	Chironomidae	8	2		
	Simuliidae	2	8		
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	2	7	2	
	Leptophlebiidae	1	9	1	
HEMIPTERA	Naucoridae	1	7		
	Veliidae	84	8		
MEGALOPTERA	Corydalidae	1	6		
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	1	7	1	
	Polycentropodidae	2	9	2	
TOTAL	EJEMPLARES	109	79	Nº EPT	%
	ORDENES	6			
	FAMILIAS	11		6	6

ÍNDICES BIÓTICOS ÉPOCA LLUVIOSA					
ORDEN	FAMILIA	ESTACIÓN 3 EL GUAYABO (EGE3)			
		NÚMERO DE INDIVIDUOS	PUNTAJE BMWP/Col	ÍNDICE EPT	
COLEOPTERA	Elmidae	2	6		
DIPTERA	Chironomidae	3	2		
	Tipulidae	1	3		
EPHEMEROPTERA	Leptohyphidae	1	7	1	
	Leptophlebiidae	2	9	2	
HEMIPTERA	Naucoridae	1	7		
	Veliidae	39	8		
TRICHOPTERA	Hydropsychidae	1	7	1	
TOTAL	EJEMPLARES	50	49	N° EPT	%
	ORDENES	5			
	FAMILIAS	8		4	8