



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

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA POR BIOMONITOREO DE
MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DEL RÍO CALIFORNIA
COMUNA LOMA ALTA - SANTA ELENA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

previo a la obtención del título de:

BIÓLOGO

Autor:

Roberto Alfredo Jiménez Martínez

Tutor:

Acu. José Antonio Melena Cevallos, Ph.D.

La Libertad - Ecuador

2025

UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA POR BIOMONITOREO DE
MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DEL RÍO CALIFORNIA
COMUNA LOMA ALTA - SANTA ELENA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

previo a la obtención del título de:

BIÓLOGO

Autor:

Roberto Alfredo Jiménez Martínez

Tutor:

Acu. José Antonio Melena Cevallos, Ph.D.

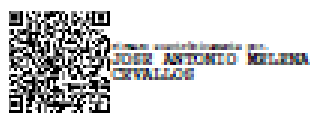
La Libertad – Ecuador

2025

DECLARACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de Docente Tutor del Trabajo de Integración Curricular, “ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA POR BIOMONITOREO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DEL RÍO CALIFORNIA COMUNA LOMA ALTA - SANTA ELENA”, elaborado por el Sr. Roberto Alfredo Jiménez Martínez, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo/a, me permito declarar que luego de haber dirigido su desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, apruebo en todas sus partes, encontrándose apto para la evaluación del docente especialista.

Atentamente



Acu. José Antonio Melena Cevallos, Ph. D.
DOCENTE TUTOR
C.I. 0913432613

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi esposa, Holanda Mero Calderón, y a mis hijos, cuyo amor, paciencia y apoyo incondicional han sido la base sólida que me ha permitido alcanzar esta meta.

A mi madre y abuela, Inés Amada Palacios Montalván, cuyo ejemplo de esfuerzo y perseverancia ha sido una guía constante en mi vida y una fuente de inspiración duradera.

Finalmente, extendiendo esta dedicatoria a la Comuna Loma Alta, y en especial al señor Don Eleodoro Rodríguez, Inspector Honorífico de Control de Flora y Fauna de la comuna, por su invaluable apoyo y por compartir sus conocimientos ancestrales, los cuales han sido fundamentales para el éxito de este proyecto.

Roberto Alfredo Jiménez Martínez.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) y a su cuerpo docente, por su compromiso y dedicación en mi formación académica, brindándome las herramientas y el apoyo necesarios para alcanzar mis metas. Extiendo mi agradecimiento concreto al Decano, Blgo. Richard Duque Marín, Mgt., y al señor Director, Ing. Jimmy Villón Moreno, MSc., por su liderazgo y constante apoyo a los estudiantes.

De manera especial, al Prof. José Antonio Melena Cevallos, Ph.D., mi tutor, expreso mi sincero reconocimiento por su constante acompañamiento y orientación; al muy estimado Dr. Mauricio Herrera-Madrid asistente de gestión de información, Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO), por su asesoramiento y apoyo; así como al Blgo. Xavier Piguave Preciado, M.Sc., por su valiosa guía y paciencia.

Expreso mi más profundo aprecio a la estimada Blga. Mayra Cuenca Zambrano, M.Sc., por su incansable dedicación como docente y su incondicional soporte en mi desarrollo académico desde el inicio.

Roberto Alfredo Jiménez Martínez.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de Integración Curricular presentado por ROBERTO ALFREDO JIMÉNEZ MARTINEZ como requisito parcial para la obtención del grado de Biólogo de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: martes, 17 diciembre de 2024.



Blgo. Richard Duque Marín, Mgt.

**DOCENTE GUIA DE LA UIC II
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Jimmy Villón Moreno, M.Sc.

**DIRECTOR
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Acu. Melena Cevallos José, Ph.D.

**DOCENTE TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Ing. Jorge Magallanes Tomalá, Mgt.

**DOCENTE DE ÁREA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Lcdo. Pascual Roca Silvestre, Mgt.

SECRETARIO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

Asumo plena responsabilidad por la exactitud y rigor del contenido, así como por los datos obtenidos y los resultados presentados en este estudio. Los derechos de propiedad intelectual derivados de esta investigación son de exclusiva titularidad de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Sr. Jiménez Martínez Roberto Alfredo

CI. 0909960163

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DEL DOCENTE TUTOR	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.....	VI
DECLARACIÓN EXPRESA.....	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XV
GLOSARIO Y SIMBOLOGÍA	XVII
ABREVIATURAS.....	XIX
RESUMEN.....	XXI
ABSTRACT.....	XXII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	4
4. MARCO TEÓRICO.....	5
4.1. Monitoreo	5
4.2. Biomonitorio.....	5
4.3. Métodos de biomonitorio.....	5
4.4. Importancia del Biomonitorio	6
4.5. Macroinvertebrados bentónicos	6
4.6. Clasificación de la muestra de macroinvertebrados.	6
4.7. Identificación y análisis de macroinvertebrados	7
4.8. Indicadores biológicos.....	7
4.9. Evaluación de la calidad del agua.....	7

4.10. Sitios fluviales -----	8
4.11. Rápido o Rabión -----	8
4.12. Muestreo en Rápidos -----	8
4.13. Poza -----	9
4.14. Plano -----	9
4.15. Análisis fisicoquímico del agua -----	9
5. OBJETIVOS -----	10
5.1. Objetivo general -----	10
5.2. Objetivos específicos -----	10
6. HIPÓTESIS -----	11
7. MARCO METODOLÓGICO -----	12
7.1. Área de estudio -----	12
7.1.1. Estaciones geo referenciadas de muestreo -----	13
7.2. Diseño del estudio -----	14
7.3. Metodologías para Identificar las familias de macroinvertebrados colectados y su nivel de tolerancia a la contaminación como indicadores del estado ecológico	15
Selección de estaciones de muestreo -----	15
Análisis y recolección para biomonitoreo -----	15
Análisis descriptivo -----	16
Análisis transversal -----	16
Análisis correlacional -----	16
Red Surber -----	16

Red de mano y Red D -----	17
7.3.1. Indicadores biológicos e índices de la calidad del agua.-----	18
Índice de la Calidad del Agua (ICA).-----	18
7.3.2. Índice Biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party score system). -	21
7.3.3. Índice biótico EPT (Ephemeroptera, Trichoptera y Plecóptera)-----	23
7.3.4. Identificación taxonómica-----	24
7.4. Fuentes de contaminación, degradación del hábitat y otros factores que amenacen la biodiversidad del río California -----	24
Inspección en campo -----	24
Entrevistas comunitarias -----	25
Análisis de parámetros fisicoquímicos -----	25
7.5. Relaciones entre los parámetros fisicoquímicos del río y las especies colectadas de macroinvertebrados bentónicos -----	25
Medición de parámetros fisicoquímicos-----	25
Correlación con índices biológicos -----	25
Análisis de datos y correlaciones -----	26
Visualización de resultados -----	26
8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS -----	27
8.1. Identificar las familias de macroinvertebrados colectados y su nivel de tolerancia a la contaminación como indicadores del estado ecológico-----	27
8.1.1. Organismos acuáticos asociados a las plantas -----	28

8.1.2. Manejo y Preservación de Muestras -----	29
8.1.3. Macroinvertebrados bentónicos 2 -----	30
8.1.4. Macroinvertebrados del neuston 3 -----	30
8.1.5. Macroinvertebrados 1 -----	30
8.1.6. Macroinvertebrados 2 -----	31
8.1.7. Visualización de resultados -----	32
Caracterización del Caudal-----	32
8.2. Determinar fuentes de contaminación, degradación del hábitat y otros factores que amenacen la biodiversidad del río California, en seis estaciones de muestreo. -- -----	35
8.2.1. Fuentes de contaminación -----	35
8.2.2. Degradación del hábitat-----	37
8.2.3. Información de campo y validación de resultados -----	38
8.3. Establecer relaciones entre los parámetros físicoquímico del río y las especies colectadas de macroinvertebrados bentónicos en estudio.-----	39
8.3.1. Parámetros físicoquímicos -----	39
8.3.2. Análisis de datos y correlaciones-----	41
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	46
CONCLUSIONES-----	46
RECOMENDACIONES-----	46
10. BIBLIOGRAFÍA -----	48
11. ANEXOS-----	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geo referenciada de las estaciones de muestreo. Año 2024. --	13
Tabla 2. Valores de clasificación asignados al BMWP (biological monitoring working party). -----	18
Tabla 3. Parámetros de evaluación ambiental según el ICA-NSF. -----	19
Tabla 4. Escala de clasificación del ICA-NSF (fundación nacional de saneamiento de los estados unidos de américa). -----	19
Tabla 5. Pesos relativos de los 9 diversos parámetros del ICA (índice de calidad del agua). -----	20
Tabla 6. Escala de clasificación para índice biótico BMWP (biological monitoring working party score system). -----	21
Tabla 7. Puntaje promedio por taxón de macroinvertebrados y grado de sensibilidad BMWP (biological monitoring working party score system).-----	22
Tabla 8. Escala de valores índice ETP (ephemeroptera, plecóptera y trichoptera).	23
Tabla 9. Número de organismos colectados para cálculos del índice EPT (ephemeroptera, trichoptera y plecóptera) y sensibilidad por estación de muestreo. - -----	32
Tabla 10. Cálculo del índice EPT (ephemeroptera, trichoptera y plecóptera) y sensibilidad. -----	33
Tabla 11. Familias de macroinvertebrados con su respectivo indicador de calidad de agua. -----	34
Tabla 12. Datos complementarios de los parámetros fisicoquímicos nitritos, nitratos, fosfatos y sólidos disueltos suspendidos. -----	38
Tabla 13. Caracterización fisicoquímica de muestras de agua colectadas.-----	40
Tabla 14. Resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados (septiembre a noviembre). -----	40
Tabla 15. Resultados del índice de calidad del agua NSF.-----	41
Tabla 16. Matriz de correlación de pearson.(algunos parámetros)-----	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1. Plano de la comuna Loma Alta - Santa Elena. -----	12
Imagen 2. [Metodología del diseño]. Adaptado de gagnetten, a. M., et al. (2022). Ambientes acuáticos de la provincia de Santa Fe.-----	14
Foto 1 y 2. Muestra de macroorganismos, -----	27
Foto 3. Muestra de macroorganismos, (a) Trichoptera-Helicopsychidae; (b) Gasterópodos-Ampullariidae; (c) Gastropoda-Hydrobiidae; (d; e) Mollusca-Thiaridae- Melanoides.-----	28
Foto 4 y 5. Colecta de macroinvertebrados con Red Surver. -----	28
Foto 6, 7 y 8. Colecta de organismos con Red de Mano. -----	29
Foto 9 y 10. Colecta de macroinvertebrados con Red D.-----	29
Foto 14 y 15. Selección de estación, muestreo Red de mano. -----	30
Foto 16. Muestra de sedimento y selección. -----	31
Foto 17. Colecta de perifiton en una roca humedecida. -----	31
Foto 11, 12, y 13. Odonatos Polythoridae (cora); Efímera Ephemeroptera, Timpanoga sp. (Hexagenea); Heteróptero Gerridae (gerris). -----	32
Foto 18 y 19. Aguas negras y lavado de ropa. -----	35
Foto 20. Colecta de perifiton en una roca humedecida. -----	36
Foto 21. Erosión de las riberas del río por ganado vacuno e1.-----	36
Foto 22. Impacto ambiental negativo. -----	37
Foto 23. Carga orgánica -----	37
Foto 24, 25 y 26. Monitoreo y recolección de desechos sólidos en el río California por pobladores de la comuna Loma Alta.-----	38
Foto 27. Sonda multiparámetro apera do850 y espectrofotómetro visible "iris". ----	39
Gráfico 1. Se muestra una correlación. La línea roja destaca la tendencia simulada entre el índice biológico (BMWP/EPT) y el índice de calidad del agua (ICA). Proporcionando una visualización clara de su relación.-----	42
Gráfico 2. Mapa de calor que muestra la relación entre las variables ph, t (°c), od, dbo y turbidez. Es decir la fuerza y dirección de una relación lineal entre variables cuantitativas. -----	43

Gráfico 3. Se destaca cómo el ph afecta la disponibilidad de oxígeno en el agua, reflejando su importancia en la calidad del ecosistema acuático. ----- 44

Gráfico 4. Relación entre dbo (%) y turbidez (ntu), diferenciada por estaciones y con línea de tendencia lineal negativa moderada.----- 44

Gráfico 5. Relación inversa entre coliformes fecales (cf) y oxígeno disuelto (od), indicando que mayores niveles de cf se asocian con una disminución del od. ----- 45

ÍNDICE DE ANEXOS

Imagen 1. Carta de autorización para muestreo de macroinvertebrados bentónicos - -----	57
Imagen 2. Validación de identificación de macroinvertebrados acuáticos (pág. 1), Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO), República del Ecuador -----	58
Imagen 3. Validación de identificación de macroinvertebrados acuáticos (pág. 2), Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO), República del Ecuador -----	59
Imagen 4. Validación de identificación de macroinvertebrados acuáticos (pág. 3), Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO), República del Ecuador -----	60
Imagen 5. Validación de identificación de macroinvertebrados acuáticos (pág. 4), Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO), República del Ecuador -----	61
Imagen 6. Validación de identificación de macroinvertebrados acuáticos (pág. 5), Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO), República del Ecuador -----	62
Imagen 7. Validación de identificación de macroinvertebrados acuáticos (pág. 6), Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO), República del Ecuador -----	63
Imagen 8. Revisión de validación del custodio de la colección de macroinvertebrados acuáticos (pág. 7), Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO), República del Ecuador-----	64
Imagen 9. Clasificación del estado ecológico, de un río. Una nueva manera de valorar la calidad biológica -----	65
Imagen 10. Guía de identificación de macroinvertebrados bentónicos.-----	66
Imagen 11. Puntuación para cálculos de indicadores del estado ecológico de un río- -----	66
Foto 16. Bosquejo previo del diseño del estudio -----	67
Foto 17. <i>Odontotaenius striatopunctatus</i> , coleóptero, passalidae, (Escarabajo de tierra), Loma Alta - río California-----	68
Foto 18 . <i>Strategus aloeus</i> (hembra), coleóptero, dynastidae, (Escarabajo rinoceronte), Loma Alta - río California -----	68
Imagen 12: informe de análisis ssa-13026-2024. Coliformes fecales (CF).-----	69
Imagen 13: informe de análisis ssa-13026-2024. Coliformes fecales (CF).-----	70

Imagen 14: informe de análisis ssa-13026-2024. Coliformes fecales (CF).----- 71
Imagen 15: informe de análisis ssa-13026-2024. Coliformes fecales (CF).----- 72

GLOSARIO Y SIMBOLOGÍA

Biomonitoreo: Técnica que evalúa la calidad de un río mediante la medición de indicadores biológicos.

Alevín: Pez joven y de tamaño reducido, empleado principalmente para repoblar cuerpos de agua como estanques y ríos.

Detritívoro: También conocidos como saprófagos o detritófagos, se alimentan de materia orgánica en descomposición.

Halterios: Pequeñas estructuras con forma de maza, que son modificaciones de un par de alas. En insectos como moscas y mosquitos, las alas posteriores se han transformado en halterios.

Imago: Etapa final en el desarrollo de un insecto, correspondiente a su fase adulta.

Ninfa: Fase del desarrollo entre la larva y el adulto en animales con metamorfosis completa.

Críptico: Tienden a seleccionar entornos de descanso, condiciones de iluminación y posiciones que coincidan con su propia apariencia.

Perifiton: Conjunto de microorganismos como bacterias, hongos, algas y protozoos que forman una capa sobre los sustratos en medios acuáticos.

Pseudópodos: Extensiones ventrales articuladas en los segmentos abdominales de las orugas que funcionan como patas falsas.

Subimago: Fase en el desarrollo de ciertos insectos (como los efemerópteros o moscas de mayo) donde el organismo tiene alas y puede volar, pero aún no ha alcanzado la madurez sexual.

Teca: Cubierta o estructura protectora donde se desarrollan las alas en algunos insectos.

Vermiforme: De forma similar a la de un gusano.

Velum: Membrana que generalmente rodea una cavidad, presente en ciertos moluscos y otros invertebrados.

Zooplancton: Conjunto de organismos planctónicos mayoritariamente animales, presentes en ecosistemas de agua dulce o marinos.

Bentónico: Organismos que viven en el fondo de un ambiente acuático (lago,

laguna, mar entre otros), que se desplazan desde la superficie hasta la zona más profunda.

Bioensayo de toxicidad: Prueba para establecer la magnitud y la naturaleza del efecto que producirá un agente químico sobre organismos expuestos a él bajo condiciones específicas.

Biomarcador: Es un indicador bioquímico, fisiológico o ecológico del estrés físico, químico o biológico en los organismos y sus poblaciones. Su detección permite evaluar de forma temprana los efectos negativos de los contaminantes.

Efectos: Consecuencia por virtud de una causa.

Especie receptora: Especie crítica que recibe o está en contacto con los contaminantes.

Estándar de Calidad Ambiental (ECA): Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

Límite de tolerancia: Concentración de exposición o dosis de exposición de un contaminante debajo del cual se espera que no se exista efecto. Término relacionado.- umbral.

Organismo: Individuo; en el caso de organismos multicelulares se refiere a individuos formados por un sistema de órganos.

Sedimento: Materiales de depósito o acumulados por arrastre mecánico de las aguas superficiales o el viento depositados en los fondos marinos, fluviales, lacustres y depresiones continentales.

Toxicidad ambiental: La característica de una sustancia o mezcla de sustancias que ocasiona un desequilibrio ecológico.

Umbral fisiológico: Sinónimo de límites de tolerancia.

ABREVIATURAS

AAN Autoridad Ambiental Nacional

ACUS Área de Conservación y Uso Sustentable

AME Asociación de Municipalidades Ecuatorianas

APC Áreas Protegidas Comunitarias, Indígenas y Afroecuatorianas

APGS Áreas Protegidas de Gobiernos Seccionales

APH Área de Protección Hídrica

ARCA Agencia de Regulación y Control del Agua

AUA Autoridad Única del Agua

BMU

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit / Ministerio para la Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección de los Consumidores (Alemania)

CC Cambio climático

CDB Convenio sobre la Diversidad Biológica

CMNUCC Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

DBO5 Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días

DQO Demanda Química de Oxígeno

ECA Estándar de Calidad Ambiental

ENB Estrategia Nacional de Biodiversidad

ENCA Estrategia Nacional de Calidad de Agua

ENCC Estrategia Nacional de Cambio Climático

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

GAD Gobierno(s) Autónomo(s) Descentralizado(s)

GEF Global Environment Facility / Fondo para el Medio Ambiente Mundial

GWP Global Water Partnership / Alianza Mundial para el Agua

INABIO Instituto Nacional de Biodiversidad

INAMHI Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

MAATE Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica

MMA Marco de Manejo Ambiental

NSF Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de América

ODS Objetivos de Desarrollo Sostenible

PANE Patrimonio de Áreas Naturales del Estado

PSB Programa Socio Bosque

SNAP Sistema Nacional de Áreas Protegidas

SST Sólidos Suspendidos Totales

TESAURO de la UNESCO Es una lista controlada y estructurada de términos utilizados en el análisis temático y la recuperación de documentos y publicaciones.

UTM La Proyección Transversal Universal de Mercator, sistema utilizado para convertir coordenadas geográficas esféricas en coordenadas cartesianas planas.

WWF Worldwide Fund for Nature / Fondo Mundial para la Naturaleza.

ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA POR BIOMONITOREO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DEL RÍO CALIFORNIA COMUNA LOMA ALTA - SANTA ELENA

Autor: Roberto Alfredo Jiménez Martínez

Tutor: Prof. José Antonio Melena Cevallos, Ph.D.

RESUMEN

El análisis del río California confirmó que el deterioro de la calidad del agua reduce la abundancia de macroinvertebrados bentónicos. Las principales fuentes de contaminación fueron impactadas por descargas residuales y escorrentías agrícolas, mostraron niveles críticos de oxígeno disuelto (<7.4 mg/L en E1), turbidez elevada (9.2 NTU en E2) y nitratos altos (18.7 mg/L en E2), con un índice BMWP de 12, indicando muy mala calidad. En contraste, E4 y E5, con menor contaminación, registraron un índice BMWP de 72 (buena calidad) y 36% de especies sensibles (Ephemeroptera y Trichoptera). En E6, se observaron fosfatos elevados (26.4 mg/L), reflejando un impacto puntual. Se identificaron 21 familias de macroinvertebrados, cuya clasificación taxonómica fue avalada por el Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO), lo que garantiza la precisión y validez científica de los resultados. Finalmente, se observó una correlación inversa entre el oxígeno disuelto y la abundancia de especies tolerantes a la contaminación. En estaciones con alta carga orgánica y pH ácido (6.1-6.9), como E1, predominaron especies de baja sensibilidad (Tubificidae, BMWP de 1), mientras que las estaciones con mejores condiciones ambientales, como E4, albergaron organismos bioindicadores sensibles.

Palabras clave: Bentónicos, Biodiversidad, Biomonitorio, Indicadores, Sostenible.

ANALYSIS OF WATER QUALITY THROUGH BIOMONITORING OF BENTHIC MACROINVERTEBRATES IN THE CALIFORNIA RIVER, LOMA ALTA COMMUNITY - SANTA ELENA

Author: Roberto Alfredo Jiménez Martínez

Advisor: Prof. José Antonio Melena Cevallos, Ph.D.

ABSTRACT

The analysis of the California River confirmed that water quality degradation reduces the abundance of benthic macroinvertebrates. The main sources of pollution were impacted by residual discharges and agricultural runoff, showing critical levels of dissolved oxygen (<7.4 mg/L at E1), high turbidity (9.2 NTU at E2), and elevated nitrates (18.7 mg/L at E2), with a BMWP index of 12, indicating very poor quality. In contrast, E4 and E5, with lower pollution levels, recorded a BMWP index of 72 (good quality) and 36% of sensitive species (Ephemeroptera and Trichoptera). At E6, high phosphate levels (26.4 mg/L) were observed, reflecting a point-source impact. A total of 21 families of macroinvertebrates were identified, whose taxonomic classification was validated by the National Institute of Biodiversity (INABIO), ensuring the accuracy and scientific validity of the results. Finally, an inverse correlation was observed between dissolved oxygen and the abundance of pollution-tolerant species. At stations with high organic loads and acidic pH (6.1–6.9), such as E1, low-sensitivity species (Tubificidae, BMWP of 1) predominated, while stations with better environmental conditions, such as E4, hosted sensitive bioindicator organisms.

Keywords: Benthics, Biodiversity, Biomonitoring, Indicators, Sustainable.

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de la calidad del agua suele basarse en tres indicadores clave: la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). No obstante, el biomonitoreo de macroinvertebrados bentónicos ha ganado importancia como herramienta complementaria, debido a la sensibilidad de estas especies a las variaciones ambientales. Esto permite identificar contaminación, presencia y cambios en los ecosistemas acuáticos de manera más integral (Astudillo-Sánchez et al., 2019; Brantschen et al., 2021).

Estudios previos, como los realizados en el río Yuquipa, Ecuador, han demostrado que el biomonitoreo de macroinvertebrados es una técnica eficaz para evaluar la calidad del agua en áreas afectadas por actividades industriales y agrícolas (Japa Cando et al., 2021). La diversidad de estos organismos refleja el impacto de la contaminación por metales pesados y fertilizantes (Méndez et al., 2021), destacando la ventaja de utilizar bioindicadores para el monitoreo ambiental frente a los análisis fisicoquímicos, que no capturan el estado ecológico general del agua.

El cambio climático afecta la distribución de especies bioindicadoras, incorporando factores climáticos en el biomonitoreo. Esto permite evaluar tanto la contaminación directa como las alteraciones en ecosistemas acuáticos por variaciones en temperatura y caudal (Caicedo, 2020). El biomonitoreo se establece como una herramienta clave para entender el impacto del cambio climático en los ecosistemas de agua dulce y los macroinvertebrados (Zhengfei Li et al., 2023).

Por otra parte, la contaminación, tanto natural como antropogénica, limita el uso de las fuentes de agua, especialmente para el consumo humano (Ramírez et al., 2022). Evaluar la calidad del agua es crucial para determinar su uso adecuado, ya sea para consumo, recreación o actividades industriales. Factores naturales y humanos pueden deteriorar esta calidad, afectando la salud pública.

Los análisis fisicoquímicos cuantifican contaminantes, pero no miden las alteraciones del hábitat físico. Parámetros como el pH, oxígeno disuelto y temperatura influyen en la toxicidad y la vida acuática. Niveles altos de nitratos y fosfatos indican exceso de nutrientes, mientras que la DBO refleja contaminación orgánica, lo que puede afectar la biota acuática (Ahmed et al., 2020).

En cuanto al uso de macroinvertebrados bentónicos, como índices biológicos o bioindicadores a través del "Biomonitoreo" se fundamenta en relacionar las diferentes especies de macroinvertebrados con su grado de tolerancia frente a la contaminación (Astudillo-Sánchez et al., 2019; Li et al., 2018; Méndez, p. et al., 2021). Otorgando a cada especie un valor numérico, que varía de acuerdo a la metodología utilizada.

Los índices biológicos tradicionales, como el BMWP, han sido modernizados para incluir más especies y adaptarse a los cambios ecosistémicos provocados por actividades humanas. Paralelamente, se desarrollan índices basados en ADN que mejoran la eficiencia y alcance del monitoreo ambiental (Valderrama & Vargas, 2021).

Así pues, el índice Biological Monitoring Working Party score system (BMWP), junto con el índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera), son herramientas clave para monitorear la calidad ambiental de los ecosistemas de agua dulce (Domínguez, E. et al., 2020; Pawlowski, J., & Kahlert, M., 2021).

Las alteraciones en la calidad del agua de un río, causadas por actividades humanas, pueden afectar toda la comunidad biológica. Este trabajo tiene como objetivo garantizar la protección y sostenibilidad del ecosistema acuático del río California en la Comuna Loma Alta, contribuyendo así a la conservación de la biodiversidad y al bienestar de la comunidad local.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El deterioro de los recursos hídricos es un desafío global, y el río California en Santa Elena no es una excepción. Este río, está duramente afectado río abajo, por actividades humanas como la agricultura, ganadería y expansión urbana, que generan contaminación por nutrientes y sedimentos, impactando negativamente la biodiversidad y limitando el uso sostenible del agua.

Por otro lado, la ausencia de datos detallados y de un monitoreo continuo de la calidad del agua dificulta la implementación de estrategias de conservación efectivas. Esto aumenta la vulnerabilidad del río frente a las presiones humanas y al cambio climático, complicando su protección y manejo adecuado.

Actualmente, no se evalúa la calidad del agua de manera integral mediante el biomonitoreo de macroinvertebrados bentónicos, organismos sensibles que permiten detectar alteraciones ecológicas. Este enfoque es clave para identificar fuentes de contaminación, establecer prioridades de conservación y diseñar estrategias sostenibles que preserven la biodiversidad y garanticen el bienestar de las comunidades locales que dependen de este recurso.

3. JUSTIFICACIÓN

La investigación planteada, utiliza el biomonitoreo de macroinvertebrados bentónicos para evaluar la calidad ecológica del agua del río California en la Comuna Loma Alta. Este método innovador en la región emplea organismos bioindicadores para detectar cambios ambientales sutiles, proporcionando datos clave para la gestión sostenible de los recursos hídricos (Vera & Sánchez, 2021; Fernández-Vargas, 2020).

Desde un enfoque científico, el impacto de esta investigación es considerable, ya que contribuye a la generación de conocimiento aplicable a otros ecosistemas de agua dulce con características similares. Este estudio establece un marco de referencia para futuras investigaciones y programas de conservación en áreas de alta biodiversidad (Pereira et al., 2019). Además, los resultados obtenidos respaldan la toma de decisiones informadas sobre la conservación y restauración del entorno acuático, lo que es decisivo para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades locales.

Este estudio se basa en investigaciones previas sobre el uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, integrando hallazgos internacionales en un contexto local. Utilizando metodologías bien establecidas, como los índices BMWP (Biological Monitoring Working Party score system) e índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera), la investigación contribuye al corpus de literatura que subraya la importancia del monitoreo ambiental en la conservación de ecosistemas (Rosas-Acevedo et al., 2019).

La viabilidad de este estudio es alta, ya que el biomonitoreo de macroinvertebrados es una técnica económicamente accesible que se adapta a los recursos disponibles en la comunidad local (Fierro et al., 2020). Además, se contempla el muestreo en seis estaciones, lo que garantiza una cobertura adecuada sin necesidad de infraestructura compleja.

4. MARCO TEÓRICO

El marco teórico del presente trabajo, se basa en los conceptos más utilizados y en la normativa legal vigente, los cuales se detallan y presentan a continuación para brindar un contexto adecuado al estudio.

4.1. Monitoreo

El monitoreo es un proceso sistemático de observar, medir y registrar variables específicas a lo largo del tiempo para evaluar cambios, identificar problemas o verificar el cumplimiento de metas. En el ámbito ambiental, se enfoca en evaluar la efectividad de las estrategias de conservación y detectar cambios significativos en el medio ambiente (Hernández et al., 2020; Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAAE], 2024).

4.2. Biomonitorio

El biomonitorio implica el uso de organismos vivos para evaluar la salud ambiental, especialmente en cuerpos de agua como los ríos. Este método se basa en la sensibilidad de algunas especies a las variaciones en las condiciones ambientales, lo que permite detectar la presencia de contaminación o alteraciones en el ecosistema (Luna Bautista et al., 2023; Yifan Su et al., 2020).

4.3. Métodos de biomonitorio

El biomonitorio implica la recolección de organismos en puntos específicos, seguida de su clasificación y análisis. Las técnicas más comunes incluyen la Red Surber y la Red D, utilizadas en zonas de corriente rápida para capturar macroinvertebrados. El análisis de los organismos recolectados proporciona una visión detallada sobre la biodiversidad y la salud del ecosistema acuático (Lara & Andrade, 2022).

4.4. Importancia del Biomonitorio

A diferencia de los análisis físico-químicos, el biomonitorio refleja el estado ecológico del ambiente a largo plazo, ya que los organismos vivos responden de manera acumulativa a los cambios en su entorno, esto lo convierte en una herramienta esencial para evaluar la calidad del agua, la biodiversidad y el impacto de las actividades humanas, como el vertido de contaminantes y la modificación de hábitats naturales (Quesada & Urbano, 2023; Papastergiadou & Stefanidis, 2024).

4.5. Macroinvertebrados bentónicos

Los macroinvertebrados bentónicos, como insectos, crustáceos y moluscos, son esenciales para el monitoreo de ecosistemas acuáticos debido a su sensibilidad a la contaminación y los cambios ambientales. Su presencia y diversidad permiten evaluar la calidad del agua y la salud del hábitat. Funcionan como bioindicadores de la contaminación química y otros factores ambientales (Echeverría Sáenz, 2024). Estudios recientes muestran que responden a factores como nutrientes excesivos y metales pesados, proporcionando información clave para la conservación de los recursos hídricos (Mora-Orozco et al., 2019).

4.6. Clasificación de la muestra de macroinvertebrados.

Una vez que se recolecta la muestra de macroinvertebrados, ésta se traslada a un recipiente de plástico en el que los organismos se recogen con pinzas y se colocan en un frasco con etanol. Las muestras deben procesarse lo antes posible, separando los métodos empleados (Barboza & García, 2020). El propósito consiste en identificar la mayor cantidad de especies

Reglas para mejorar la clasificación:

- a. Buscar animales pequeños o crípticos.

- b. Revisar el fondo de la bandeja antes de desechar residuos para evitar perder taxones adheridos, como gusanos planos o moluscos. Cualquier nueva especie encontrada debe agregarse a la selección. (Agencia Vasca del Agua, 2021).

4.7. Identificación y análisis de macroinvertebrados

El análisis de macroinvertebrados mediante claves taxonómicas es esencial para evaluar la biodiversidad y detectar especies indicadoras de contaminación o degradación ambiental. La abundancia y diversidad de estos organismos permiten establecer un índice de calidad ecológica del agua, crucial para comprender el estado del ecosistema acuático (Sibaja Fabián, 2024)

4.8. Indicadores biológicos

Los macroinvertebrados bentónicos son comúnmente empleados en el biomonitoreo de ríos debido a su sensibilidad a cambios en parámetros como el oxígeno disuelto, los contaminantes y la temperatura. Estos organismos proporcionan información valiosa sobre la calidad del agua y la estabilidad ecológica del ambiente acuático, reflejando el impacto de las actividades humanas en los ecosistemas fluviales (Gómez N. et al., 2020; Méndez P. et al., 2021).

4.9. Evaluación de la calidad del agua

La evaluación de la calidad del agua es crucial para determinar su idoneidad para diversos usos, como el consumo humano, actividades recreativas o industriales. Tanto los factores naturales como los antropogénicos, tales como la urbanización y la agricultura, pueden deteriorar la calidad del agua, lo que afecta la salud pública y el equilibrio ecológico del ambiente (Álava Luis et al., 2021).

4.10. Sitios fluviales

En este estudio, un sitio fluvial se define como un tramo específico de río en el que se lleva a cabo la recolección de macroinvertebrados. Este tramo, o transecto, abarca aproximadamente 100 metros de longitud en cada estación de muestreo, con un ancho promedio de 10 metros o menos. La delimitación clara de un sitio fluvial facilita la recolección de datos y permite comparaciones precisas entre diferentes puntos de muestreo en estudios longitudinales de calidad del agua (González M., 2024).

4.11. Rápido o Rabión

El rápido, se caracteriza por pendientes pronunciadas (>4%), flujos superficiales y rocas expuestas sobre la superficie. El agua salpica sobre las rocas, mezclándose con burbujas de aire y formando aguas bravas, que adquieren un color blanco. Estos rápidos se originan cuando el cauce resiste la erosión de la corriente en comparación con el lecho. En arroyos pequeños que fluyen sobre rocas sólidas, los rápidos pueden extenderse a lo largo de su longitud (Getachew M, 2022; Agencia Vasca del Agua, 2021).

4.12. Muestreo en Rápidos

El muestreo en rápidos, es una técnica utilizada en estudios ecológicos fluviales para capturar macroinvertebrados en áreas de aguas rápidas y someras. Los rápidos, con su corriente turbulenta sobre rocas y grava, son esenciales para la biodiversidad acuática, al ofrecer un entorno oxigenado y rico en nutrientes. Esta metodología es clave para evaluar la calidad del agua y el estado del ecosistema, ya que los organismos en estos hábitats responden rápidamente a cambios en las condiciones ambientales (Agencia Vasca del Agua, 2021).

4.13. Poza

Según, el libro de Schidt, A., et al. (2017), son zonas profundas (>60%) de pendiente leve y corriente lenta, se han formado durante las crecidas y la granulometría del sustrato es variable. Tienen orígenes diversos (obstáculos dentro del lecho que producen cascadas y forman al pie de estas las pozas). (Montoya C.D, 2024).

4.14. Plano

Es un lecho ensanchado, de poca pendiente donde la velocidad de la corriente es uniforme (>40 cm/s), lo mismo que la profundidad (<40 cm/s). La turbulencia es parcialmente casi nula, el sustrato más grueso son las piedras y la grabas aportadas por las crecidas. En estiajes son las zonas de tránsito de materiales finos más que las zonas de depósito o erosión. (Montoya C.D, 2024).

4.15. Análisis físicoquímico del agua

El análisis físicoquímico del agua, consiste en medir parámetros clave para evaluar su calidad y establecer su aptitud para diferentes usos. Este análisis abarca factores como el pH, el oxígeno disuelto, la turbidez y la conductividad, los cuales fluctúan según la presencia de contaminantes y la influencia de actividades humanas en la región (Chidiac S et al, 2023).

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Determinar la calidad de agua en seis estaciones del río California y su relación con la abundancia de organismos macroinvertebrados bentónicos, a través del análisis fisicoquímico y biomonitoreo, con el fin de proporcionar información sobre los efectos químicos y biológicos.

5.2. Objetivos específicos

1. Identificar las familias de macroinvertebrados colectados y su nivel de tolerancia a la contaminación como indicadores del estado ecológico.
2. Determinar fuentes de contaminación, degradación del hábitat y otros factores que amenacen la biodiversidad del río California, en seis estaciones de muestreo.
3. Establecer relaciones entre los parámetros fisicoquímicos del río y la diversidad de macroinvertebrados bentónicos como variable dependiente.

6. HIPÓTESIS

El deterioro de la calidad del agua afectará la abundancia de organismos macroinvertebrados bentónicos en las seis zonas de estudio del ecosistema acuático del río California.

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1. Área de estudio

La Comuna Loma Alta está ubicada en la provincia de Santa Elena (01°52' S, 80° 38' O), posee una extensión de 6.842 ha, de las cuales 3.218.19 ha., están declaradas Bosque Protector, creado desde 1987 y actualmente se está gestionando una extensión de esta Reserva como áreas protegidas.

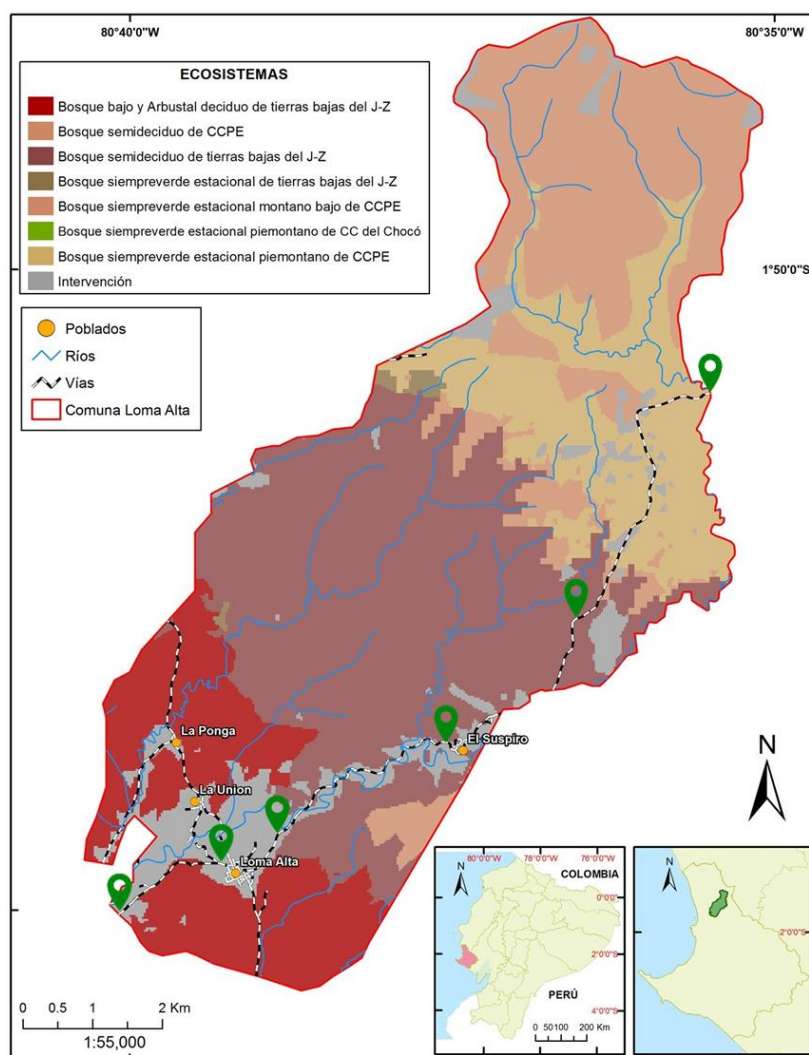


Imagen 1. Plano de la comuna Loma Alta - Santa Elena. Fuente: GADM Santa Elena.

7.1.1. Estaciones geo referenciadas de muestreo

La metodología del estudio se basa en estaciones georreferenciadas, puntos específicos identificados con coordenadas geográficas precisas. Esto permite realizar muestreos sistemáticos y repetibles, garantizando que los datos sean comparables y compatibles con bases de datos geoespaciales, lo que mejora la precisión de los estudios científicos.

Tabla 1. Ubicación Geo Referenciada de las Estaciones de Muestreo. Año 2024.

N°	Estación	UTM Zona	Este (E)	Norte (N)	Altitud
1	Comuna Límite Sinchal / Barcelona	17 M	0537186	9788849	37 m
2	Loma Alta Pozo abajo	17 M	0538075	9789184	44 m
3	Loma Alta Pozo arriba	17 M	0538714	9789530	50 m
4	El Suspiro	17 M	0541295	9790583	88 m
5	La Bramona	17 M	0538802	9788806	210 m
6	Cabecera del río California	17 M	0520524	9737067	640 m

Fuente: Elaboración propia, 2024.

7.2. Diseño del estudio

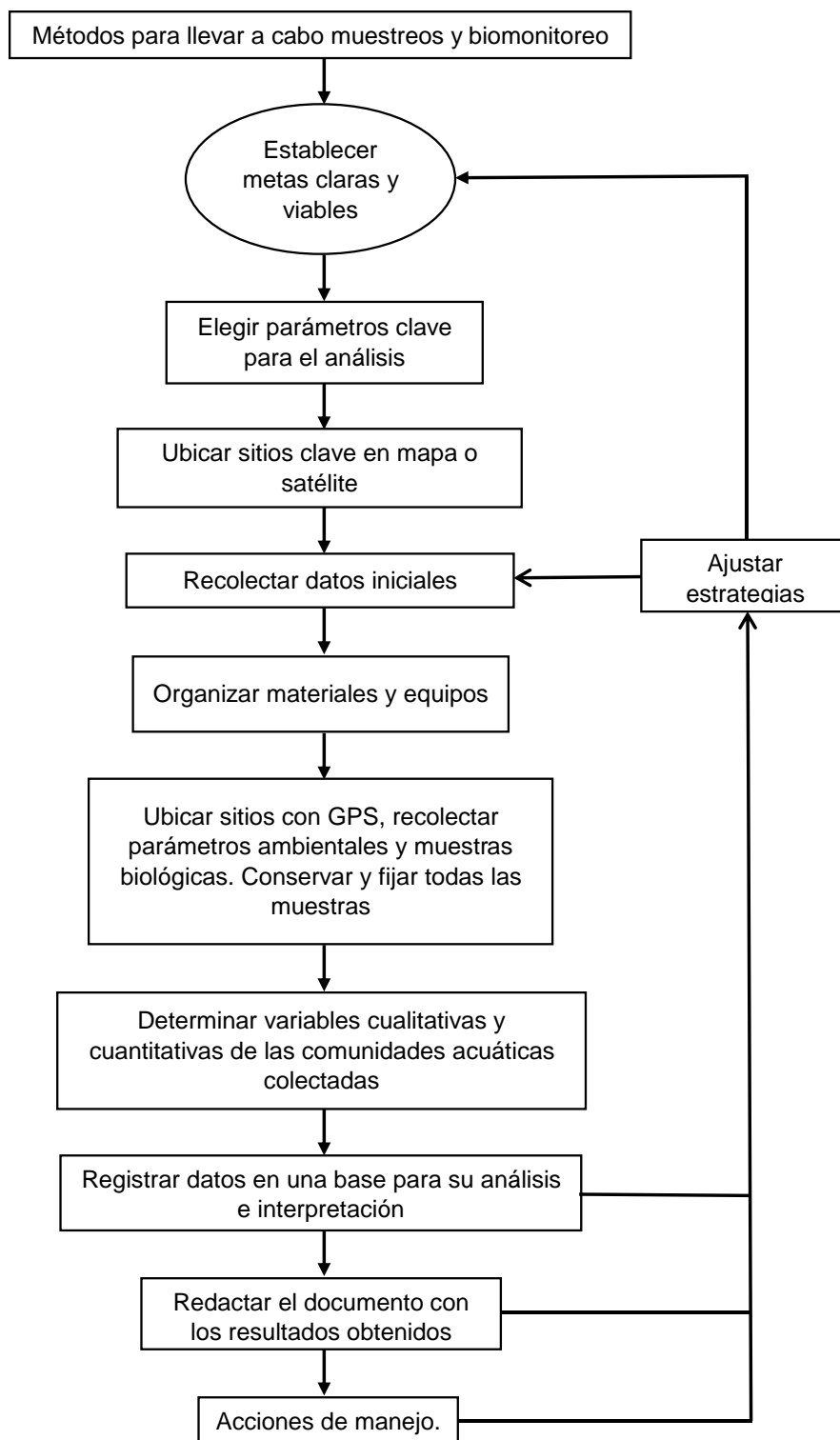


Imagen 2. [Metodología del Diseño]. Adaptado de Gagneten, A. M., et al. (2022). Ambientes acuáticos de la provincia de Santa Fe.

7.3. Metodologías para Identificar las familias de macroinvertebrados colectados y su nivel de tolerancia a la contaminación como indicadores del estado ecológico

Las metodologías para este diseño experimental incluyeron una fase de campo en seis estaciones de muestreo a lo largo del río California, en la comuna Loma Alta, Santa Elena, (Anexo, foto 16) y una fase de laboratorio donde se realizaron análisis fisicoquímicos y biomonitoreo de macroinvertebrados bentónicos. Este enfoque permitió correlacionar la calidad del agua con la composición de los organismos presentes, proporcionando un diagnóstico integral del ecosistema acuáticos.

Selección de estaciones de muestreo

Se seleccionaron seis estaciones representativas a lo largo del río California, considerando factores como fuentes de contaminación, variabilidad de hábitats y accesibilidad. Cada estación se monitoreó al menos cada diez días durante dos meses para capturar posibles variaciones temporales.

Análisis y recolección para biomonitoreo

La recolección de macroinvertebrados bentónicos se realizó mediante métodos cuantitativos, semicuantitativos o cualitativos, dependiendo del enfoque del estudio (Andrade V et al., 2022). Se utilizaron bioindicadores para obtener datos representativos del ecosistema. Si la muestra contenía arcilla que dificultaba la identificación, se enjuagó en el río antes de clasificar los organismos. El procesamiento de cada muestra duró 15 minutos, dedicando 5 minutos a recolectar las especies más visibles y 10 minutos a buscar las más difíciles de detectar.

Análisis descriptivo

Este análisis consistió en identificar y clasificar taxonómicamente los macroinvertebrados encontrados, lo que permitió profundizar en el conocimiento de la biodiversidad del río California y evaluar su relación con la calidad del agua y el estado ecológico del ecosistema.

Análisis transversal

Las muestras fueron tomadas en un solo momento, proporcionando una visión instantánea de las condiciones del río en los puntos de muestreo. Aunque este método no permite un seguimiento a largo plazo, ofrece un diagnóstico preciso del estado actual del cuerpo de agua.

Análisis correlacional

Se analizó las relaciones entre la diversidad de familias y géneros de macroinvertebrados bentónicos y los niveles de contaminación del río. A través de índices biológicos, se utilizó estos organismos como indicadores directos de la calidad del agua. Este enfoque es ideal para obtener una evaluación integral de la salud ecológica del río, basada en el análisis detallado de bioindicadores.

Red Surber

Para el biomonitoreo en el río California, se empleó la técnica de Red Surber de 500 μm . en seis estaciones. Esta metodología se utilizó para recolectar macroinvertebrados bentónicos, siguiendo el protocolo de muestreo desde aguas abajo hacia aguas arriba, según Wright (1995).

Se eligieron seis puntos estratégicos, considerando diversidad de hábitats y accesibilidad.

Proceso de Muestreo:

La red Surber se colocó contra la corriente, con la base apoyada en el fondo.

Se removi6 el sustrato con manos o pies para que los organismos fueran atrapados en la red, por 15 minutos en tres ocasiones cada estaci6n.

El material recolectado se deposit6 en una bandeja blanca para facilitar la observaci6n.

Los macroinvertebrados se separaron usando pinzas y se almacenaron en frascos con formaldeh6do, etiquetados con los datos de la estaci6n.

Las muestras se llevaron al laboratorio para su identificaci6n y an6lisis taxon6mico. Este m6todo permiti6 evaluar la biodiversidad y calidad del agua en diferentes secciones del r6o.

Red de mano y Red D

Se realizaron muestreos utilizando una red de mano de 250 μm en zig zag a las riberas del r6o, durante 10 minutos por transecto de 100 m. El material recolectado se deposit6 en una bandeja blanca para facilitar su observaci6n y registro. Posteriormente, se identificaron las familias presentes y las muestras fueron preservadas en frascos con 25 ml de formol al 34%.

Se emple6 tambi6n la red D, con un dise6o de embudo y malla de 250 μm , para capturar macroinvertebrados bent6nicos en 6reas de alta diversidad. Se aplic6 una t6cnica de arrastre y pateo, recolectando muestras durante 15 minutos en tres esfuerzos de muestreo a lo largo de un transecto de 100 m. Los organismos fueron preservados en frascos con formol para su posterior an6lisis.

Es fundamental seleccionar sitios representativos de diversos h6bitats acu6ticos y emplear m6todos que minimicen el impacto ambiental y en los organismos no objetivo.

7.3.1. Indicadores biológicos e índices de la calidad del agua.

Se utilizaron macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos, junto con parámetros fisicoquímicos, para evaluar la calidad del agua del río. Se aplicaron índices biológicos como el BMWP, el Índice EPT y análisis de sensibilidad. Este procedimiento combinado de indicadores bióticos y fisicoquímicos permitió determinar con precisión la calidad del agua y el estado ecológico, validando la información obtenida (ver Tabla 2)

Tabla 2. Valores de clasificación asignados al BMWP (Biological Monitoring Working Party).

Clase	Calidad	BMWP	Significado	Color
I	Buena	>120 101 - 120	Aguas muy limpias. No contaminadas.	AZUL
II	Aceptable	61 – 100	Se evidencia algún efecto de contaminación.	VERDE
III	Dudosa	36 – 60	Aguas contaminadas.	AMARILLO
IV	Critica	16 – 35	Aguas muy contaminadas.	NARANJA
V	Muy Critica	<15	Aguas fuertemente contaminadas.	ROJO

Fuente: Monitoreo Microbiológico Ambiental (MMA) y A1

Índice de la Calidad del Agua (ICA).

El Índice de Calidad del Agua (ICA) permite medir el nivel de contaminación en cuerpos de agua, Horton (1965) y Liebman (1969). En Ecuador, se utiliza la metodología propuesta por Brown (1970), evaluando nueve de los dieciocho parámetros que constituyen el índice según TULAS o TULSMA (2015). Estos parámetros clave incluyen: demanda bioquímica de oxígeno, coliformes termotolerantes, sólidos disueltos totales, temperatura del agua, oxígeno disuelto, fosfato total, turbidez, nitratos y pH (ver Tabla 3). Adicionalmente, los resultados se comparan con la escala de clasificación del ICA-NSF (Fundación Nacional de Saneamiento de EE.UU.), que utiliza una escala cromática para facilitar la interpretación (ver Tabla 4).

Tabla 3. Parámetros de Evaluación Ambiental según el ICA-NSF.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Indica la cantidad de oxígeno consumido por organismos en la descomposición de materia orgánica.
Coliformes termotolerantes	Señalan la presencia de contaminación fecal en el agua.
Sólidos Disueltos Totales (STD)	Representan la cantidad total de sólidos disueltos en el agua.
Temperatura del agua	Influye en la solubilidad del oxígeno y la vida acuática.
Oxígeno disuelto	Nivel de oxígeno disponible para los organismos acuáticos.
Fosfato total	Indicador de contaminación por nutrientes, especialmente fertilizantes.
Turbidez	Mide la claridad del agua, afectada por sedimentos y partículas en suspensión.
Nitratos	Reflejan la presencia de nutrientes que pueden causar eutrofización.
pH	Mide la acidez o alcalinidad del agua, afectando la solubilidad de nutrientes y la vida acuática.

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla 4. Escala de clasificación del ICA-NSF (Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos de América).

RANGO	ESCALA DE COLOR
Excelente: 91 – 100	AZUL
Buena: 71 – 90	VERDE
Media: 51 – 70	AMARILLO
Mala 26 – 50	NARANJA
Muy Mala: 0 – 25	ROJO

Fuente: Fernández y Solano, 2005.

Para calcular el ICA aplicamos la siguiente ecuación:

$$ICA = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i w_i$$

Donde:

w_i: representa el factor de importancia o ponderación de la variable *i* respecto a las restantes variables que conforman el índice (ver Tabla 5).

Q_i: corresponde con el factor de escala de la variable, depende de la magnitud de la variable y es independiente de las restantes.

i: representa la variable o parámetro considerado.

Tabla 5. Pesos relativos de los 9 diversos parámetros del ICA (Índice de calidad del agua).

i	SUB i	W i
1	Coliformes Fecales	0.15
2	PH	0,12
3	DBO5	0,10
4	Nitratos	0,10
5	Fosfatos	0,10
6	Temperatura	0,10
7	Turbidez	0,08
8	Solidos Disueltos Totales	0,08
9	Oxígeno Disuelto	0,17

Fuente: la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF).

7.3.2. Índice Biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party score system).

Este método que utilizamos, fue desarrollado en Inglaterra durante la década de 1970, es ampliamente utilizado por su simplicidad para evaluar la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados, en este estudio, se aplicó asignando puntaje a diferentes familias de macroinvertebrados en función de su presencia o ausencia, utilizando un enfoque cualitativo. Los datos "cualitativos" se refieren al tipo de macroinvertebrados presentes (ver Tabla 6 y 7)., a diferencia de los datos "cuantitativos", que consideran la abundancia numérica de los organismos (Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega, 1988).

Tabla 6. Escala de clasificación para Índice biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party score system),

SUMA TOTAL BMWP	CALIDAD DE AGUA	ESTADO
101- >145	Muy buena	Sin contaminación
61-100	Buena	Poca contaminación
36- 60	Regular	Contaminación moderada
16-35	Mala	Contaminación considerable
0-15	Muy mala	Alta contaminación

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla 7. Puntaje promedio por taxón de macroinvertebrados y grado de sensibilidad BMWP (Biological Monitoring Working Party score system).

FAMILIA	PUNTAJE	SENSIBILIDAD
Anomalopsychidae, Atripleciidae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hidridae, Lampyridae, Lymnesiidae, Odontoceridae, Oligoneuridae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae.	10	Muy Alta
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcydae, Xiphocentronidae.	9	Alta
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Paiaerronidae, Pleidae, Pseudohepusidae, Salddae, Simuliidae, Vellidae.	8	Alta
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7	Moderada-Alta
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6	Moderada
Belostomatidae, Gelestocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbidae, Pyralidae, Tabanidae, Thianidae.	5	Moderada
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeriidae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae.	4	Moderada
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3	Baja
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae.	2	Muy Baja
Tubificidae.	1	Muy Baja

Fuente: Valores originales BMWP (Biological Monitoring Working Party).

7.3.3. Índice biótico EPT (Ephemeroptera, Trichoptera y Plecóptera)

Se evaluó la calidad del agua mediante el índice biótico EPT, basado en el porcentaje de individuos de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera (ver Tabla 8). Los macroinvertebrados fueron recolectados con una red de mano, red Surber, red D y clasificados en laboratorio.

Fórmula para el Índice EPT:

$$\text{Índice EPT} = \frac{\text{Número total de individuos de EPT}}{\text{Abundancia total de macroinvertebrados}} \times 100$$

Interpretación:

Índice EPT alto (mayor porcentaje) = Buena calidad del agua, ya que Ephemeroptera (Efemerópteros), Plecóptera (Plecópteros) y Trichoptera (Tricópteros) son indicadores de aguas limpias y bien oxigenadas.

Índice EPT bajo = Indicativo de contaminación, ya que estos grupos son sensibles a la degradación ambiental.

Tabla 8. Escala de valores Índice ETP (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera).

VALOR DE RELACIÓN ETP EN LA MUESTRA	CALIDAD DE AGUA
75-100%	Muy buena
50-74%	Buena
25-49%	Regular
0-24%	Mala

Fuente: Carrera y Fierro, 2004

7.3.4. Identificación taxonómica

La identificación taxonómica de los especímenes, se basará en diversas fuentes especializadas, como Resh & Rosenberg (1984), Roldán - Pérez (1988), Ward (1992), Smith (2001), Thorp & Covich (2001), Merritt et al. (2008), y Domínguez & Fernández (2009), entre otros, además de consultar a especialistas en el tema. Este proceso permitirá una clasificación detallada hasta el nivel de género, aunque para aplicar los índices de calidad del agua, el nivel de familia es suficiente.

La identificación precisa es fundamental para evaluar el estado ecológico de los cuerpos de agua, facilitando una gestión ambiental más eficiente y la implementación de medidas de conservación adecuadas. Al contar con una identificación confiable, se asegura la consistencia y validez de los datos recopilados en estudios ambientales, contribuyendo a la comprensión y protección de los ecosistemas acuáticos.

7.4. Fuentes de contaminación, degradación del hábitat y otros factores que amenacen la biodiversidad del río California

Para identificar las fuentes de contaminación, la degradación del hábitat y otros factores que amenazan la biodiversidad del río California, se aplicó una metodología integrada, que combina diversas técnicas de evaluación ambiental que se sustentan en los protocolos establecidos por Barbour et al. (1999).

Inspección en campo

Se realizó una observación directa en el área de estudio para identificar posibles fuentes de contaminación, como descargas domésticas, escorrentía agrícola y procesos de erosión del suelo. Los hallazgos fueron documentados mediante registros fotográficos y notas de campo detalladas.

Entrevistas comunitarias

Se recopilaron testimonios de actores locales, incluyendo agricultores y residentes de la comunidad, con el fin de obtener información sobre actividades humanas que podrían afectar la calidad del agua, como prácticas agrícolas, disposición de desechos y manejo del suelo.

Análisis de parámetros fisicoquímicos

Se midieron parámetros clave, incluyendo niveles de nitratos, fosfatos y sólidos disueltos suspendidos, para establecer relaciones entre las fuentes de contaminación identificadas y los cambios en la calidad del agua del río.

7.5. Relaciones entre los parámetros fisicoquímicos del río y las especies colectadas de macroinvertebrados bentónicos

Medición de parámetros fisicoquímicos

Se midieron *in situ* los parámetros fisicoquímicos: pH, oxígeno disuelto (OD), temperatura, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos disueltos totales (STD), turbidez, nitratos, fosfatos y coliformes (CF), utilizando equipos especializados.

Correlación con índices biológicos

Se analizaron los datos fisicoquímicos junto con los índices biológicos BMWP y EPT para identificar relaciones significativas.

Análisis de datos y correlaciones

En esta metodología se realizaron análisis estadísticos (correlación de Pearson o Spearman) para identificar la relación entre los parámetros fisicoquímicos del agua y la abundancia, diversidad y composición de macroinvertebrados. Estos análisis permitirán determinar cómo las condiciones del agua afectan la biodiversidad y la calidad ecológica en cada estación. Además, se evaluarán posibles fuentes de contaminación y amenazas ambientales.

Visualización de resultados

Los datos se presentaron mediante gráficos y tablas para ilustrar las relaciones encontradas y facilitar la interpretación.

8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

8.1. Identificar las familias de macroinvertebrados colectados y su nivel de tolerancia a la contaminación como indicadores del estado ecológico

Los resultados se obtuvieron utilizando un estereoscopio, un microscopio y lupa, siguiendo claves taxonómicas de autores como Roldán Pérez, Álvarez Arango, Domínguez y Fernández, Oscoz et al., y González Valencia et al. Para calcular los índices biológicos, se trabajó principalmente a nivel de familia, alcanzando el nivel de género siempre que fue posible.

Esta identificación detallada, junto con la clasificación y conteo de familias, permitió una caracterización cualitativa más precisa de las comunidades de macroinvertebrados analizadas en los diez muestreos (M1 a M10) realizadas en cada una de las seis estaciones. Como resultado, se documentó tanto la cantidad de individuos como su nivel de tolerancia a la contaminación, conforme al índice biológico utilizado.

Se obtuvo, los siguientes resultados con la utilización Red Surber (ver Fotos 4 y 5). Esfuerzo de muestreo M1, M2, M3.

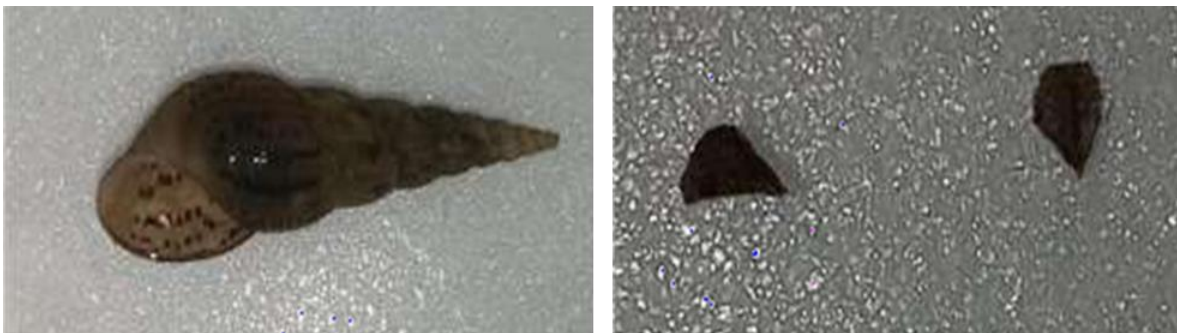


Foto 1 y 2. Muestra de macroorganismos, (Izq.) Mollusca-Thiaridae-Melanoides; (Der.) Gasterópodos. **Fuente:** Roberto A. Jiménez, 2024.



Foto 3. Muestra de macroorganismos, (A) Trichoptera-Helicopsychidae; (B) Gasterópodos-Ampullariidae; (C) Gastropoda-Hydrobiidae; (D; E) Mollusca-Thiaridae-Melanoides.
Fuente: Roberto A. Jiménez, 2024.



Foto 4 y 5. Colecta de macroinvertebrados con Red Surver. **Fuente:** Roberto A. Jiménez, 2024.

8.1.1. Organismos acuáticos asociados a las plantas

Se colecto organismos de la vegetación de las orillas de los ríos, utilizando la Red de mano (ver Foto 6, 7 y 8). Esfuerzos de muestreo M4, M5.



Foto 6, 7 y 8. Colecta de organismos con Red de Mano.
Fuente: Roberto A. Jiménez, 2024.

8.1.2. Manejo y Preservación de Muestras

Las muestras colectadas de especímenes, se colocaron en una bandeja blanca para su observación con lupa y registro. Las muestras se preservaron en frascos de 100ml., con 25ml. de formol al 34% cada uno.

Se obtuvo, los siguientes resultados con la utilización Red D (ver Fotos 9 y 10).
Esfuerzo de muestreo M6, M7, M8.



Foto 9 y 10. Colecta de macroinvertebrados con Red D.
Fuente: Roberto A. Jiménez, 2024.

8.1.3. Macroinvertebrados bentónicos 2

Utilizando un Core de 15 cm de diámetro y pala de jardín, se colectó sedimento de manera aleatoria en las orillas en los puntos M9 y M10. La muestra fue almacenada completamente en una funda plástica resistente para su posterior análisis en laboratorio.

8.1.4. Macroinvertebrados del neuston 3

Se colecto con la Red de mano a las orillas del río para observar la presencia de organismos, identificar y contabilizar M7, M8. Así también se describió el ambiente y se obtuvieron fotografías referenciadas de (tamaño y especies).



Foto 14 y 15. Selección de estación, muestreo Red de Mano.
Fuente: Roberto A. Jiménez, 2024.

8.1.5. Macroinvertebrados 1

Se realizo el mismo procedimiento que el anterior, pero adaptado con el Core de 5 cm., de diámetro, pala de jardín, una jeringa y tamices de 1 mm y de 30 micras, M7, M8. Se guardo el material colectado en frascos de 100ml., con 25ml. de formol al 34% cada uno.



Foto 16. Muestra de sedimento y selección. (Der.) Annelida-Lumbricidae-Oligochaeta,
Fuente: Roberto A. Jiménez, 2024.

8.1.6. Macroinvertebrados 2

Se colecta Perifiton de una roca humedecida por la orilla del río, en un cuadrado de 10 cm². Retirando con la ayuda del cepillo, lo que se encontró en la superficie y lavó el cepillo junto con el material en un frasco M7, de 200 ml., con 6ml. de formol al 34%.



Foto 17. Colecta de Perifiton en una roca humedecida.
Fuente: Roberto A. Jiménez, 2024.

8.1.7. Visualización de resultados

Caracterización del Caudal

El caudal del río California, medido en un tramo de 30 metros mediante el método del objeto flotante, fue calculado como 0,46 m³/s. Este valor se obtuvo considerando una velocidad promedio de 0,21 m/s y un área transversal promedio de 2,20 m², derivada de un ancho promedio de 8,48 m y una profundidad media de 0,26 m. Estas mediciones reflejan las condiciones actuales del río, influenciadas por su uso intensivo para actividades humanas como el lavado de ropa y vehículos, que pueden impactar negativamente su calidad.

Los datos obtenidos se presentaron a través de tablas 9,10 y 11, las cuales permiten ilustrar las relaciones encontradas, y cálculos que facilitan su interpretación. Así también, imágenes de los especímenes colectados (ver fotos 11, 12 y 13).

Tabla 9. Número de organismos colectados para cálculos del Índice EPT (Ephemeroptera, Trichoptera y Plecóptera) y sensibilidad por estación de muestreo.

Estación de Muestreo	Número de Ephemeroptera	Número de Trichoptera	Número de Plecóptera	Total EPT	Sensibilidad
Estación 1	61	26	0	87	Buena
Estación 2	46	55	0	101	Muy Buena

Fuente: Elaboración propia, 2024.



Foto 11, 12, y 13. Odonatos Polythoridae (Cora); Efímera Ephemeroptera, *Timpanoga* sp. (Hexagenea); Heteróptero Gerridae (Gerris). Fuente: Roberto A. Jiménez, 2024.

Tabla 10. Cálculo del índice EPT (Ephemeroptera, Trichoptera y Plecóptera) y sensibilidad.

Género	Familia	Orden	Abundancia individuos	EPT presente	BMWP puntaje
Oligochaeta	Lumbricidae	Annelida	53		2
Stenelmis	Elmidae	Coleoptera	22		5
Odontotaenius	Passalidae	Coleoptera	15		5
Psephenis	Psephenidae	Coleoptera	410		10
Strategus	Scarabaeidae	Coleoptera	25		5
Atya	Atyidae	Decapoda	18		6
Macrobrachium	Palaemonidae	Decapoda	12		4
Hexatoma	Tipulidae	Diptera	58		3
Baetodes	Baetidae	Ephemeroptera	485	485	7
Baetis	Baetidae	Ephemeroptera	258	258	7
Leptohyphes	Leptophlebiidae	Ephemeroptera	142	142	7
Gerris	Gerridae	Hemiptera	166		8
Nepomorpha	Naucoridae	Heteróptera	127		7
Nigronia	Corydalidae	Megaloptera	14		6
Melanoides	Thiaridae	Mesogastropoda	645		5
-	Ampullariidae	Mollusca	42		9
Argia	Coenagrionidae	Odonata	314		7
-	Libellulidae	Odonata	276		6
Anisoptera	Gomphidae	Odonata	330		10
Zygoptera	Polythoridae	Odonata	125		10
Cernotina	Leptoceridae	Trichoptera	351	351	8
Chimarra	Philopotamidae	Trichoptera	102	102	7
Helicopsyche	Helicopsychidae	Trichoptera	162	162	8
Total			4152	1500	152

EPT	0,576	Calidad	Sensibilidad
%	57,61	BUENA	MUY BUENA

Calidad del agua
75% - 100% Muy buena
50% - 74% Buena
25% - 49% Regular
0% - 24% Mala

Sensibilidad
101 – >145 Muy buena
61 – 100 Buena
36 – 60 Regular
16 – 35 Mala
0 – 15 Muy mala

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Este índice BMWP (Biological Monitoring Working Party score system), refleja como resultado, la diversidad y la sensibilidad de los macroinvertebrados presentes en el cuerpo de agua evaluado:

Tabla 11. Familias de macroinvertebrados con su respectivo indicador de calidad de agua.

ORDEN	FAMILIA	INDICADOR BMWP-PUNTAJE
Annelida	Lumbricidae	2
Coleoptera	Elmidae	5
Coleoptera	Passalidae	5
Coleoptera	Psephenidae	10
Coleoptera	Scarabaeidae	5
Decapoda	Atyidae	6
Decapoda	Palaemonidae	4
Diptera	Tipulidae	3
Ephemeroptera	Baetidae	7
Ephemeroptera	Baetidae	7
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	7
Hemiptera	Gerridae	8
Heteróptera	Naucoridae	7
Megaloptera	Corydalidae	6
Mesogastropoda	Thiaridae	5
Mollusca	Ampullariidae	9
Odonata	Coenagrionidae	7
Odonata	Libellulidae	6
Odonata	Gomphidae	10
Odonata	Polythoridae	10
Trichoptera	Leptoceridae	8
Trichoptera	Philopotamidae	7
Trichoptera	Helicopsychidae	8
Total		152

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Con un valor de 152, el agua se clasifica como muy buena calidad. Esto indica un ecosistema acuático saludable, con una alta diversidad de organismos sensibles a la contaminación y condiciones favorables para la vida acuática. Es importante tener en cuenta factores adicionales como la temporalidad del muestreo y las condiciones específicas del hábitat para confirmar esta evaluación.

8.2. Determinar fuentes de contaminación, degradación del hábitat y otros factores que amenacen la biodiversidad del río California, en seis estaciones de muestreo.

8.2.1. Fuentes de contaminación

Se identificaron tres principales fuentes de contaminación en las estaciones evaluadas:

Aguas residuales domésticas: Presencia de descargas no tratadas en las cercanías de las estaciones 1 y 2, contribuyendo al aumento de materia orgánica y bacterias en el agua.

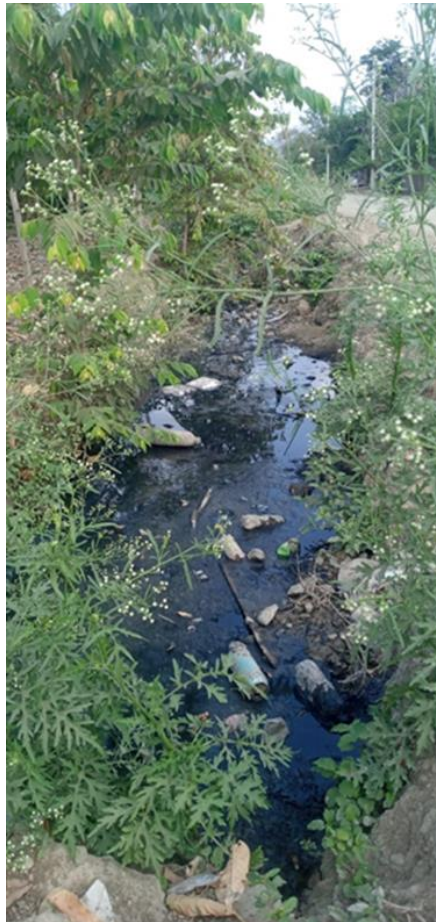


Foto 18 y 19. Aguas negras y lavado de ropa. **Fuente:** Eleodoro Rodriguez, 2024.

Actividades agrícolas: Uso intensivo de fertilizantes químicos, detectado por los altos niveles de turbidez y partículas en suspensión en las estaciones próximas a terrenos agrícolas.



Foto 20. Colecta de Perifiton en una roca humedecida. **Fuente:** Roberto A. Jiménez, 2024.

Deforestación y erosión: Zonas ribereñas de la estación 3 muestran pérdida de cobertura vegetal y sedimentación significativa, afectando la estabilidad del ecosistema.



Foto 21. Erosión de las riberas del río por ganado vacuno E1. **Fuente:** Eleodoro Rodríguez, 2024.

8.2.2. Degradación del hábitat

Las actividades humanas han alterado las características físicas y biológicas del río:

Pérdida de hábitats naturales: Áreas ribereñas degradadas en las estaciones 1, 2 y 3.



Foto 22. Impacto ambiental negativo. **Fuente:** Roberto A. Jiménez, 2024.

Disminución de oxígeno disuelto: Relacionada con el aumento de carga orgánica en las estaciones 1 y 2, afectando la biodiversidad acuática.



Foto 23. Carga orgánica **Fuente:** Eleodoro Rodriguez, 2024.

8.2.3. Información de campo y validación de resultados

A través de observación directa y entrevistas con miembros de la comuna Loma Alta, se corroboró la presencia de fuentes puntuales y difusas de contaminación. Estos datos se complementaron con los análisis de nitritos, nitratos, fosfatos y sólidos disueltos suspendidos en laboratorio.



Foto 24, 25 y 26. Monitoreo y recolección de desechos sólidos en el río California por pobladores de la comuna Loma Alta. **Fuente:** Sr. Rodriguez, Inspector de Flora y Fauna de la Comuna, 2024.

Tabla 12. Datos complementarios de los parámetros fisicoquímicos nitritos, nitratos, fosfatos y sólidos disueltos suspendidos.

	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	STD (mg/l)
E1	0,001	11,1	3,8	127
E2	15	18,7	12,2	120
E3	0,7	2,7	3	143
E4	0,001	2,2	3,1	175
E5	1,0	1,3	5,1	150
E6	2,5	3,5	26,4	168

Fuente: Elaboración propia, 2024.

8.3. Establecer relaciones entre los parámetros físicoquímico del río y las especies colectadas de macroinvertebrados bentónicos en estudio.

8.3.1. Parámetros físicoquímicos

En seis estaciones de muestreo se evaluaron *in situ* los parámetros físicoquímicos del agua utilizando las sondas APERA DO850 (ver Foto 27.) para medir pH, oxígeno disuelto, turbidez, temperatura y sólidos disueltos (ver Tabla 13), YSI y Espectrofotómetro visible “iris”. Estos resultados proporcionaron información clave sobre las condiciones del ecosistema acuático.

El pH y el oxígeno disuelto fueron esenciales para los macroinvertebrados, mientras que la turbidez y conductividad indicaron posibles contaminaciones. Los sólidos disueltos y la temperatura impactaron la calidad del agua, influyendo en la biodiversidad. Los datos obtenidos (ver Tabla 12 y 13) permitieron identificar relaciones entre los parámetros físicoquímicos y la biodiversidad de macroinvertebrados, reflejando la salud ecológica del río.

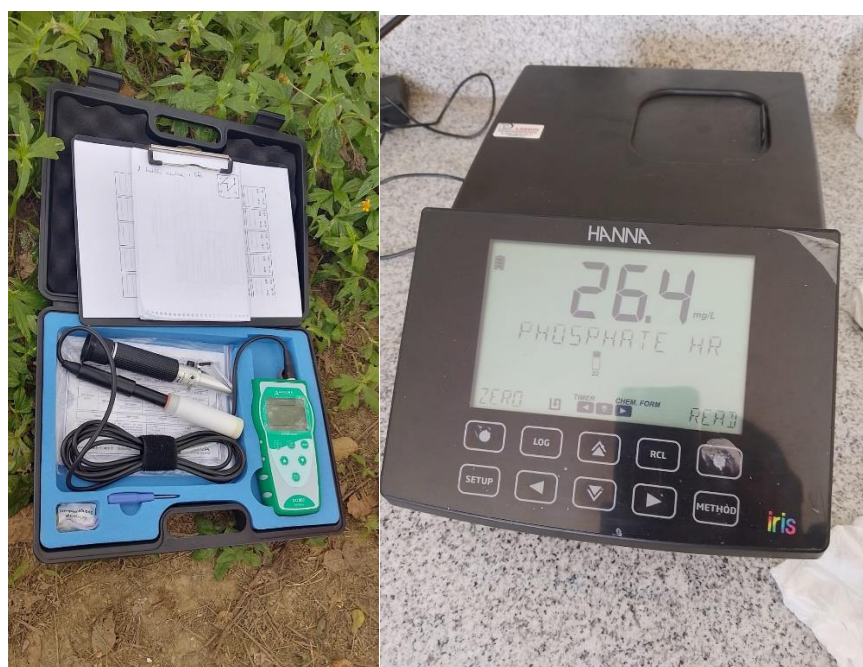


Foto 27. Sonda Multiparámetro APERA DO850 y Espectrofotómetro visible “iris”.

Tabla 13. Caracterización fisicoquímica de muestras de agua colectadas.

Variable	E1	E2	E3	E4	E5	E6
pH	6,10 ± 0,4	6,12 ± 0,2	6,14 ± 0,2	6,20 ± 0,2	6,24 ± 0,5	6,24 ± 0,4
T (°C)	25,1 ± 0,4	26,0 ± 0,6	25,1 ± 1,0	26,5 ± 1,0	29,7 ± 1,0	28,0 ± 0,5
OD (mg/l)	6,50 ± 0,2	7,00 ± 0,5	7,50 ± 0,5	8,00 ± 0,5	9,04 ± 0,5	8,50 ± 0,5
DBO (%)	7,50 ± 0,5	8,00 ± 0,5	8,50 ± 0,9	9,00 ± 0,5	9,50 ± 0,5	9,50 ± 0,5
NTU (Turb)	6,2 ± 0,2	9,2 ± 0,6	5,6 ± 0,5	5,4 ± 0,5	5,1 ± 0,5	6,4 ± 0,2
STD (mg/l)	127 ± 0,5	120 ± 0,3	143 ± 0,3	175 ± 0,5	150 ± 0,8	168 ± 0,9
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	3,8 ± 0,5	12,2 ± 0,5	3,00 ± 0,5	3,10 ± 0,5	5,1 ± 0,5	26,4 ± 0,5
NO ₃ ⁻ (mg/l)	11,1 ± 0,5	18,7 ± 0,3	2,7 ± 0,5	2,2 ± 0,5	1,3 ± 0,5	3,5 ± 0,5
CF (UFC/100ml)	1,87 x 10 ⁻³	-	-	-	-	-

RANGOS CF:
 NORMAL: 10⁻³- 10⁻⁴
 PELIGROSO: > 10⁻⁵

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla 14. Resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados (septiembre a noviembre).

Estaciones de Muestreo	MESES	pH	T (°C)	OD (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	NTU (UNT)	DBO (%)	STD (mg/l)	CF (UFC/100ml)
Estación 1	Septiembre	6,10	25,1	6,50	11,1	3,80	6,2	7,50	127	1,87x10 ⁻³
	Octubre	6,86	26,4	6,70	1,01	3,08	6,0	8,02	102	-
Estación 2	Septiembre	6,12	26,0	7,00	18,7	12,2	9,2	8,00	120	-
	Octubre	6,65	26,6	7,78	18,1	10,3	8,7	8,98	125	-
Estación 3	Septiembre	6,14	25,1	7,50	2,70	3,00	5,6	8,50	143	-
	Octubre	6,24	25,2	8,25	2,37	3,25	8,1	8,20	155	-
Estación 4	Septiembre	6,20	26,5	8,00	2,20	3,10	5,4	9,00	175	-
	Octubre	6,90	27,0	8,00	2,28	2,95	6,7	8,09	170	-
Estación 5	Septiembre	6,24	29,7	9,04	1,30	5,10	5,1	9,50	150	-
	Octubre	6,87	26,8	8,30	1,05	5,08	5,9	8,30	143	-
Estación 6	Octubre	6,24	28,0	8,50	3,50	26,4	6,4	9,50	168	-
	Noviembre	6,10	28,7	8,28	3,39	26,1	6,6	8,77	155	-

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla 15. Resultados del índice de calidad del agua NSF.

Estaciones de Muestreo	Meses	ICA NSF	Clasificación NSF	ICA NSF Promedio	Clasificación NSF Promedio
Estación 1	Septiembre	45,6	Media	46,40	Media
	Octubre	47,2	Media		
Estación 2	Septiembre	62,3	Mala	61,55	Media
	Octubre	60,8	Mala		
Estación 3	Septiembre	50,4	Mala	51,75	Media
	Octubre	53,1	Mala		
Estación 4	Septiembre	71,5	Mala	72,35	Buena
	Octubre	73,2	Mala		
Estación 5	Septiembre	89,3	Media	89,70	Buena
	Octubre	90,1	Media		
Estación 6	Octubre	68,2	Media	69,70	Media
	Noviembre	70,4	Media		

Fuente: Elaboración propia, 2024.

8.3.2. Análisis de datos y correlaciones

Se aplicaron análisis de correlación Pearson en Python, usando la función `DataFrame.corr()` de Pandas, para explorar relaciones entre parámetros fisicoquímicos y macroinvertebrados. La matriz resultante cuantificó la fuerza y dirección de estas interacciones en el ecosistema.

Tabla 16. Matriz de Correlación de Pearson. (Algunos parámetros)

	pH	T	OD	DBO	Turbidez	CF
pH	1.00	0.880	0.971	0.982	-0.481	
T	0.880	1.00	0.903	0.829	-0.299	
OD	0.971	0.903	1.00	0.979	-0.505	
DBO	0.982	0.829	0.979	1.00	-0.478	
Turbidez	-0.481	-0.299	-0.505	-0.478	1.00	
CF						1.00

Fuente: Elaboración propia, 2024.

La correlación indica que, mayores valores de BMWP/EPT (alto), asociados a una mayor presencia de macroinvertebrados sensibles, coinciden con un aumento del ICA (alto), señalando mejor calidad del agua. Esto respalda el uso de bioindicadores como herramientas clave para evaluar ecosistemas acuáticos.

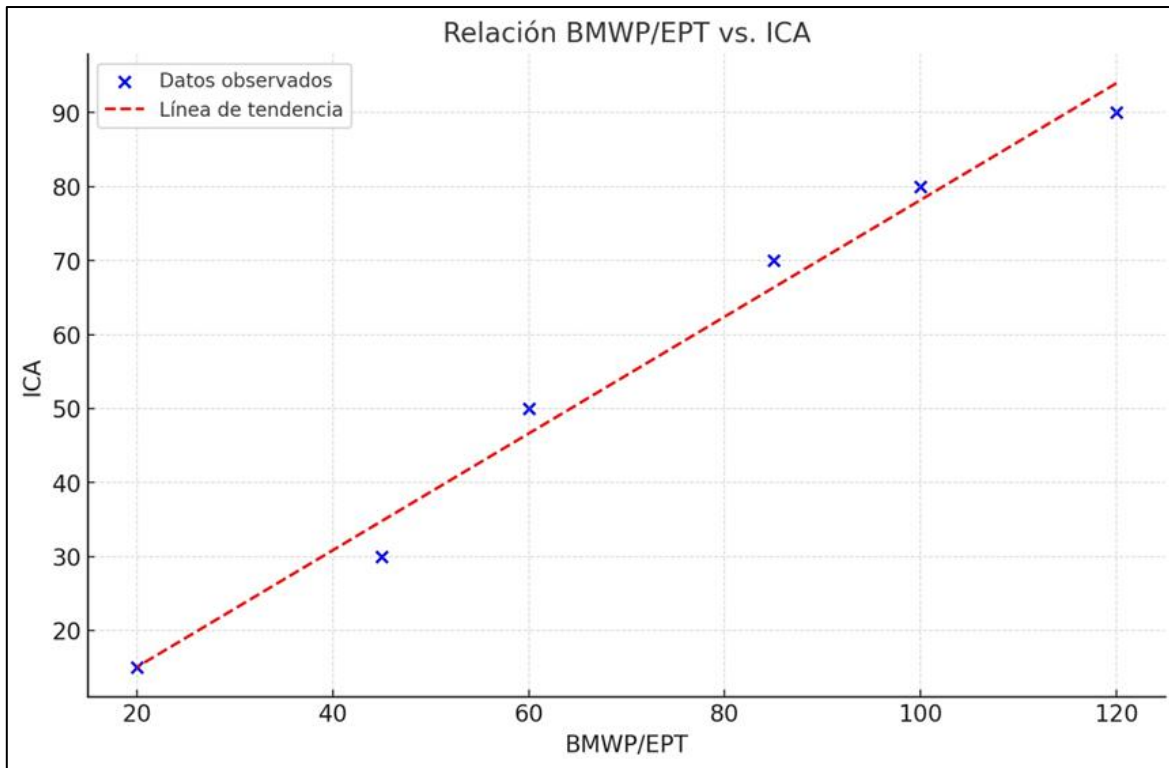


Gráfico 1. La línea roja destaca la tendencia simulada entre el Índice Biológico BMWP/EPT (Alto) y el Índice de Calidad del Agua ICA (Alto) proporcionando una visualización clara de su relación.

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En el mapa de calor (ver Gráfico 2), se presentan los coeficientes de correlación de Pearson, la matriz muestra las relaciones entre parámetros fisicoquímicos como el pH, OD, DBO, Turbidez, STD, y concentraciones de nitratos y fosfatos. de estos se han escogido los más representativos, tales como; pH y OD: Relación positiva fuerte (0.971), lo que indica que un mayor pH tiende a estar asociado con mayores niveles de oxígeno disuelto; Turbidez y NO_3^- : Relación positiva alta (0.917), sugiriendo que altos niveles de nitratos están vinculados con un aumento de la turbidez.

Estos valores, comprendidos entre -1 y 1, del mapa de calor, reflejan la intensidad y dirección de las interacciones entre las variables, proporcionando una visión clara de cómo cada parámetro influye en el ecosistema acuático.

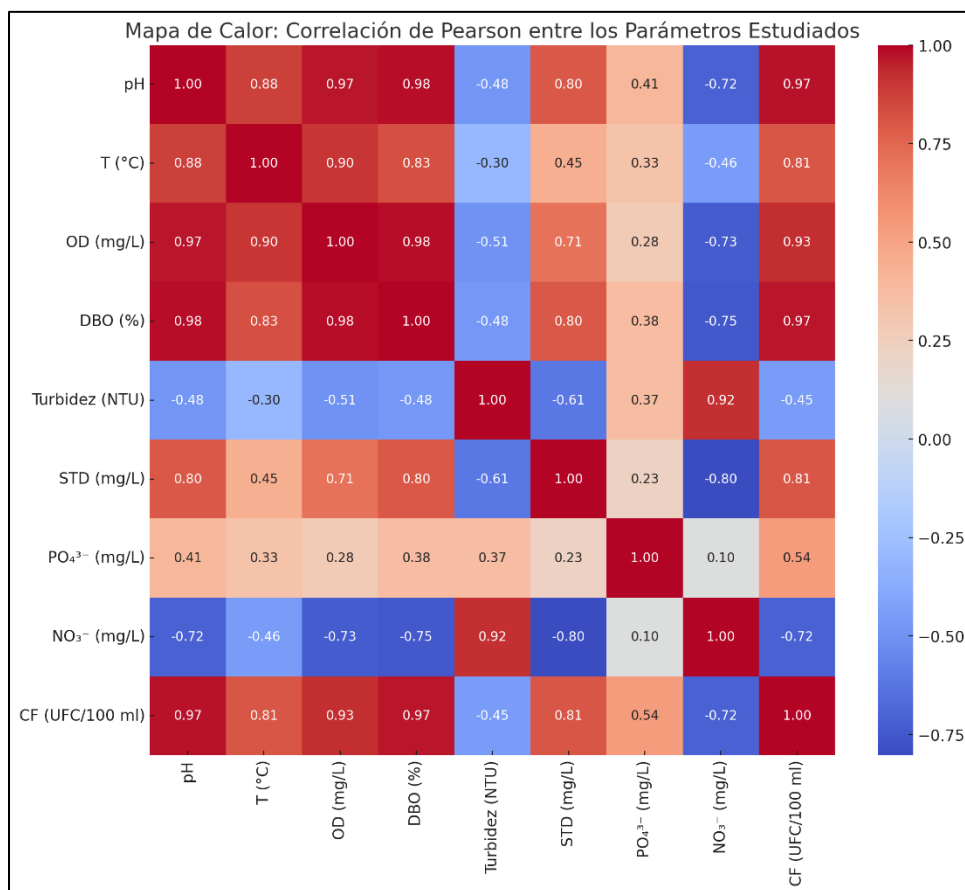


Gráfico 2. Mapa de calor que muestra la relación entre las variables pH, T (°C), OD, DBO y Turbidez. es decir la fuerza y dirección de una relación lineal entre variables cuantitativas.

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Los valores de correlación del mapa de calor, se interpretan así: positiva indica relación directa, negativa relación inversa, y cercana a 0 una relación débil o nula.

El gráfico siguiente de dispersión, entre pH y OD (mg/L) muestra una tendencia ascendente moderada, lo que sugiere que un aumento en el pH está asociado con un incremento en el oxígeno disuelto. Correlación positiva fuerte (0.971), indicando que el oxígeno disuelto aumenta con el pH.

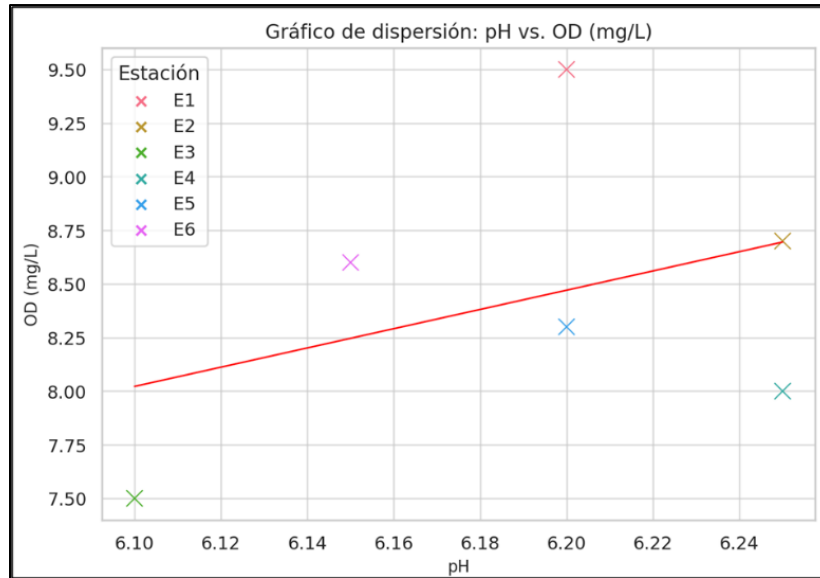


Gráfico 3. Se destaca relación positiva fuerte OD (0.971), indicando que el oxígeno disuelto aumenta con el pH (6,20), reflejando su importancia. **Fuente:** Elaboración propia, 2024.

En el gráfico a continuación, se observa una relación negativa moderada entre la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Turbidez. A medida que la DBO (%) incrementa, los valores de turbidez (NTU) tienden a disminuir. Este comportamiento podría estar relacionado con la dinámica de los sólidos en suspensión y la descomposición orgánica en las estaciones estudiadas.

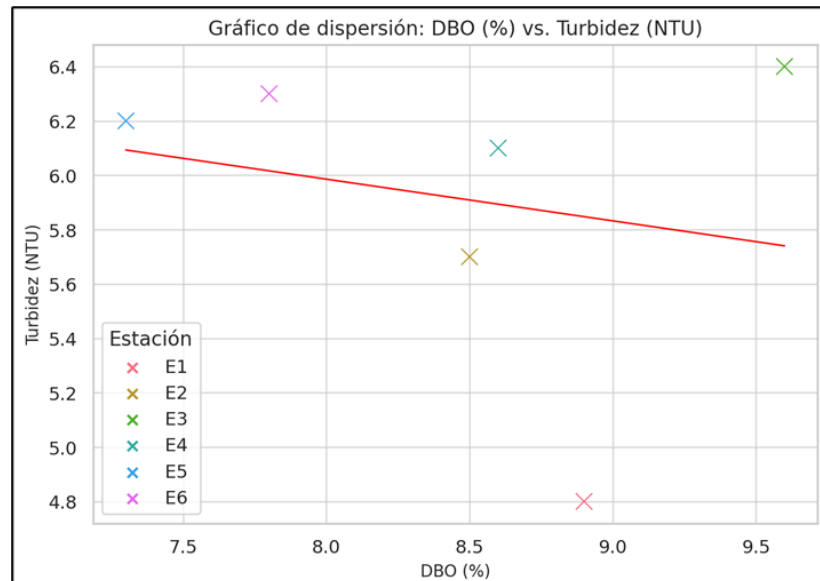


Gráfico 4. Relación entre DBO (%) y Turbidez (NTU), diferenciada por estaciones y con línea de tendencia lineal negativa moderada. **Fuente:** Elaboración propia, 2024.

Un breve análisis nos indica que:

pH y OD: Correlación positiva fuerte (0.971), indicando que el oxígeno disuelto aumenta con el pH. Turbidez y OD: Correlación negativa moderada (-0.505), lo que sugiere que una mayor turbidez tiende a reducir el oxígeno disuelto. DBO y pH: Relación positiva fuerte (0.982), indicando que niveles altos de pH suelen estar asociados con mayor DBO y T (°C) y OD: Correlación positiva fuerte (0.903), lo cual es interesante dado que el OD típicamente disminuye con temperaturas altas, lo que podría indicar un efecto compensatorio en el sistema monitoreado.

Finalmente, el siguiente gráfico muestra una correlación inversa entre la concentración de coliformes fecales (CF) y el oxígeno disuelto (OD), es decir, a medida que aumentan los valores de coliformes fecales, el nivel de oxígeno disuelto disminuye.

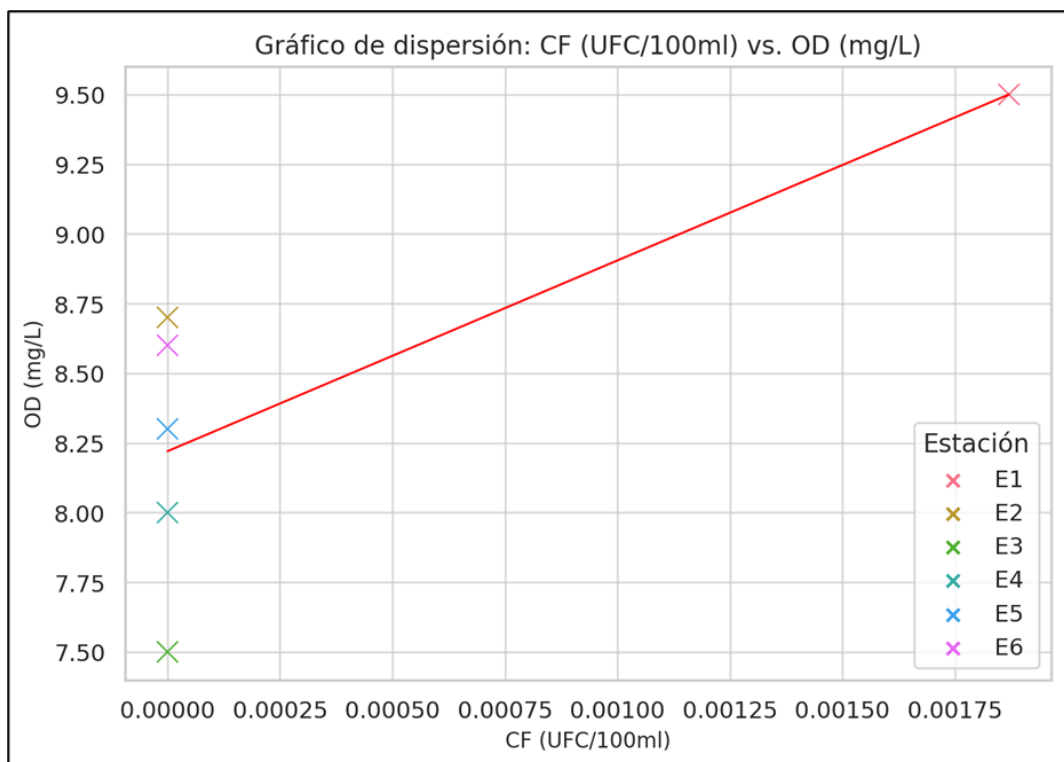


Gráfico 5. Relación inversa entre coliformes fecales (CF) y oxígeno disuelto (OD), indicando que mayores niveles de CF se asocian con una disminución del OD. **Fuente:** Elaboración propia, 2024.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El análisis del río California evidenció que el deterioro de la calidad del agua afecta la diversidad biológica de macroinvertebrados bentónicos, corroborándose la hipótesis propuesta. E1 y E2, con mayor contaminación, mostraron oxígeno disuelto crítico (<7.4 mg/L) y un BMWP de 12 (muy mala calidad), mientras que E4 y E5, menos impactadas, alcanzaron un BMWP de 72 (buena calidad) y un 36% de especies sensibles. En E6, se observaron fosfatos elevados (26.4 mg/L), indicando un impacto puntual. Se identificaron 21 familias, con clasificación validada por el INABIO, garantizando la relevancia científica de los resultados.

En consecuencia, Las fuentes principales de contaminación incluyen descargas de aguas residuales domésticas y escorrentías agrícolas, especialmente en las estaciones E1 y E2. Estas actividades aumentaron la turbidez (9.2 NTU en E2) y la concentración de nitratos (18.7 mg/L en E6), evidenciando una fuerte degradación del hábitat en estos puntos.

Finalmente, se observó una correlación inversa entre el oxígeno disuelto y la abundancia de organismos tolerantes a la contaminación. En estaciones con pH ácido (6.1-6.9) y alta carga orgánica, como E1, predominaron especies de baja sensibilidad (Tubificidae, puntaje BMWP de 1). En contraste, las estaciones con mejor calidad ambiental, como E4, albergaron organismos bioindicadores sensibles de los órdenes Ephemeroptera y Trichoptera.

RECOMENDACIONES

- Para complementar los resultados de esta investigación, se propone realizar un nuevo estudio durante una estación climática diferente, con el objetivo de

determinar si la desaparición del grupo de macroinvertebrados Plecópteros está relacionada con el cambio estacional.

- Incorporar un componente molecular en estudios posteriores para mejorar la discriminación y caracterización de los macroinvertebrados bentónicos, permitiendo una identificación más precisa de las especies presentes y sus posibles respuestas a las condiciones ambientales.

10. BIBLIOGRAFÍA

(S/f-b). **Unesco.org**. Recuperado el 5 de diciembre de 2024, de <http://vocabularies.unesco.org/thesaurus>

Agencia Vasca del Agua. (2021). Protocolo de muestreo y de laboratorio para la evaluación de fauna bentónica macroinvertebrada en ríos vadeables. https://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/informacion/protocolos_estado_aguas/es_def/adjuntos/01_rw_macroinvertebrados_ura_v_3.1.pdf

Álava Luis, Marin Louison, Nelson Gallo (2021). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la cuenca baja del río Lelía (Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8383784.pdf>

Andrade, Victoria Soledad; Arias, María Julieta; Capeletti, Julieta; Del Rey, Manuel; Devercelli, Melina; et al.; Ambientes acuáticos de la provincia de Santa Fe: Protocolos de monitoreo con perspectiva socioecológica; Universidad Nacional del Litoral; 2022; 249

Astudillo-Sánchez, E., Pérez, J., Troccoli, L., & Aponte, H. (2019). Composición, estructura y diversidad vegetal de la reserva ecológica comunal Loma Alta, Santa Elena, Ecuador. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(1). <https://revista.ib.unam.mx/index.php/bio/article/view/2871>

Barbour, M.T., J. Gerritsen; B.D. Zinder y J.B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Segunda edición. EPA 841-B41-99-002. U. S.

Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington, D.C.
<https://www3.epa.gov/region1/npdes/merrimackstation/pdfs/ar/AR-1164.pdf>

Barboza & García. (2020). Estructura taxonómica y trófico-funcional de comunidades de macroinvertebrados bentónicos de arroyos de bosques tropicales costeros y del interior. 46 y siguientes. Disertación (maestría en ecología y conservación de recursos naturales) - universidad federal de uberlândia, uberlândia, 2020.
<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/29241>

Brantschen, J., Blackman, R. C., Walser, J. C., & Altermatt, F. (2021). Environmental DNA gives comparable results to morphology-based indices of macroinvertebrates in a large-scale ecological assessment. PLOS ONE, 16(9), e0257510. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/pmc8454941/>

Caicedo Cortez, J. E. (2020). Evaluación espacial de la comunidad de macroinvertebrados como herramienta de medición de calidad del agua del estero San Enrique, Durán.
<https://cia.uagraria.edu.ec/archivos/caicedo%20cortez%20jackson%20erik>

Carrera, C. y Fierro, K. 2001. Wright (1995). Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Eco Ciencia. Quito.

Chidiac, S., El Najjar, P., Ouaini, N., El Rayess, Y., & El Azzi, D. (2023). Una revisión exhaustiva de los índices de calidad del agua (ICA): historia, modelos, intentos y perspectivas. Re/views in environmental science and bio/technology, 22(2), 349–395.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10006569/>

Domínguez E, Adonis Giorgi y Nora Gómez (comps.) 2020. La bioindicación en el

monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la argentina: bases para el análisis de la integridad ecológica. Editorial eudeba. <https://www.ilpla.edu.ar/prueba/wp-content/uploads/2021/07/libro-completo-rem-aqua.pdf>

Echeverría Sáenz, S. (2024). Tolerancia y alteraciones de la comunidad de macroinvertebrados dulceacuícolas debida a la presencia de residuos de plaguicidas en cuerpos de agua superficial de Costa Rica. [Tesis de Doctorado]. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. <http://hdl.handle.net/11056/28225>
[erencesPapers.aspx?ReferenceID=1020268](http://www.referenciaspapers.com/ReferenciasPapers.aspx?ReferenceID=1020268)

Fernández-Vargas, G., & Universidad del Valle. (2020). La gobernanza del agua como marco integrador para el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible en latinoamérica. Revista udca actualidad & divulgacion científica, 23(2).
<https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/1561>

Fierro, P., Valdovinos, C., Vargas-Chacoff, L., Bertrán, C., & Arismendi, I. (2017). Macroinvertebrates and fishes as bioindicators of stream water pollution. In H. Tutu (Ed.), Water Quality (pp. 149–171). IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/52384>

Final, I. (2019). Diseño del sistema de monitoreo de ecosistemas de agua dulce y su biodiversidad asociada. Org.co. Retrieved november 4, 2024, from <https://natura.org.co/wp-content/uploads/2020/10/sistema-monitoreo-e-acuaticos.pdf>

Gagneten , A. M., et al. (2022). Ambientes acuáticos de la provincia de Santa Fe. Ediciones UNL - Universidad Nacional del Litoral.

<https://ulibros.com/ambientes-acuaticos-de-la-provincia-de-santa-fe-jf4ry.html>

Getachew M., Mulat W.L., Mereta, S.T. et al. Refining benthic macroinvertebrate kick sampling protocol for wadeable rivers and streams in Ethiopia. *Environ Monit Assess* 194, 196 (2022).
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-021-09594-x#citeas>

Gómez, N., Domínguez, E., Rodríguez, A. C., & Fernández, H. (2020). Los indicadores biológicos. In *Los indicadores biológicos* (pp. 58-71). Eudeba.
https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/150959/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

González M; Volonté A, (2024); Interacción entre la vegetación y los paisajes fluviales: aportes de la biogeomorfología; *Sociedad Argentina de Estudios Geográficos; Contribuciones Científicas GAEA*; 35; 5-2024; 37-46.
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/239212>

Hernández, V. E., López, D. D., & Moya, F. O. (2019). Monitoreo ambiental como herramienta para el seguimiento continuo previsto en la evaluación de impacto ambiental. Recuperado de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62627404/32._espacios20200331-105245-1pyb7pk-libre.pdf

Horton, R.K. (1965) An Index Number System for Rating Water Quality. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 37, 300-306.
[http://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/Ref](http://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/Ref)

INECC-FMCN, 2023. Manual de monitoreo comunitario del agua para cuencas ganaderas y agroforestales de Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz, México. Proyectos CONECTA y RÍOS. Instituto Nacional de Ecología y

Cambio Climático, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), Banco Mundial y Fondo Verde para el Clima. https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/Manual_Monitoreo_Comunitario_de_Agua.pdf

Japa Cando, Johanna Valeria. (2021). Evaluación de la calidad del agua del río Yuquipa, tramo - comunidad Sagrado Corazón, mediante la identificación de macroinvertebrados bentónicos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15442>

Ladrera, R., Rieradevall, M., & Prat, y. N. (n.d.). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. Ehu.eus. Retrieved June 16, 2024, from https://www.ehu.eus/ikastorratza/11_alea/macro.pdf

Lara C., & Andrade J. C. (2022). Evaluación de la calidad del agua del río Chibunga por medio del Índice EPT. Dominio De Las Ciencias, 8(4), 707–725. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/3101>

León vizcaíno, I. F. (n.d.). Índices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la cuenca lerma-chapala. Edu.ec. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6147/1/ICA%20Forma%20de%20estimarlos.pdf>

Luna Bautista, C. F., Gómez-Otamend, E. ., Tamariz-Flores, J. V. ., & Castelán-Vega, R. . (2023). Bioindicadores como herramientas para la evaluación de la contaminación ambiental. Rd-icup, 9(25), 202–207. Recuperado a partir de <https://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicup/article/view/1059>

Mauad, M. (2015). Evaluación de calidad de agua mediante el estudio de macroinvertebrados. From

https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/record/cicba_fa75bbdf371de09dc1f92e41de2629af

Méndez, P., Álvarez, B., Jaramillo, N., & Japa, J. (2021). Diversidad espacio-temporal de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua del río Yuquipa. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias/Ingeniería Ambiental, Riobamba/Macas, Ecuador. http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14596/1/per_n25_v1_01.pdf

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAAE). (2024). Informe sobre la emisión de pronunciamientos y reportes de monitoreo físico-químico y biológico al PMA. <https://www.gob.ec/maae/tramites/emision-pronunciamiento-reportes-monitoreo-fisicos-quimicos-biologicos-al-pma>

Molina Pereira, y. A. (2019). La reforestación como estrategia ambiental para la conservación de ríos y quebradas. *Revista científica*, 4(13), 182–199. https://www.indteca.com/ojs/index.php/Revista_Scientific/article/view/339

Montoya C. D, (2024.). Relación entre protocolos de evaluación de hábitat fluvial e índices biológicos en la valoración de la calidad de un ecosistema fluvial de alta montaña. <https://repositorio.uco.edu.co/server/api/core/bitstreams/6fcef0d2-aa6b-4127-b450-a14e5349a7fb/content>

Mora-Orozco, C. de la, Flores-Garnica, J. G., Flores-López, R.-A., Chávez, D. Á. A., Ochoa-Rivero, M., & García-Velasco, J. (2019). Variaciones espacio-temporales y modelaje de la concentración de oxígeno disuelto en el lago de Chapala, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 9(1), 39–52. <https://www.researchgate.net/publication/322973463>

Nakaya & Saavedra. (2020). Dispersión De Contaminantes Solubles En La Cuenca Baja Del Río Mala, Provincia De Cañete, En Época Seca. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1632/TL-Nakaya%20D-Saavedra%20S.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Papastergiadou, E., & Stefanidis, K. (2024). Ecological Monitoring and Assessment of Freshwater Ecosystems: New Trends and Future Challenges. https://mdpi-res.com/bookfiles/book/9618/Ecological_Monitoring_and_Assessment_of_Freshwater_Ecosystems_New_Trends_and_Future_Challenges.pdf?v=1730858775

Paul Hanson+Springer Springer+Alonso (2010). Ramirez+Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/20080>

Pawlowski, J., & Kahlert, M. (2021). Nuevas tendencias en la bioevaluación de ecosistemas acuáticos: desde organismos hasta métricas basadas en ADN. Resúmenes de Conferencias de ARPHA. <https://aca.pensoft.net/article/65382/>

Quesada Zamudio, M. A., & Urbano Ccaccasaca, R. M. (2023). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la calidad de agua del río Rímac. <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e00f0121-6377-4a00-9fcc-67d57657b8cf/content>

Ramírez, m., Rodríguez, I., & Gutiérrez, a. (2022). Gestión y conservación de fuentes de agua contaminadas: un enfoque desde la biodiversidad. *Journal of water resources*, 74(5), 205-214. <https://doi.org/10.1016/j.jwr.2022.11.009>

Rincón-Bello, M. T., & Universidad Santo Tomás. (2021). Aquatic macroinvertebrates as water quality bioindicators in Chicú River, Cundinamarca, Colombia. *Hidrobiológica*, 30(3), 17-29. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s0188-88972021000100017&script=sci_abstract

Rosas-Acevedo, J. L., Ávila Pérez, H., Sánchez-Infante, A., Rosas-Acevedo, A. Y., García-Ibáñez, S., Sampedro-Rosas, L., Granados-Ramírez, J. G., Juárez-López, A. L., Del Turismo, S., & Biológicas, C. (2014). Índice BMwP, FBI y EPT para determinar la calidad del agua en la Laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. <http://www.reibci.org/publicados/2014/julio/2200103.pdf>

Sánchez, Ciro. (2023). Comparación didáctica entre la correlación de Pearson y la de Spearman. 10.13140/RG.2.2.26148.76165/1.

Sanguil Medina Byron .2022. “Evaluación de la calidad del agua mediante el índice de calidad de agua ICA-NSF del río quero, cantón Quero” <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4580/1/sanguil%20medina%20byron%20sebastian.pdf>

Schidt, A., et al. (2017) Evaluación de la Calidad Biológica del Agua del Río Guadalquivir Mediante la Aplicación del Índice Biótico BMWP. Instituto Tecnológico Agropecuario San Andrés. <http://servicios.ucbtja.edu.bo:8090/sihita/css/docs/EST-00017/index.html>.

Sibaja, F. (2024). De gobernanza y sensibilización ambiental, Indicadores de calidad del agua en quebradas y ríos de Costa Rica. <https://www.tevucr.org/sites/default/files/content/documents/Guia%20ilustrada%20de%20macroinvertebrados%20acu%C3%A1ticos-pantallas.pdf>

TULSMA o TULAS. (2015), Texto Unificado De Legislación Secundaria De Medio Ambiente. Gob.ec. Retrieved November 16, 2024, from <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/texto-unificado-de-legislacion-secundaria-de-medio-ambiente.pdf>

Umair Ahmed, rafia mumtaz, hirra anwar, sadaf mumtaz, ali mustafa qamar; monitoreo de la calidad del agua: desde las tecnologías convencionales hasta las emergentes. Abastecimiento de agua 1 de febrero de 2020; 20 (1): 28–45. <https://iwaponline.com/ws/article/20/1/28/70087/water-quality-monitoring-from-conventional-to>

Vera, A., & Sánchez, m. (2021). Bioindicators in river ecosystems: the use of macroinvertebrates to assess water quality. *Journal of aquatic science*, 29(3), 345-358. <https://repositorio.uniboyaca.edu.co/handle/uniboyaca/980>

Yifan Su; Weiming Li; Liu Liu; Jinjing Li; Xuyang Sun; Wei Hu. (2020). Assessment of medium and small river health based on macroinvertebrates habitat suitability curves: a case study in a tributary of Yangtze River, China. <https://iwaponline.com/wp/article/22/4/602/74545/Assessment-of-medium-and-small-river-health-based>

Zhengfei Li, Jorge García-Girón, Junqian Zhang, Yintao Jia, Xiaoming Jiang, Zhicai Xie, Anthropogenic impacts on multiple facets of macroinvertebrate α and β diversity in a large river-floodplain ecosystem, *Science of The Total Environment*, Volume 874, 2023, *Science of the Total Environment*, 751, 142211. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723010033>

11. ANEXOS



COMUNA "LOMA ALTA"

LOMA ALTA, EL SUSPIRO, LA UNIÓN, LA PONGA.

FUNDADA EL 10 DE ENERO DE 1937

Acuerdo Ministerial 224 del 6 de marzo de 1939

Loma Alta - Colonche - Santa Elena - Ecuador

RUC. No.0992134135001



Loma Alta, 17 de agosto de 2024

CARTA DE AUTORIZACIÓN

El cabildo de la comuna Loma Alta una vez analizada la solicitud presentada por el señor: **JIMENEZ MARTINEZ ROBERTO ALFREDO**, con cedula de identidad N 090996016-3 estudiante del octavo semestre de la carrera de biología de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, donde manifiesta realizar su proyecto para **COLECTAR MUESTRAS DE MACROINVERTEBRADOS BENTONICOS** del rio california y realizar un análisis de la calidad del agua, en la ribera del mencionado rio de la comuna Loma alta. Por lo antes expuesto La Comuna Loma Alta **Autoriza** al señor estudiante **JEMENEZ MARTINEZ ROBERTO ALFREDO**, ingresar a la ribera del rio a realizar todo el trabajo que conlleve y crea ser necesario, el mismo que se llevará a cabo desde el 26 de agosto al 10 de noviembre del 2024 en el rio california de nuestra Comuna.

Sin otro particular al cual hacer referencia.

Atentamente.



Sra. Johanna Del Pezo Borbor
PRESIDENTE

Sr. Eulogio Tomala Rodriguez
SECRETARIO



COMUNA LOMA ALTA, PIONERA EN CONSERVACIÓN DE FLORA Y FAUNA EN LA CORDILLERA CHONGÓN COLONCHE.
Correo: comunalomaltac@gmail.com
Dirección: Calle Eduardo Aspiazu entre 25 de septiembre y 10 de agosto.
Celular: Presidente 0969665956. Secretario 0986854132. Tesorera 0982567546.










Imagen 1. Carta de autorización para muestreo de macroinvertebrados bentónicos.




Validación de Identificación de Macroinvertebrados Acuáticos


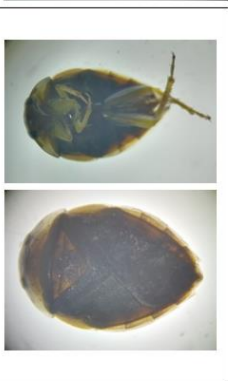

Título del Trabajo: Análisis De La Calidad Del Agua Por Biomonitorio De Macroinvertebrados Bentónicos Del Río California Comuna Loma Alta - Santa Elena.
Institución Académica: Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE).
Autor: Roberto Alfredo Jiménez Martínez.





Fotografía de Espécimen	Taxa	Correcto	Incorrecto	Comentario
	Ephemeroptera- Leptohyphidae- Leptohyphes	X		
	Trichoptera- Leptoceridae- Atanotricha	X		

	<p>Odonata- Polythoridae- Cora</p>		<p>X</p>	<p>No correspon de la identificaci on desde el orden</p>
	<p>Hemiptera- Gerridae- Gerris</p>		<p>X</p>	<p>No correspon de al género Gerris.</p>
	<p>Coleóptero- Passalidae- Odontotaenius</p>	<p>X</p>		<p>No es Acuático</p>
	<p>Coleóptero- Scarabaeidae- Strategus</p>	<p>X</p>		<p>No es Acuático</p>

	<p>Trichoptera- Helicopsychidae-</p>	<p>X</p>		
	<p>Gasterópoda- Ampullariidae- Pomácea</p>		<p>X</p>	<p>No correspon de al género Pomacea</p>
	<p>Trichoptera- Polycentropodida e- Cernotina</p>		<p>x</p>	<p>Np correspon de a la familia Polycentro podidae</p>

	<p>Ephemeroptera- Heptagenidae- Baetis</p>		<p>X</p>	<p>No correspon de a la Familia Heptageni dae</p>
	<p>Odonata- Gomphidae- Anisoptera</p>	<p>X</p>		
	<p>Coleóptera- Psephenidae-</p>	<p>X</p>		

	<p>Odonata- Libellulidae-</p>	<p>X</p>		
	<p>Heteróptera- Naucoridae- Nepomorpha- Ambrysus</p>	<p>X</p>		
	<p>Mollusca- Thiaridae-</p>	<p>X</p>		

	Mollusca- Thiaridae- Melanoides	X		
	Annelida- Lumbricidae- Oligochaeta	X		
	Gastropoda- Hydrobiidae- Pomacea		X	No correspon de al genero Pomacea
	Odonata- Gomphidae-		X	No se puede determina r la familia por la posición ventral del especimen , pero correspon de a ODONATA

	<p>Odonata- Coenagrionidae- Argia</p>	<p>X</p>		
---	---	----------	--	--

Mediante la revisión de las fotografías proporcionadas por el Sr. Roberto Alfredo Jiménez Martínez, para la revisión de la identificación taxonómica de especímenes para el trabajo de titulación “Análisis De La Calidad Del Agua Por Biomonitorio De Macroinvertebrados Bentónicos Del Río California Comuna Loma Alta - Santa Elena”, se han revisado las fotografías y de acuerdo a lo expresado en la tabla anterior se valida aquellas identificaciones correctas y se sugiere una re identificación de aquellos que están incorrectos.

Revisado Por:



Mauricio Herrera-Madrid

Asistente de Gestión de Información

Custodio de la Colección de Macroinvertebrados Acuáticos

Instituto Nacional de Biodiversidad

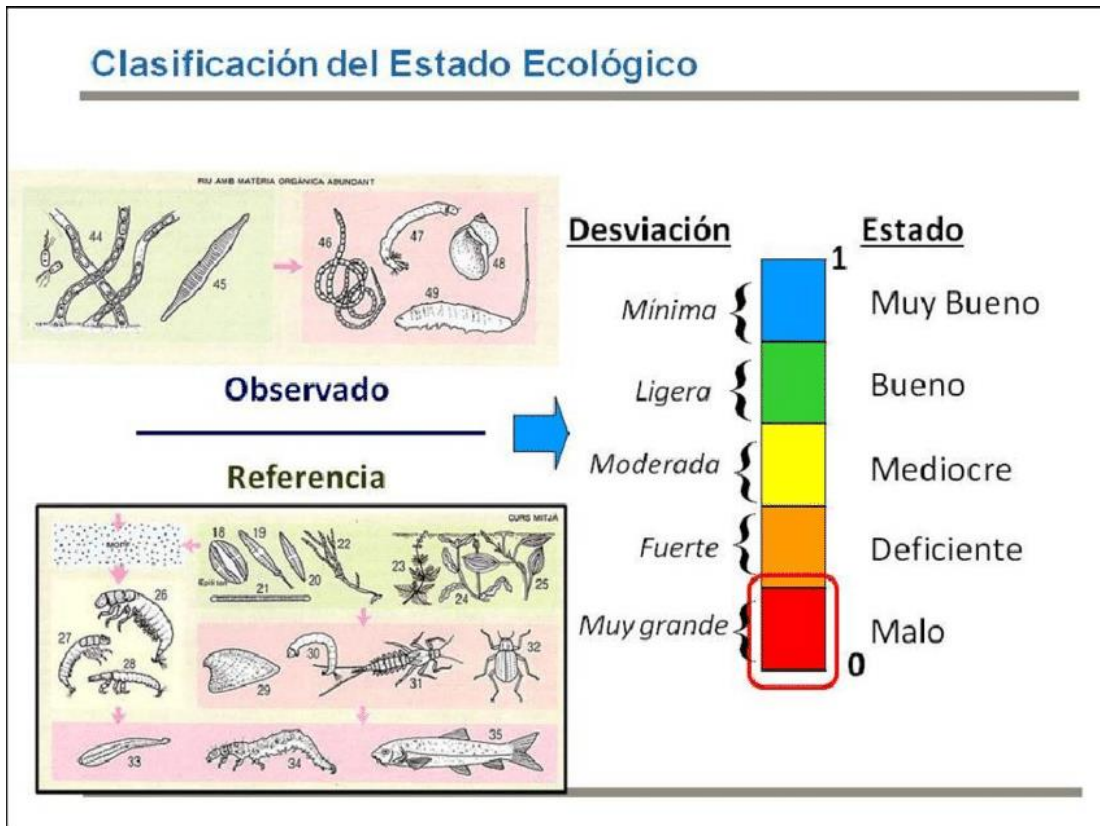


Imagen 9. Clasificación del estado ecológico, de un río. una nueva manera de valorar la calidad biológica que es comparar la comunidad que se encuentra en el río con la de referencia y así establecer la calidad en 5 niveles con cinco colores. En el caso que se muestra en la figura, la calidad sería mala puesto que la comunidad de organismos presentes es una parte muy reducida de lo que debería haber.

Fuente: Figura original dibujos realizados por Maria Rieradevall para la Història Natural dels Països Catalans.

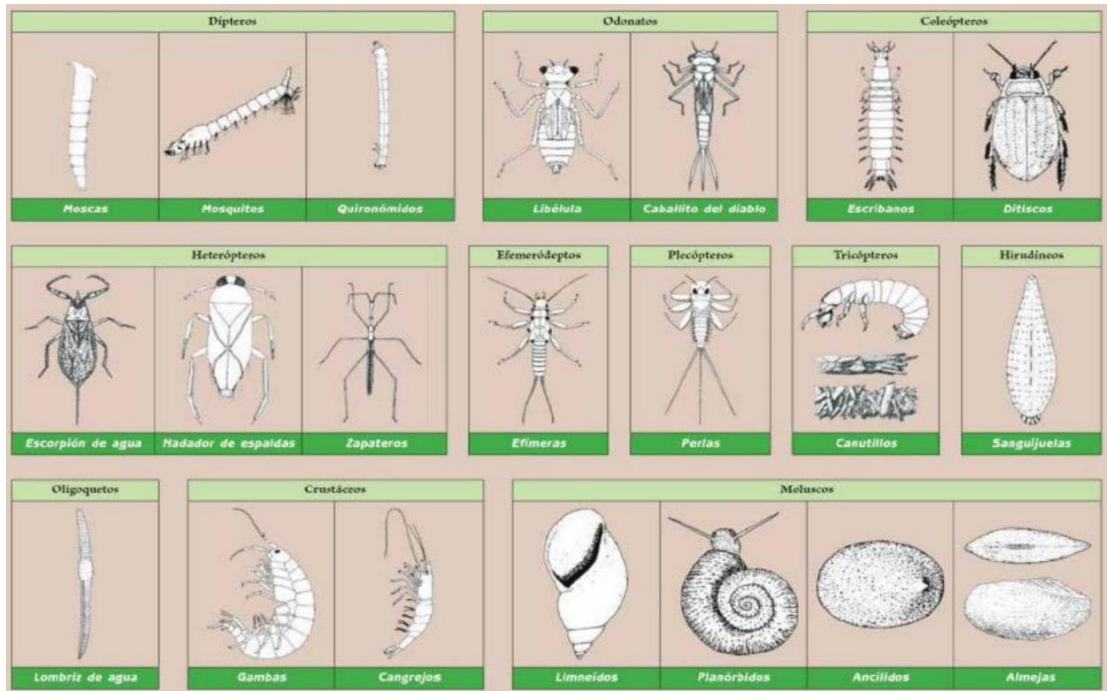


Imagen 10. Guía de identificación de macroinvertebrados bentónicos.

Fuente: Fichas disponibles en el programa DMCCA para la identificación de los diferentes taxones de macroinvertebrados.

INDICADOR del estado de salud del río

Jerarquización de niveles:

Determinaremos el estado de salud del río mediante la identificación de "indicadores", es decir, familias de invertebrados que tienen adjudicado un valor dentro de una escala, correspondiendo el nivel 1 a familias que no toleran la contaminación, y el nivel 5 a familias que viven en aguas muy contaminadas.

NIVEL 1: Indica buena salud.

NIVEL 2: Contaminación ocasional. Rápida recuperación.

NIVEL 3: Contaminación persistente. Recuperable.

NIVEL 4: Alta contaminación. Difícil recuperación.

NIVEL 5: Estado de salud muy grave.

	DÍPTEROS (Epheméridos)	PLECÓPTEROS	TRICÓPTEROS con estuche	EFEMERÓPT. (Ditricós)	PLANARIAS	COLEÓPTEROS Larva escarabajo (Ditricós)	GASTERÓPOD. (Limneidos)	DÍPTEROS (Simúlidos)	TRICÓPTEROS con estuche de seda	CRUSTÁCEOS (Gammarídeos)	GASTERÓPOD. Lapa de agua dulce (Pelecós)	EFEMERÓPT. (Baetídeos)	TRICÓPTEROS (Hydropsichídeos)	HIRUDÍNEO Sanguijuela	DÍPTERO VERDE (Quironómidos)	DÍPTERO ROJO (Quironómidos)	OLIGOQUETOS Lombrices	DÍPTEROS (Sifónidos)
1	●	●	●	●	●	●	●	●	●						●			
2						●	●	●	●	●	●	●	●		●			
3											●	●	●	●	●	●	●	
4																●	●	●
5																	●	●

financiación



¡ATENCIÓN!

Algunos organismos que viven en zonas sucias también pueden hacerlo en zonas limpias, mientras que otros característicos de aguas limpias no toleran la contaminación. Por ello adoptaremos siempre el mejor nivel como el más representativo de nuestro río.

Imagen 11. Puntuación para cálculos de indicadores del estado ecológico de un río.

Fuente: Gobierno de España. Ministerio del Medio Ambiente.

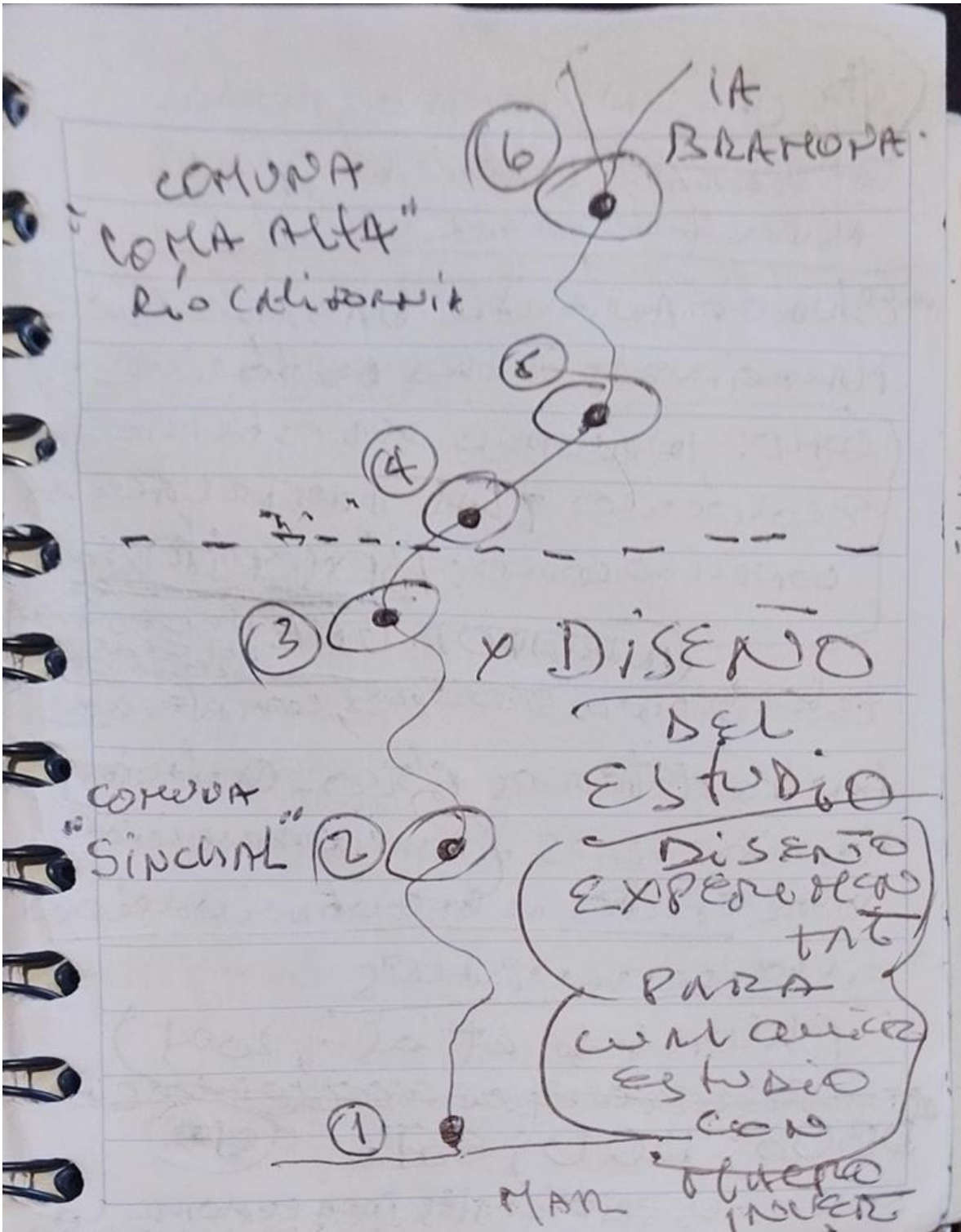


Foto 16. Bosquejo previo del diseño del estudio.

Fuente: Roberto A. Jiménez, 2024.



Foto 17. *Odontotaenius striatopunctatus*, Coleóptero, *Passalidae*, (Escarabajo de tierra), Loma Alta - río California. Fuente: Roberto A. Jiménez, 2024.



Foto 18 . *Strategus aloeus* (Hembra), Coleóptero, *Dynastidae*, (Escarabajo rinoceronte), Loma Alta - río California. Fuente: Roberto A. Jiménez, 2024.

INFORME DE ANALISIS SSA-13026-2024

1. Información general

SOLICITUD DE ANALISIS	SSA-13026-2024
FECHA DEL INFORME	jueves, 14 de noviembre de 2024

Datos del Cliente

NOMBRE DEL CLIENTE	Ing. Roberto Jiménez
NOMBRE DE LA EMPRESA	Roberto Alfredo Jiménez Martínez
DIRECCIÓN	LA PUNTILLA SAMBORONDON
TELEFONO	-

Datos de la muestra/ensayo

TIPO DE MUESTRA	AGUA		
DATOS DEL MUESTREO	Realizado por el cliente		
LUGAR DE MUESTREO	RÍO CALIFORNIA - COMUNA LOMA ALTA - SANTA ELENA		
FECHA DE MUESTREO	13/11/2024		
FECHA/HORA DE RECEPCION DE LA MUESTRA	13/11/2024	Hora:	15:00
FECHA DE ENSAYO	Inicio	13/11/2024	Fin: 14/11/2024
CONDICIONES AMBIENTALES	Temperatura (°C)	20	Humedad (%) 40

2. Resultados

CODIGO DE CLIENTE	CODIGO NG	Coliformes totales NMP/ml	Coliformes Fecales NMP/ml
Limite Loma Alta/Sinchal.	SSA-13026-2024	1.87 x 10 ³	-

RANGOS:

NORMAL: 10³ - 10⁴

PELIGROSO: > 10⁵



Sonny Mendoza Lombana Ph.D.
Gerente General - Jefa de Laboratorio

*Cda La Garzota II Mz 65 villa 6 (diagonal a Hotel Plaza Monte Carlos)
Telf. 5103890, Cel. 094816099
e.mail: sonny.mendoza@gmail.com
Guayaquil - ECUADOR*

Imagen 12: Informe de análisis ssa-13026-2024. Coliformes fecales (CF).

INFORME DE ANALISIS SSA-13026-2024

1. Información general

SOLICITUD DE ANALISIS	SSA-13026-2024
FECHA DEL INFORME	jueves, 14 de noviembre de 2024

Datos del Cliente

NOMBRE DEL CLIENTE	Ing. Roberto Jiménez
NOMBRE DE LA EMPRESA	Roberto Alfredo Jiménez Martínez
DIRECCIÓN	LA PUNTILLA SAMBORONDON
TELEFONO	-

Datos de la muestra/ensayo

TIPO DE MUESTRA	AGUA		
DATOS DEL MUESTREO	Realizado por el cliente		
LUGAR DE MUESTREO	RÍO CALIFORNIA - COMUNA LOMA ALTA - SANTA ELENA		
FECHA DE MUESTREO	13/11/2024		
FECHA/HORA DE RECEPCION DE LA MUESTRA	13/11/2024	Hora:	15:00
FECHA DE ENSAYO	Inicio	13/11/2024	Fin: 14/11/2024
CONDICIONES AMBIENTALES	Temperatura (°C)	20	Humedad (%) 40

2. Resultados

CODIGO DE CLIENTE	CODIGO NG	Coliformes totales NMP/ml	Coliformes Fecales NMP/ml
Loma Alta	SSA-13026-2024	-	-

RANGOS:

NORMAL: $10^3 - 10^4$

PELIGROSO: $> 10^5$



Sonny Mendoza Lombana Ph.D.
Gerente General - Jefa de Laboratorio

*Cda La Garzota II Mz 65 villa 6 (diagonal a Hotel Plaza Monte Carlos)
Telf. 5103890, Cel. 094816099
e.mail: sonny.mendoza@gmail.com
Guayaquil - ECUADOR*

Imagen 13: Informe de análisis ssa-13026-2024. Coliformes fecales (CF).

INFORME DE ANALISIS SSA-13026-2024

1. Información general

SOLICITUD DE ANALISIS	SSA-13026-2024
FECHA DEL INFORME	jueves, 14 de noviembre de 2024

Datos del Cliente

NOMBRE DEL CLIENTE	Ing. Roberto Jiménez
NOMBRE DE LA EMPRESA	Roberto Alfredo Jiménez Martínez
DIRECCIÓN	LA PUNTILLA SAMBORONDON
TELEFONO	-

Datos de la muestra/ensayo

TIPO DE MUESTRA	AGUA		
DATOS DEL MUESTREO	Realizado por el cliente		
LUGAR DE MUESTREO	RÍO CALIFORNIA - COMUNA LOMA ALTA - SANTA ELENA		
FECHA DE MUESTREO	13/11/2024		
FECHA/HORA DE RECEPCION DE LA MUESTRA	13/11/2024	Hora:	15:00
FECHA DE ENSAYO	Inicio	13/11/2024	Fin: 14/11/2024
CONDICIONES AMBIENTALES	Temperatura (°C)	20	Humedad (%) 40

2. Resultados

CODIGO DE CLIENTE	CODIGO NG	Coliformes totales NMP/ml	Coliformes Fecales NMP/ml
El Suspiro	SSA-13026-2024	-	-

RANGOS:

NORMAL: $10^3 - 10^4$

PELIGROSO: $> 10^5$



Sonny Mendoza Lombana Ph.D.
Gerente General - Jefa de Laboratorio

*Cda La Garzota II Mz 65 villa 6 (diagonal a Hotel Plaza Monte Carlos)
Telf. 5103890, Cel. 094816099
e.mail: sonny.mendoza@gmail.com
Guayaquil - ECUADOR*

Imagen 14: Informe de análisis ssa-13026-2024. Coliformes fecales.

INFORME DE ANALISIS SSA-13026-2024

1. Información general

SOLICITUD DE ANALISIS	SSA-13026-2024
FECHA DEL INFORME	jueves, 14 de noviembre de 2024

Datos del Cliente

NOMBRE DEL CLIENTE	Ing. Roberto Jiménez
NOMBRE DE LA EMPRESA	Roberto Alfredo Jiménez Martínez
DIRECCIÓN	LA PUNTILLA SAMBORONDON
TELEFONO	-

Datos de la muestra/ensayo

TIPO DE MUESTRA	AGUA		
DATOS DEL MUESTREO	Realizado por el cliente		
LUGAR DE MUESTREO	RÍO CALIFORNIA - COMUNA LOMA ALTA - SANTA ELENA		
FECHA DE MUESTREO	13/11/2024		
FECHA/HORA DE RECEPCION DE LA MUESTRA	13/11/2024	Hora:	15:00
FECHA DE ENSAYO	Inicio	13/11/2024	Fin: 14/11/2024
CONDICIONES AMBIENTALES	Temperatura (°C)	20	Humedad (%) 40

2. Resultados

CODIGO DE CLIENTE	CODIGO NG	Coliformes totales NMP/ml	Coliformes Fecales NMP/ml
La Bramona	SSA-13026-2024	-	-

RANGOS:

NORMAL: $10^3 - 10^4$

PELIGROSO: $> 10^5$



Sonny Mendoza Lombana Ph.D.
Gerente General - Jefa de Laboratorio

*Cda La Garzota II Mz 65 villa 6 (diagonal a Hotel Plaza Monte Carlos)
Telf. 5103890, Cel. 094816099
e.mail: sonny.mendoza@gmail.com
Guayaquil - ECUADOR*

Imagen 15: Informe de análisis ssa-13026-2024. Coliformes fecales (CF).