



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA POR BIOINDICADORES  
EN LA BOCATOMA UNO Y DOS EN EL SECTOR NOVILLO PUNGO,  
PARQUE NACIONAL LLANGANATES, 2024”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniera Ambiental

**Autora:**

Cóndor Trávez Dennise Tatiana

**Tutor:**

Clavijo Cevallos Manuel Patricio

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Agosto 2024**

## **DECLARACION DE AUTORIA**

Cóndor Trávez Dennise Tatiana, con cédula de ciudadanía No.0503903437, declaró ser la autora del presente Proyecto de Investigación: **“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA POR BIOINDICADORES EN LA BOCATOMA UNO Y DOS EN EL SECTOR DE NOVILLO PUNGO, PARQUE NACIONAL LLANGANATES, 2024”** siendo el Licenciado Ph.D. Manuel Patricio Clavijo Cevallos, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 12 de agosto del 2024



Dennise Tatiana Córdor Trávez

C.C: 0503903437

ESTUDIANTE

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CONDOR TRAVEZ DENNISE TATIANA** identificada con cédula de ciudadanía 0503903437 de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA POR BIOINDICADORES EN LA BOCATOMA UNO Y DOS EN EL SECTOR DE NOVILLO PUNGO, PARQUE NACIONAL LLANGANATES, 2024**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: octubre 2020 – marzo 2021

Finalización de la carrera: abril – agosto 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de febrero del 2024

Tutor: Lic. Manuel Patricio Clavijo Cevallos Ph.D.

Tema: “**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA POR BIOINDICADORES EN LA BOCATOMA UNO Y DOS EN EL SECTOR DE NOVILLO PUNGO, PARQUE NACIONAL LLANGANATES, 2024**”

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitaré.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de agosto del 2024.



Dennise Tatiana Córdor Trávez  
**LA CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

**“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA POR BIOINDICADORES EN LA BOCATOMA UNO Y DOS EN EL SECTOR DE NOVILLO PUNGO, PARQUE NACIONAL LLANGANATES, 2024”**, de Córdor Trávez Dennise Tatiana, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa

Latacunga, 12 de agosto del 2024



Manuel Patricio Clavijo Cevallos, Ph.D.  
C.C: 0501444582  
**DOCENTE TUTOR**

## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Cándor Trávez Dennise Tatiana con el título del Proyecto de Investigación: “DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA POR BIOINDICADORES EN LA BOCATOMA UNO Y DOS EN EL SECTOR DE NOVILLO PUNGO, PARQUE NACIONAL LLANGANATES, 2024”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.


Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 12 de agosto del 2024




José Andrade Valencia, Ph.D.  
CC: 0502524481

**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, M.Sc.  
C.C: 0502205164

**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Ing. Jaime Rene Lema Pillalaza, M.Sc.  
CC: 1713759932

**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor de tesis, mi maestro, PhD. Patricio Clavijo quien en todo mi camino ha sido un guía, por su paciencia y apoyo incondicional. Sus conocimientos han sido esenciales para la culminación exitosa de mi carrera.*

*Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, y en especial a la carrera de Ingeniería Ambiental, por abrirme las puertas y permitirme adquirir conocimientos formarme como profesional, así como también a los docentes que han sido parte de mi formación académica impartiendo su sabiduría a lo largo de mi carrera universitaria.*

*A mis padres en especial a mi madre quien ha sido el pilar fundamental de apoyo y amor incondicional, quien, en base a su esfuerzo y sacrificio hoy su hija puede culminar mis estudios y alcanzar sus logros.*

*A mis hermanos quienes siempre me han demostrado su apoyo, quienes a pesar de las dificultades nunca me han dejado sola.*

*A mis mejores amigos Jesús y Sofía, quienes me han acompañado en este largo camino y han hecho que cada día sea agradable junto a su compañía, quienes han estado conmigo en los buenos y malos momentos.*

## ***DEDICATORIA***

*A mis queridos sobrinos quienes en tan pequeña edad me han demostrado su amor y apoyo, en especial a Dominick, por ser el motivo principal de este logro, quien me ha brindado paz en momentos difíciles siendo una constante fuente de alegría constante, porque me ha demostrado que tener una condición física distinta no nos impide cumplir nuestros sueños, a mi madre Leonor, porque cada logro obtenido ha sido gracias a su esfuerzo. Gracias por ser mi mayor apoyo y enseñarme a ser perseverante, este logro es tanto suyo como mío.*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TEMA:** “DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA POR BIOINDICADORES EN LA BOCATOMA UNO Y DOS EN EL SECTOR DE NOVILLO PUNGO, PARQUE NACIONAL LLANGANATES, 2024”

**Autora:**

Córdor Trávez Dennise Tatiana

**RESUMEN**

La calidad del agua es un factor crucial para la salud de los ecosistemas y el bienestar humano, en especial en áreas protegidas como el Parque Nacional Llanganates. Este parque es conocido por su rica biodiversidad y la importancia de sus recursos hídricos para la vida silvestre y las comunidades locales. En ese sentido, la evaluación de la calidad de agua en las bocatomas uno y dos del sector Novillo Pungo se vuelve crucial. La presente investigación se centra en determinar la calidad del agua utilizando una combinación de métodos biológicos, físico-químicos y microbiológicos, haciendo énfasis en el uso de macroinvertebrados como bioindicadores. En el sector Novillo Pungo se identificaron 1195 individuos de macroinvertebrados distribuidos en 20 familias. Los resultados para los índices ETP, BMWP/COL y ABI fueron para EPT mayores al 50%, para BMWP/COL se obtuvo un puntaje mayor a 101, y para ABI una calificación mayor a 52, mismos que indican que la calidad de agua en los puntos muestreados es buena, esto se debe a la presencia de macroinvertebrados no tolerantes a la contaminación. Esta diversidad biológica indica un ecosistema acuático saludable y bien equilibrado. Los análisis físico-químicos y microbiológicos proporcionan información adicional corroborando los resultados obtenidos mediante la evaluación de macroinvertebrados. Los resultados obtenidos del ICA – NSF indican que la calidad del agua de acuerdo a la clasificación está dentro del rango de una buena calidad de agua obteniendo un valor de 76.61 y 72.69 para la bocatoma uno y dos respectivamente, de la misma manera los parámetros analizados correspondientes al ICA, mostraron que de los ocho parámetros analizados uno no cumplía con los límites permisibles que establece la legislación ambiental vigente. Aunque el Oxígeno disuelto fue el único parámetro que no cumplía con los límites permisibles establecidos en la tabla 2 del Acuerdo Ministerial 097-A, se contrastó sus resultados con la tabla 3 de la normativa evidenciando que los valores son aptos para la vida acuática. Pudiendo concluir que, la calidad del agua es apta para la implementación de un sistema de riego. Además, la integración de estos métodos de análisis proporciona la evaluación integral de la calidad del agua, así como también el enfoque multidireccional en el monitoreo ambiental.

**Palabras clave:** ecosistemas, índices biológicos, macroinvertebrados, monitoreo ambiental, normativa ambiental.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES**

**TOPIC:** “DETERMINATION OF WATER QUALITY THROUGH BIOINDICATORS AT INTAKE STRUCTURES ONE AND TWO IN THE NOVILLO PUNGO SECTOR, LLANGANATES NATIONAL PARK, 2024”

**Author:**  
Cóndor Trávez Dennise Tatiana

**ABSTRACT**

Water quality is a crucial factor for the health of ecosystems and human well-being, especially in protected areas such as Llanganates National Park. This park is renowned for its rich biodiversity and the significance of its water resources for wildlife and local communities. In this context, assessing water quality at intake points one and two in the Novillo Pungo sector becomes essential.

This research focuses on determining water quality through a combination of biological, physicochemical, and microbiological methods, emphasizing the use of macroinvertebrates as bioindicators. In the Novillo Pungo sector, 1,195 macroinvertebrate individuals were identified, and distributed across 20 families. The results for the EPT, BMWP/COL, and ABI indices showed EPT values exceeding 50%, a BMWP/COL score greater than 101, and an ABI rating above 52, indicating that the water quality at the sampled points is good, attributed to the presence of macroinvertebrates that are not tolerant to pollution. This biological diversity suggests a healthy and well-balanced aquatic ecosystem.

Physicochemical and microbiological analyses provide additional information that corroborates the results obtained through macroinvertebrate evaluation. The results from the ICA–NSF indicate that the water quality, according to classification, falls within the range of good quality, with values of 76.61 and 72.69 for intake points one and two, respectively. Furthermore, among the eight parameters analyzed according to the ICA, one did not meet the permissible limits established by current environmental legislation.

Although dissolved oxygen was the only parameter that did not comply with the permissible limits outlined in Table 2 of Ministerial Agreement 097-A, its results were compared with Table 3 of the regulations, demonstrating that the values are suitable for aquatic life. It can be concluded that the water quality is adequate for the implementation of an irrigation system. Additionally, the integration of these analytical methods provides a comprehensive assessment of water quality, as well as a multidirectional approach to environmental monitoring.

**Keywords:** Ecosystems, Biological Indices, Macroinvertebrates, Environmental Monitoring, Environmental Regulations.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| DECLARACION DE AUTORIA .....  | ii                                   |
| CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....                         | iii                                  |
| AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....                                 | v                                    |
| AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....                               | vi                                   |
| <i>AGRADECIMIENTO</i> .....   | vii                                  |
| <i>DEDICATORIA</i> .....  | viii                                 |
| RESUMEN .....   | ix                                   |
| ABSTRACT .....  | x                                    |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | xvi                                  |
| ÍNDICE DE TABLAS.....   | xviii                                |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 1. INFORMACIÓN GENERAL.....   | 1                                    |
| 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....  | 2                                    |
| 3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....   | 3                                    |
| 4. PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN .....   | 4                                    |
| 5. OBJETIVOS.....   | 5                                    |
| 5.1. General.....   | 5                                    |
| 5.2. Específicos .....  | 5                                    |
| 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS<br>PLANTEADOS..... | 6                                    |
| 7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO – TÉCNICA .....                                      | 60                                   |
| 7.1. Agua.....  | 60                                   |
| 7.2. Calidad de agua.....   | 60                                   |
| 7.3. Contaminación del agua.....  | 61                                   |
| 7.5. Contaminación química .....  | 61                                   |
| 7.6. Bioindicadores de calidad de agua.....                                       | 62                                   |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 7.7.     | Macroinvertebrados .....                            | 62 |
| 7.8.     | Macroinvertebrados como bioindicadores .....        | 63 |
| 7.9.     | Identificación de macroinvertebrados .....          | 64 |
| 7.9.1.   | Clasificación de los macroinvertebrados .....       | 65 |
| 7.10.    | Índices de calidad de agua por bioindicadores ..... | 68 |
| 7.10.1.  | Índice EPT .....                                    | 68 |
| 7.10.2.  | Índice BMWP/COL .....                               | 71 |
| 7.10.3.  | Índice Biológico Andino (ABI) .....                 | 73 |
| 7.10.4.  | Índice de Diversidad de SHANNON - WEAVER. ....      | 75 |
| 7.10.5.  | Índice de SIMPSON. ....                             | 76 |
| 7.11.    | Índice de calidad de agua ICA – NSF .....           | 77 |
| 7.12.    | Parámetros de calidad de agua .....                 | 78 |
| 7.12.1.  | Oxígeno disuelto .....                              | 78 |
| 7.12.2.  | Coliformes fecales .....                            | 78 |
| 7.12.3.  | pH.....   | 79 |
| 7.12.4.  | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) .....           | 79 |
| 7.12.5.  | Demanda Química de Oxígeno (DQO).....               | 79 |
| 7.12.6.  | Nitratos.....                                       | 79 |
| 7.12.7.  | Fosfatos .....                                      | 80 |
| 7.12.8.  | Temperatura .....                                   | 80 |
| 7.12.9.  | Turbidez .....                                      | 80 |
| 7.12.10. | Conductividad Eléctrica.....                        | 80 |
| 7.12.11. | Sólidos Totales Disueltos.....                      | 80 |
| 7.13.    | Marco Legal .....                                   | 81 |
| 7.13.1.  | Constitución de la República del Ecuador.....       | 81 |
| 7.13.2.  | Código Orgánico del Ambiente (COA).....             | 83 |
| 7.13.3.  | Código Orgánico Integral Penal (COIP).....          | 84 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 7.13.4. | Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y Aprovechamiento del Agua .....                   | 84 |
| 7.13.5. | Ley de Gestión Ambiental .....   | 85 |
| 7.13.6. | Acuerdo ministerial 097- A (2015).....   | 85 |
| 8.      | PREGUNTAS CIENTÍFICAS .....  | 86 |
| 9.      | METODOLOGÍA .....  | 87 |
| 9.1.    | Enfoque de la investigación .....  | 87 |
| 9.1.1.  | Enfoque cualitativo.....   | 87 |
| 9.2.    | Tipo de investigación.....   | 87 |
| 9.2.1.  | Investigación descriptiva .....  | 87 |
| 9.3.    | Métodos .....  | 88 |
| 9.3.1.  | Método inductivo.....  | 88 |
| 9.3.2.  | Método deductivo.....  | 88 |
| 9.4.    | Técnicas .....   | 88 |
| 9.4.1.  | Técnicas de observación .....  | 88 |
| 9.4.2.  | Técnica de revisión bibliográfica .....  | 89 |
| 9.4.3.  | Técnicas de laboratorio.....   | 89 |
| 9.5.    | Instrumentos.....  | 89 |
| 9.5.1.  | Materiales y equipos para la recolección, identificación y etiquetado de las muestras..... | 89 |
| 9.6.    | Recolección y muestreo de macroinvertebrados .....   | 90 |
| 9.7.    | Identificación de macroinvertebrados.....  | 91 |
| 9.7.1.  | Procedimiento para la recolección de macroinvertebrados .....                              | 91 |
| 9.8.    | Cálculo del índice EPT .....   | 91 |
| 9.9.    | Cálculo del índice BMWP/COL .....  | 91 |
| 9.10.   | Cálculo del índice ABI.....  | 92 |
| 9.11.   | Cálculo del índice de biodiversidad SHANNON-WEAVER .....                                   | 92 |
| 9.12.   | Cálculo del índice de biodiversidad SIMPSON .....  | 93 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 9.13.    | Recolección de muestras de agua para el análisis físico-químico y microbiológico  | 93  |
| 9.13.1.  | Procedimiento para la recolección de muestras de agua.....  | 93  |
| 9.14.    | Cálculo del modelo matemático ICA – NSF.....  | 94  |
| 10.      | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....  | 102 |
| A.       | Determinación del área de estudio por medio de puntos georreferenciados .....   | 102 |
| 10.1.    | Área de Estudio .....   | 102 |
| 10.2.    | Selección de puntos de muestreo .....   | 103 |
| 10.3.    | Georreferenciación de los puntos de muestreo .....  | 108 |
| B.       | Diagnóstico de la calidad de agua de la bocatoma uno y dos del sector Novillo Pungo, Nacional Llanganates mediante el análisis físico-químico y microbiológico, utilizando la diversidad de macroinvertebrados como bioindicadores..... | 109 |
| 10.4.    | Índices de calidad de agua por macroinvertebrados.....  | 109 |
| 10.4.1.  | Calidad de agua de las bocatomas uno y dos en el mes de mayo .....  | 109 |
| 10.4.2.  | Calidad de agua de las bocatomas uno y dos en el mes de junio.....  | 91  |
| 10.5.    | Resultados Físicos químicos y microbiológicos .....   | 93  |
| 10.5.1.  | Coliformes Fecales .....  | 93  |
| 10.5.2.  | pH.....   | 94  |
| 10.5.3.  | Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....   | 95  |
| 10.5.4.  | Demanda Química de Oxígeno (DQO).....   | 96  |
| 10.5.5.  | Nitratos.....   | 96  |
| 10.5.6.  | Temperatura .....   | 97  |
| 10.5.7.  | Turbidez .....  | 98  |
| 10.5.8.  | Sólidos Disueltos Totales.....  | 99  |
| 10.5.9.  | Oxígeno disuelto .....  | 100 |
| 10.5.10. | Conductividad eléctrica .....   | 101 |
| 10.6.    | Índice de calidad de agua ICA – NSF.....  | 101 |

|       |   |                                      |
|-------|---|--------------------------------------|
| C.    | Comparación de los resultados obtenidos de bioindicadores con análisis físico-químicos y microbiológicos sobre la calidad de agua. .... | 102                                  |
| 10.7. | Resultados de la comparación de índices de macroinvertebrados e ICA – NSF .   | 102                                  |
| 11.   | IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS) .....   | 105                                  |
| 11.1. | Técnicos .....  | 105                                  |
| 11.2. | Sociales.....   | 105                                  |
| 11.3. | Ambientales.....  | 105                                  |
| 11.4. | Económicos .....  | 106                                  |
| 12.   | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....  | 107                                  |
| 12.1. | Conclusiones .....  | 107                                  |
| 11.1. | Recomendaciones.....  | 108                                  |
| 13.   | BIBLIOGRAFÍA .....  | 109                                  |
| 14.   | ANEXOS .....  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 1.</b> Valoración de la calidad de agua en relación a coliformes fecales.....                                      | 96  |
| <b>Figura 2.</b> Valoración de la calidad de agua en relación con el pH .....  | 97  |
| <b>Figura 3.</b> Valoración de la calidad de agua en relación al DBO <sub>5</sub> .....                                      | 97  |
| <b>Figura 4.</b> Valoración de la calidad de agua en relación a nitratos .....   | 98  |
| <b>Figura 5.</b> Valoración de la calidad de agua en relación a fosfatos .....   | 99  |
| <b>Figura 6.</b> Valoración de la calidad de agua en relación a la temperatura.....  | 99  |
| <b>Figura 7.</b> Valoración de la calidad de agua en relación a la turbidez.....   | 100 |
| <b>Figura 8.</b> Valoración de la calidad de agua en relación a sólidos disueltos totales.....                               | 101 |
| <b>Figura 9.</b> Valoración de la calidad de agua en relación al oxígeno disuelto .....                                      | 102 |
| <b>Figura 10.</b> Mapa de ubicación de la bocatoma uno y dos .....   | 103 |
| <b>Figura 11.</b> Ubicación geográfica del P01 de la bocatoma uno .....  | 105 |
| <b>Figura 12.</b> Ubicación geográfica del P02 de la bocatoma uno .....  | 106 |
| <b>Figura 13.</b> Ubicación geográfica del P01 de la bocatoma dos .....  | 107 |
| <b>Figura 14.</b> Ubicación geográfica del P04 de la bocatoma dos .....  | 108 |
| <b>Figura 15.</b> Comparación del parámetro Coliformes Fecales de la bocatoma uno y dos con límites permisibles.....         | 93  |
| <b>Figura 16.</b> Comparación del parámetro pH de la bocatoma uno y dos con límites permisibles .....                        | 94  |
| <b>Figura 17.</b> Comparación del parámetro DBO <sub>5</sub> de la bocatoma uno y dos con límites permisibles.....           | 95  |
| <b>Figura 18.</b> Comparación del parámetro DQO de la bocatoma uno y dos con límites permisibles.....                        | 96  |
| <b>Figura 19.</b> Comparación del parámetro Nitratos de la bocatoma uno y dos con límites permisibles.....                   | 96  |
| <b>Figura 20.</b> Comparación del parámetro Temperatura de la bocatoma uno y dos con límites permisibles.....                | 97  |
| <b>Figura 21.</b> Comparación del parámetro Turbidez de la bocatoma uno y dos con límites permisibles.....                   | 98  |
| <b>Figura 22.</b> Comparación del parámetro Solidos Disueltos Totales de la bocatoma uno y dos con límites permisibles ..... | 99  |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 23.</b> Comparación del parámetro Oxígeno Disuelto de la bocatoma uno y dos con límites permisibles.....         | 100 |
| <b>Figura 24.</b> Comparación del parámetro Conductividad Eléctrica de la bocatoma uno y dos con límites permisibles ..... | 101 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Beneficiarios del proyecto .....  | 3   |
| <b>Tabla 2.</b> Actividades de acuerdo a los objetivos .....  | 6   |
| <b>Tabla 3.</b> Principales grupos de macroinvertebrados .....  | 63  |
| <b>Tabla 4.</b> Tipos de macroinvertebrados de acuerdo a la altitud .....   | 65  |
| <b>Tabla 5.</b> Clasificación de Macroinvertebrados .....   | 67  |
| <b>Tabla 6.</b> Familias del índice EPT.....  | 69  |
| <b>Tabla 7.</b> Cálculo del índice ETP.....   | 70  |
| <b>Tabla 8.</b> Valoración de la Calidad de Agua según método EPT .....   | 70  |
| <b>Tabla 9.</b> Familias del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) .....  | 72  |
| <b>Tabla 10.</b> Rangos de calidad del agua de acuerdo al índice BMWP .....   | 73  |
| <b>Tabla 11.</b> Rangos de calidad de agua según el índice ABI.....   | 73  |
| <b>Tabla 12.</b> Puntuación para macroinvertebrados según el índice ABI.....  | 73  |
| <b>Tabla 13.</b> Clasificación de la biodiversidad según el índice de Shannon – Weaver. ....                                    | 76  |
| <b>Tabla 14.</b> Clasificación de la biodiversidad según el índice de Simpson.....  | 77  |
| <b>Tabla 15.</b> Clasificación de “ICA” propuesto por Brown.....  | 78  |
| <b>Tabla 16.</b> Materiales y equipos utilizados para el muestreo de macroinvertebrados .....                                   | 90  |
| <b>Tabla 17.</b> Parámetros físicos, químicos y microbiológicos de calidad de agua .....  | 94  |
| <b>Tabla 18.</b> Pesos relativos para los parámetros del “ICA”.....   | 95  |
| <b>Tabla 19.</b> Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo .....  | 104 |
| <b>Tabla 20.</b> Resultados de la calidad de agua por macroinvertebrados e índices de diversidad en el mes de mayo .....        | 109 |
| <b>Tabla 21.</b> Macroinvertebrados recolectados en la bocatoma uno y dos en el mes de mayo .                                   | 111 |
| <b>Tabla 22.</b> Resultados de la calidad de agua de agua por macroinvertebrados e índices de diversidad en el mes de mayo..... | 91  |
| <b>Tabla 23.</b> Macroinvertebrados recolectados en la bocatoma uno y dos en el mes de junio ....                               | 92  |
| <b>Tabla 24.</b> Calidad de agua según el índice ICA – NSF .....  | 102 |
| <b>Tabla 25.</b> Comparación de análisis físicos – químicos, microbiológicos, ICA e índices biológicos .....                    | 103 |

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### TÍTULO DEL PROYECTO

“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA POR BIOINDICADORES EN LA BOCATOMA UNO Y DOS EN EL SECTOR DE NOVILLO PUNGO, PARQUE NACIONAL LLANGANATES, 2024”

**Fecha de Inicio:** febrero del 2024

**Fecha de finalización:** agosto 2024

### Lugar de ejecución:

Proyecto de riego sector Novillo Pungo en el parque Nacional Llanganates, Provincia de Napo, cantón Tena.

### Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

### Carrera que auspicia:

Ingeniería Ambiental

### Proyecto de investigación vinculado:

Sostenibilidad ambiental

### Equipo de Trabajo:

**Autor:** Cóndor Trávez Denisse Tatiana

**Tutor:** Ph.D. Clavijo Cevallos Patricio

### Área de conocimiento

Medio ambiente, Ciencias Ambientales.

**LECTOR 1:** Ph.D José Antonio Andrade Valencia

**LECTOR 2:** M.Sc. Isaac Eduardo Cajas Cayo

**LECTOR 3:** M.Sc. Jaime Rene Lema Pillalaza

### Línea de investigación:

Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local

### Sub líneas de investigación de la Carrera:

Sostenibilidad ambiental

### Sub líneas de vinculación de la carrera

Gestión de Recursos Naturales, Impactos, Análisis metodológico sobre sostenibilidad ambiental para el desarrollo humano social

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La calidad del agua es parte fundamental para el desarrollo de los organismos acuáticos y la salud humana, el agua es un elemento indispensable para el desarrollo de la humanidad, es uno de los elementos que se encuentra en mayor cantidad en el planeta. A medida que la población se desarrolla y va en aumento, en el uso del recurso hídrico aumenta, pero a su vez los impactos negativos que se generan en las cuencas hidrográficas también van en aumento, esto por el mal uso del recurso y la actividad humana indiscriminada como la contaminación de cuerpos de agua por descargas de aguas residuales domésticas o industriales y actividades agrícolas (Valle, 2017).

El Parque Nacional Llanganates se aloja una gran variedad de ecosistemas acuáticos siendo un valioso recurso natural que preserva la biodiversidad. El estudio realizado de la calidad de agua en el Parque Nacional Llanganates contribuye al conocimiento científico, así como la necesidad urgente de asumir el reto de mejorar la calidad del recurso hídrico de lagos, ríos, acuíferos entre otros. La presencia de cambios en la calidad del agua puede llegar a afectar al desarrollo sostenible del parque, así como también a la pérdida de ecosistemas acuáticos.

Actualmente los macroinvertebrados son importantes para conocer la calidad del agua, debido a que estos son organismos tolerantes a cambios repentinos en el ambiente, por lo que son excelentes indicadores biológicos para la determinación de la calidad del agua. La utilización de macroinvertebrados permitió evaluar la salud del agua del sector Novillo Pungo y la conservación del patrimonio natural. En efecto los macroinvertebrados existentes en el Parque Nacional Llanganates permitieron evaluar cuantitativa y cualitativamente la calidad del agua y los impactos a los que está sometida por actividades humanas (Roldán, 2016). Es por ello que se usan para identificar si el cauce hídrico tiene algún tipo de contaminación por la presencia de macroinvertebrados.

Los resultados obtenidos de la presente investigación permitieron la creación de políticas ambientales locales, así como el adecuado manejo de las bocatomas a fin de preservar los recursos ambientales, la conservación de ecosistemas acuáticos y la salud humana, aprovechando el recurso hídrico destinado para sus actividades diarias de sectores aledaños al Parque Nacional Llanganates. Además, los índices BMWP, EPT Y ABI facilitaron conocer la calidad de agua de la bocatoma uno y dos.

Por lo antes expuesto, es necesario la realización de proyectos que contribuyan a la conservación del medio ambiente, así como también a la vinculación de la universidad con la sociedad, teniendo una idea más clara de los problemas ambientales que existen, así mismo promoviendo nuevas iniciativas y comprometiéndonos como nuevos profesionales al desarrollo del país en el ámbito social, económico y ambiental.

### 3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

**Tabla 1.**

*Beneficiarios del proyecto*

| <b>BENEFICIARIO DIRECTOS</b>                    |        | <b>BENEFICIARIOS INDIRECTOS</b>       |         |
|---|--------|---------------------------------------|---------|
| <b>Población de la parroquia Juan Montalvo</b>  |        | <b>Población del cantón Latacunga</b> |         |
| Hombres:  | 6.782  | Hombres:                              | 82.301  |
| Mujeres:  | 7.197  | Mujeres:                              | 88.188  |
| <b>Población de la parroquia Ignacio Flores</b> |        |                                       |         |
| Hombres:  | 5.778  |                                       |         |
| Mujeres:  | 6.310  |                                       |         |
| <b>Total:</b>                                   | 19.291 | <b>Total:</b>                         | 170.489 |

*Nota.* La presente tabla muestra los beneficiarios del proyecto de riego Novillo Pungo, desglosados en directos e indirectos y se clasifica en hombres y mujeres. **Fuente:**(INEC, 2010)

#### **4. PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN**

A nivel mundial los principales problemas de contaminación son los que sufren los cuerpos de agua dulce, además de ser un aporte paisajístico, fuente de vida, son los ecosistemas más vulnerables a la contaminación causada por la humanidad, estos modifican el estado natural del agua generando la pérdida de la calidad de la misma (Arango, 2013).

El presente proyecto se encuentra en el sector de Novillo Pungo en el Parque Nacional Llanganates, ubicado en cuatro provincias del Ecuador siendo estas: Cotopaxi, Tungurahua, Napo y Pastaza. Se extiende por una zona montañosa donde el pastoreo de ganado bravo de las comunidades aledañas describe una gran amenaza para la alteración de la calidad del agua, esto debido a los agentes químicos a los que están expuestos los animales, siendo estos expulsados a través de las heces los cuales tienen contacto con la tierra y por acción de los factores climáticos terminan en las fuentes de agua.

A pesar de lo importante que es la calidad del agua en el sector antes mencionado específicamente en el sector de Novillo Pungo, este no dispone de estudios exhaustivos anteriormente realizados que evalúen la calidad del agua utilizando bioindicadores como macroinvertebrados. Los mismos son sensibles a los cambios de calidad del agua e indican la salud de los ecosistemas acuáticos. Dado que, al ser un lugar destinado al turismo, puede verse afectado por actividades antropogénicas causando la contaminación y degradación de los recursos naturales especialmente los cuerpos de agua dulce presentes en el Parque Nacional Llanganates.

En consecuencia, existe la necesidad de obtener información a través de la aplicación de macroinvertebrados como indicadores biológicos. A causa de esta aplicación las personas podrán identificar las amenazas ambientales existentes, tomando así medidas correctivas para proteger mejorar la calidad del agua del Parque Nacional Llanganates, asegurando la sostenibilidad del recurso hídrico y la protección de la biodiversidad de los ecosistemas presentes.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

- Evaluar la calidad de agua por bioindicadores de la bocatoma uno y dos en el sector de Novillo Pungo en el parque nacional Llanganates, Provincia de Napo cantón Tena.

### **5.2. Específicos**

- Determinar el área establecida por medio de puntos georreferenciados.
- Diagnosticar la calidad de agua de la bocatoma uno y dos del sector Novillo Pungo, Parque Nacional Llanganates mediante el análisis físico-químico y microbiológico, utilizando la diversidad de macroinvertebrados como bioindicadores.
- Comparar los resultados obtenidos de bioindicadores con análisis físicos, químicos y microbiológicos sobre la calidad del agua.

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 2.**

*Actividades de acuerdo a los objetivos*

| <b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b>   | <b>METODOLOGÍA</b>  | <b>ACTIVIDADES</b>  | <b>RESULTADO ESPERADO</b>  |
|--|---|---|--|
| - Determinar el área establecida por medio de puntos georreferenciados.  | - Recorrido por los lugares de fácil acceso para el monitoreo y muestreo.   | - Identificación de las bocatomas uno y dos para el monitoreo y muestreo.   | - Puntos de georreferenciación área de estudio.  |
| - Diagnosticar la calidad de agua de la bocatoma uno y dos del sector Novillo Pungo, Parque Nacional Llanganates mediante el análisis físico-químico y microbiológico, utilizando la diversidad de macroinvertebrados como bioindicadores. | - En la toma de muestra se hace uso de la normativa para: calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo NTE INEN 2176:2013 y para: calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras NTE INEN 2169:13<br>- Red de patada, consiste en remover el fondo del río con el pie, para posteriormente atrapar los | - Toma y traslado de las muestras de agua al laboratorio para su análisis.<br>- Extracción, reconocimiento y cuantificación de las especies de macroinvertebrados, para la obtención de los índices correspondientes. | - Datos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.<br>- Identificación de la clase, orden y familia de macroinvertebrados presentes en los cauces del área de estudio. |

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
|   | <p>macroinvertebrados en una red</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recolección de información taxonómica de macroinvertebrados acuáticos de agua dulce para la identificación.</li> <li>- Cálculo de los índices usando tablas de valoración de calidad agua correspondiente a cada índice.</li> </ul> |  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparar los resultados obtenidos de bioindicadores con análisis físicos, químicos y microbiológicos sobre la calidad del agua.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparación de los resultados de acuerdo a los valores obtenidos de los análisis físicos, químicos y microbiológicos con la norma ambiental y los macroinvertebrados identificados.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de los resultados obtenidos con la norma ambiental, Libro VI Anexo I tabla 3 “Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego” TULSMA.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinación de la calidad del agua de las bocatomas uno y dos del sector Novillo Pungo. Del Parque Nacional Llanganates</li> </ul> |

## **7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO – TÉCNICA**

### **7.1. Agua**

En muchas partes del mundo, el agua se está volviendo cada vez más escasa debido al aumento de la población y las actividades humanas, como el uso doméstico, industrial, agrícola, ganadero y minero. Esta situación ha generado una gran demanda y la necesidad de encontrar nuevas fuentes de suministro. Como resultado, el agua se ha convertido en un recurso extremadamente valioso que debemos conservar para garantizar la distribución continua y asegurar la vida en las zonas urbanas (Gastañaga, 2018).

Esta se encuentra distribuida de la siguiente manera: el 97.5% del agua del planeta se encuentra en los océanos, el 2.5% pertenece a agua dulce, el 80% de agua dulce está distribuida en glaciares, nieve y hielo. El 19 % corresponde al agua subterránea y tan solo en 1% es la que encontramos disponible principalmente el 52% en lagos y el 8% en humedales (Cirelli, 2012).

El agua es un elemento fundamental para la existencia y supervivencia de todos los organismos vivos de la tierra, es un elemento usado en múltiples actividades, desde ser fuente de la producción agrícola, hasta para la generación de energía hidroeléctrica. Es por ello que se deben establecer regulaciones en función de su uso.

### **7.2. Calidad de agua**

Se determina calidad de agua al análisis de las características microbiológicas de una muestra de agua mediante la evaluación de parámetros de calidad o estándares. Estas normas se basan en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables para el consumo humano como para organismos acuáticos (Terneus & Yanez, 2018).

La calidad del agua tiene una amplia relación con la salud, es claro que esta es una prioridad sanitaria. Además, la Organización mundial de la salud OMS encuentra que la relación entre estas se ve directamente relacionada con la pobreza (Chávez, 2018). Por tal motivo, Briñez et al., (2012), indica la importancia del control de la calidad de agua para el consumo humano es aportar con información que permita la toma de decisiones para el mejoramiento de la calidad, de tal manera

que proporcione beneficios a la calidad y reducir la probable transmisión de enfermedades por agua contaminada.

### **7.3. Contaminación del agua**

Según la Organización Mundial de la Salud (2019). El agua contaminada es aquella cuya "composición haya sido modificada de modo que no reúna las condiciones para el uso que se le hubiera destinado en su estado natural". Así como la contaminación es la alteración de los diferentes ecosistemas en general, la polución del agua se podría decir que hace referencia a la alteración del estado natural de la misma, perjudicando a los seres vivos que habitan en ella y a los que la ingieren.

Los contaminantes son resultados de las actividades antropogénicas como la quema de combustibles fósiles, la minería, el riego con aguas residuales, siendo los ríos y arroyos los ecosistemas más afectados. Dado que estas son las fuentes para el consumo, riego y desarrollo sustentable y a la vez siendo utilizadas como punto final de efluentes industriales. Además otros factores perjudiciales son el aumento de labores agrícolas, exceso uso de pesticidas y fertilizantes (Velázquez et al., 2022).

### **7.4. Fuentes de contaminación**

La contaminación de aguas puede producirse por ciertas causas de la naturaleza o distintos procesos producidos por el hombre. Las contaminaciones antropogénicas producidas por diferentes industrias, frenadoras, actividades mineras, petroleras comerciales, desechos domésticos, plásticos entre otras, estas sustancias van al ambiente contaminando directamente el agua y el suelo (J. P. Pérez et al., 2016).

### **7.5. Contaminación química**

La contaminación por químicos en el agua afecta su calidad original a nivel mundial, por ello el tratamiento de efluentes es una estrategia importante para el manejo de la calidad de las aguas. Algunos de los químicos que se encuentra son los metales pesados, compuestos nitrogenados y fosforados los cuales son provenientes de residuos domésticos, industriales y agrícolas (Salgado et al., 2011).

## **7.6. Bioindicadores de calidad de agua**

El uso de bioindicadores posibilita evaluar el estado en el que se encuentra un río o arroyo en tiempo determinado y a su vez observar su evolución con el tiempo. De tal manera que se utilizan organismos sensibles a los cambios que en su mayoría indican la presencia de contaminantes o la alteración en su ecosistema (Peña et al., 2017).

Un bioindicador se basa en la utilización de comunidades biológicas como bioindicadores, es una especie que posee características particulares con respecto a variables físicas y químicas. Los cambios en las características pueden afectar en la presencia o ausencia de las especies. (Viteri et al., 2017)

## **7.7. Macroinvertebrados**

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos invertebrados con un tamaño mayor a 0.5mm entre los que se incluyen animales como planarias, esponjas, sanguijuelas, oligoquetos, crustáceos y moluscos mismo que desarrollan su ciclo de vida en el agua (Tabla 3). El grupo más amplio de macroinvertebrados acuáticos y que están distribuidos en aguas dulces son los insectos (Ladrera & Rieradevall, 2013).

**Tabla 3.***Principales grupos de macroinvertebrados*

| <b>Familia</b> | <b>Subfamilia</b> | <b>Clase</b> | <b>Orden</b>  |             |
|----------------|-------------------|--------------|---------------|-------------|
| Porifera       |                   |              |               |             |
| Cnidaria       |                   |              |               |             |
| Platelminta    |                   |              |               |             |
| Nematoda       |                   |              |               |             |
| Annelida       |                   | Oligochaeta  |               |             |
|                |                   | Hirudinea    |               |             |
| Molusca        | Conchifera        | Gastropoda   |               |             |
|                |                   | Bivalvia     |               |             |
|                | Chelicerata       | Arachnida    |               |             |
| Arthropoda     | Crustacea         | Malacostraca | Amphipoda     |             |
|                |                   |              | Decapoda      |             |
|                |                   |              | Ephemeroptera |             |
|                |                   |              |               | Odonata     |
|                |                   |              |               | Plecoptera  |
|                |                   | Hexapoda     | Insecta       | Hemiptera   |
|                |                   |              |               | Coleoptera  |
|                |                   |              |               | Trichoptera |
|                |                   |              |               | Diptera     |

*Nota.* La presente tabla muestra los principales macroinvertebrados acuáticos para evaluar la calidad de agua clasificados por clase, orden y familia. **Fuente.**(Ladrera & Rieradevall, 2013)

### **7.8. Macroinvertebrados como bioindicadores**

Los macroinvertebrados son óptimos por su sedentarismo y su ciclo de vida relativamente largo, son utilizados para generar información válida de la contaminación presente en un sistema fluvial, ya que son considerados un método valioso para determinar la contaminación por desechos domésticos e industriales (Morales, 2007).

## **7.9. Identificación de macroinvertebrados**

Los macroinvertebrados acuáticos pueden ser encontrados en una variedad amplia de hábitats acuáticos, incluyendo ríos, arroyos, lagos y estanques. La distribución de estas comunidades puede variar dependiendo de la altitud, lo cual afecta la composición de las mismas. Las diferencias en factores ambientales como la temperatura, la disponibilidad de oxígeno y otros elementos relacionados con la altitud pueden influir en la presencia y abundancia de distintas especies de macroinvertebrados (Moya et al., 2009).

Por lo tanto, en la Tabla 4, se puede observar la presencia de macroinvertebrados de acuerdo a su ubicación que puede variar en diferentes cuerpos de agua a lo largo de un gradiente de altitud. Además, estos organismos son indicadores importantes de la calidad del agua y se utilizan en estudios de biomonitorización para evaluar la salud de los ecosistemas acuáticos.

**Tabla 4.***Tipos de macroinvertebrados de acuerdo a la altitud*

| <b>Macroinvertebrados de aguas bajas y cálidas (baja altitud):</b> | <b>Macroinvertebrados de zonas intermedias (altitudes medias):</b>  | <b>Macroinvertebrados de aguas frías y de montaña (altas altitudes):</b> |
|--|---|--|
| Mosquitos (larvas).  | Varias especies de efemerópteros, tricópteros y plecópteros adaptados a condiciones intermedias de temperatura y oxígeno. Es importante tener en cuenta que la distribución de los macroinvertebrados también puede estar influenciada por otros factores locales, como la calidad del agua, la disponibilidad de alimentos y la presencia de depredadores. | Tricópteros (caddisflies).   |
| Libélulas (ninfas).  |   | Plecópteros (stoneflies).  |
| Escarabajos acuáticos.   |   | Efemerópteros (mayflies).  |
| Cangrejos de río.  |   | Dípteros no simúlidos (black flies).                                     |
| Caracoles de agua dulce.   |   | Gasterópodos de agua dulce adaptados al frío.                            |

*Nota:* Grupos funcionales de macroinvertebrados de acuerdo a la altitud. **Fuente:** (Moya et al., 2009)

### **7.9.1. Clasificación de los macroinvertebrados**

Los macroinvertebrados acuáticos, que son organismos sin columna vertebral y pueden ser observados a simple vista debido a su tamaño, desempeñan un papel crucial en la evaluación de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos. La presencia, abundancia y diversidad de estos organismos son indicadores importantes que proporcionan información valiosa sobre la salud de un cuerpo de agua (Rodríguez et al., 2011). La clasificación de los macroinvertebrados se realiza en base a grupos taxonómicos específicos.

- **Artrópodos:** Este grupo incluye una amplia variedad de macroinvertebrados acuáticos, como insectos, crustáceos y arácnidos. Algunos ejemplos comunes incluyen larvas de mosquitos, larvas de libélulas, larvas de efímeras, camarones de agua dulce y cangrejos de río.
- **Moluscos:** Los moluscos acuáticos son otro grupo importante de macroinvertebrados. Ejemplos incluyen caracoles de agua dulce y mejillones de río.
- **Anélidos:** Los anélidos acuáticos son gusanos segmentados que viven en el agua. Algunos ejemplos son las sanguijuelas y las larvas de ciertas moscas.
- **Equinodermos:** Aunque menos comunes en ambientes acuáticos dulces, algunas especies de erizos de agua dulce pueden encontrarse en ríos y arroyos.
- **Cordados:** En este grupo se incluyen los vertebrados acuáticos, como los peces, aunque a menudo se consideran macroinvertebrados debido a su tamaño cuando son jóvenes. Los alevines de peces, por ejemplo, pueden ser importantes indicadores de la calidad del agua.
- **Otros:** Además de los grupos mencionados anteriormente, hay otros macroinvertebrados menos comunes, pero igualmente importantes, como los anfibios en su fase de larva (renacuajos) y los hirudíneos (sanguijuelas).

Cada grupo de macroinvertebrados puede ser subdividido en diferentes especies y se utilizan comúnmente en estudios de calidad del agua y evaluaciones de ecosistemas acuáticos para determinar el estado de salud del ecosistema y la calidad del agua. La presencia y abundancia de ciertas especies pueden indicar la existencia de contaminantes o alteraciones en el hábitat, lo que convierte a los macroinvertebrados en indicadores biológicos valiosos en la gestión de los recursos acuáticos.

La estructura de los macroinvertebrados puede variar ampliamente dependiendo de la especie:

**Tabla 5.***Clasificación de Macroinvertebrados*


---

| <b>Estructura de los macroinvertebrados</b> |  |
|---|--|
| Exoesqueleto                                | Suelen tener un exoesqueleto o caparazón externo que proporciona soporte y protección al cuerpo.   |
| Segmentación                                | Está compuesto por una serie de segmentos que pueden estar fusionados o divididos. Esta segmentación les proporciona flexibilidad y movilidad.   |
| Apéndices                                   | Estos apéndices pueden incluir patas, antenas, mandíbulas, pinzas y estructuras similares.   |
| Respiración                                 | Pueden respirar de diversas maneras, incluyendo branquias, tráqueas, espiráculos u otros mecanismos adaptados para obtener oxígeno del agua.   |
| Reproducción                                | La reproducción de los macroinvertebrados puede ser sexual o asexual.  |
| Tamaño y forma                              | La estructura de los macroinvertebrados puede variar en tamaño desde unos pocos milímetros hasta varios centímetros de longitud. Su forma puede ser muy diversa, desde plana y ovalada hasta alargada y cilíndrica, dependiendo de la especie. |

---

*Nota.* En la tabla 5 se muestra la clasificación de macroinvertebrados por su estructura. **Fuente.** (Molina et al., 2008).

Es relevante resaltar que los macroinvertebrados acuáticos presentan una diversidad notable, con miles de especies distintas distribuidas por todo el mundo. Cada una de estas especies posee adaptaciones estructurales específicas que les permiten habitar y desenvolverse en su entorno

particular. La presencia y abundancia de estos organismos en un ecosistema acuático pueden brindar información de gran valor acerca de la calidad del agua y la salud general del ecosistema.

### **7.10. Índices de calidad de agua por bioindicadores.**

El principio detrás del índice de calidad del agua como indicador biológico es que ciertos organismos acuáticos como insectos, tienen requisitos específicos de calidad del agua y son sensibles a la contaminación y las perturbaciones ambientales (Gamboa et al., 2008). Monitorear la abundancia de estos organismos en cuerpos de agua puede proporcionar a los científicos y administradores ambientales información sobre la calidad del agua.

#### **7.10.1. Índice EPT**

El análisis ETP es un método para la evaluación de calidad de agua el análisis se realiza mediante tres grupos de macroinvertebrados Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera que actúan como indicadores de calidad de agua debido a su alta sensibilidad a la contaminación (Basantes & Andrade, 2022).

**Tabla 6.***Familias del índice EPT*

| <b>FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS EPT</b> |  |
|---|--|
| <b>Orden</b>                              | <b>Familia</b>   |
| Ephemeroptera                             | <i>Baetidae, Caenidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Heptageniidae, Isonychiidae, Leptohyphidae, Leptophlebiidae, Oligoneuriidae, Polymitarcyidae</i>   |
| Plecoptera                                | <i>Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae, Taeniopterygidae, Nemouridae, Capniidae, Leutridae.</i>   |
| Trichoptera                               | <i>Ecnomidae, Dipseudopsidae, Hidropsychidae, Polycentropodidae, Psychomyiidae, Xiphocentronidae, Hydroptilidae, Glossosomatidae, Leptoceridae, Limnephilidae, Philopotamidae, Lepidostomatidae, Hydrobiosidae, Helicopsychidae, Rhyacophilidae, Anamalopsychidae, Calamoceratidae, Odontoceridae.</i> |

*Nota.* Principales familias para el cálculo del índice EPT. **Fuente:** adaptado de (Buenaño et al., 2018)

Para el empleo del índice EPT es necesario identificar el orden y familia a la que pertenece cada especie, se calcula dividiendo el número total de individuos EPT para el número total de individuos y el resultado se multiplica por 100, la determinación de la calidad del agua dependerá de si los valores son altos (Asueta et al., 2019).

**Tabla 7.***Cálculo del índice ETP*

| <b>Clasificación</b>          | <b>Abundancia</b>                     | <b>EPT presentes</b> |
|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| <b>Número de individuos</b>   |                                       |                      |
| Ephemeroptera                 | -                                     | -                    |
| Plecoptera                    | -                                     | -                    |
| Trichoptera                   | -                                     | -                    |
| Otra especie                  | -                                     | -                    |
| Otra especie                  | -                                     | -                    |
| <b>Total</b>                  |                                       |                      |
| <b>EPT Total / Abundancia</b> | <b>EPT presentes /<br/>Abundancia</b> | <b>= EPT</b>         |
| Total %                       | EPT * 100% =                          | Resultado %          |

*Nota.* en la presente tabla se visualiza como realizar el cálculo para el índice EPT. **Fuente:** (Buenaño et al., 2018).

El porcentaje del índice EPT se compara en la Tabla 7 propuesta para determinar la categoría calidad del agua. Este índice categoriza los cuerpos de agua en cuatro niveles de calidad, con porcentajes que abarcan desde baja (0%-25%) hasta excelente (75%-100%).

**Tabla 8.***Valoración de la Calidad de Agua según método EPT*

| <b>Clase</b> | <b>Índice EPT (%)</b> | <b>Calidad del agua</b> |
|--------------|-----------------------|-------------------------|
| 1            | 75 – 100              | Muy buena               |
| 2            | 50 – 75               | Buena                   |
| 3            | 25 – 50               | Regular                 |
| 4            | 0 – 25                | Mala                    |

*Nota.* Evaluación de la calidad del agua utilizando el método EPT. **Fuente:** (Buenaño et al., 2018)

### **7.10.2. Índice BMWP/COL**

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) es un método el cual sirve para evaluar la calidad de agua de manera rápida y acertada, dado que utiliza macroinvertebrados como bioindicadores, el mismo que analiza el nivel de familia. Su puntaje va de 1 a 10 los mismo que indican la tolerancia a la contaminación (Maurat et al., 2024). Los grupos con mayor sensibilidad reciben una puntuación, mientras que los más tolerantes reciben una puntuación de 1 (Leaño & Pérez Barriga, 2020).

**Tabla 9.**

*Familias del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP)*

| FAMILIAS   | PUNTUACIÓN |
|--|------------|
| <i>Anamalopsychidae, Atriplectididae, Perlidae, Oligoneuriidae, Helicopsychidae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Hydridae, Chordodidae, Lymnessiidae, Polythoridae, Gomphidae.</i>                                 | 10         |
| <i>Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Gyrinidae, Hydraenidae, Leptophlebiidae, Euthyplociidae, Leptoceridae, Hydrobiosidae, Dytiscidae, Potamanthidae, Polycentropodidae, Polymitarciidae, Xiphocentronidae</i> | 9          |
| <i>Gerridae, Hebridae, Hydrobiidae, Veliidae, Simuliidae, Pleidae, Trichodactylidae, Saldidae, Lestidae, Palaemonidae, Pseudothelphusidae, Pyralidae</i>   | 8          |
| <i>Baetidae, Caemidae, Calopterygidae, Glossosomatidae, Corixidae, Notonectidae, Leptohiphidae, Dixidae, Hyalellidae, Naucoridae, Scirtidae, Dryopidae, Psychidae, Coenagrionidae, Hydroptilidae, Hidropsychidae</i> | 7          |
| <i>Ancylidae, Lutrochidae, Noteridae, Aeshnidae, Libellulidae, Staphylinidae, Limnychidae, Pilidae, Megapodagrionidae, Corydalidae, Sialidae, Gammaridae, Elmidae</i>  | 6          |
| <i>Hydropsychidae, Gelastocoridae, Belostomatidae, Nepidae, Pleuroceridae, Tabanidae, Thiaridae, Pyralidae, Mesoveliidae, Planorbiidae</i>   | 5          |
| <i>Curculionidae, Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Ephydriidae, Scarabidae, Dolichopodidae, Sphaeriidae, Notoceridae</i>  | 4          |
| <i>Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Physidae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Hydrophilidae, Tipulidae, Ceratopogonidae</i>   | 3          |
| <i>Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Sciomyzidae, Sylphidae</i>   | 2          |
| <i>Oligochaeta, Turbificidae</i>   | 1          |

*Nota.* Esta tabla proporciona información para la puntuación de macroinvertebrados presentes de acuerdo a su sensibilidad. **Fuente.** adaptado de (Roldán, 2023).

**Tabla 10.**

*Rangos de calidad del agua de acuerdo al índice BMWP*

| Clase      | Calidad     | Valor   | Significado  | Color      |
|------------|-------------|---------|--|------------|
| <b>I</b>   | Muy Buena   | >120    | Aguas muy limpias                                  | Azul       |
| <b>II</b>  | Buena       | 101-120 | Aguas no contaminadas o alteradas de modo sensible | Azul claro |
| <b>III</b> | Aceptable   | 61-100  | Son evidentes algunos efectos de contaminación     | Verde      |
| <b>IV</b>  | Dudosa      | 36-60   | Aguas contaminadas                                 | Amarillo   |
| <b>V</b>   | Crítica     | 16-35   | Aguas muy contaminadas                             | Naranja    |
| <b>VI</b>  | Muy Crítica | <15     | Aguas fuertemente contaminadas                     | Rojo       |

*Nota.* Evaluación de la calidad del agua utilizando el método BMWP **Fuente:**(Restrepo & Peña-Salamanca, 2021)

### 7.10.3. Índice Biológico Andino (ABI)

Según indica (Meneses-Campo et al., 2019) el índice biológico andino posibilita clasificar la calidad de un sistema apoyado en el índice original Biological Monitoring Working Party BMWP, que se aplica a ríos con una altitud de mayor a 2000 msnm. En el índice ABI se incluye un menor número de familias de macroinvertebrados, debido a que la altitud restringe la distribución y tolerancia.

**Tabla 11.**

*Rangos de calidad de agua según el índice ABI*

| Valor ABI | Calidad de agua |
|-----------|-----------------|
| >74       | Muy buena       |
| 45 – 74   | Aceptable       |
| 27 – 44   | Dudosa          |
| 0 – 26    | Crítica         |

*Nota.* Evaluación de la calidad del agua utilizando el método ABI **Fuente.**(Landi & Romero, 2022)

**Tabla 12.**

## Puntuación para macroinvertebrados según el índice ABI

| Orden         | Familia                  | Puntuación | Orden       | Familia                | Puntuación |
|---------------|--------------------------|------------|-------------|------------------------|------------|
| Tricladida    | <i>Planariidae</i>       | 5          | Lepidóptera | <i>Pyrilidae</i>       | 4          |
| Hirudinea     | -                        | 3          | Coleóptera  | <i>Ptilodactilidae</i> | 5          |
| Oligochaeta   | -                        | 1          |             | <i>Lampyridae</i>      | 5          |
| Bivalvia      | <i>Sphaeriidae</i>       | 3          |             | <i>Psephenidae</i>     | 5          |
| Amphipoda     | <i>Hyaellidae</i>        | 6          |             | <i>Scirtidae</i>       | 5          |
| Ostracoda     | -                        | 3          |             | <i>Staphylinidae</i>   | 3          |
| Hydracarina   | -                        | 4          |             | <i>Elmidae</i>         | 5          |
| Ephemeroptera | <i>Baetidae</i>          | 4          |             | <i>Dryopidae</i>       | 5          |
|               | <i>Leptophlebiidae</i>   | 10         |             | <i>Gyrinidae</i>       | 3          |
|               | <i>Leptohyphidae</i>     | 7          |             | <i>Dytiscidae</i>      | 3          |
|               | <i>Oligoneuriidae</i>    | 10         |             | <i>Hydrophilidae</i>   | 3          |
| Odonata       | <i>Aeshnidae</i>         | 6          |             | <i>Hydraenidae</i>     | 5          |
|               | <i>Gomphidae</i>         | 8          | Díptera     | <i>Blepharoceridae</i> | 10         |
|               | <i>Libellulidae</i>      | 6          |             | <i>Simuliidae</i>      | 5          |
|               | <i>Coenagrionidae</i>    | 6          |             | <i>Tabanidae</i>       | 4          |
|               | <i>Calopterygidae</i>    | 8          |             | <i>Tipulidae</i>       | 5          |
|               | <i>Polythoridae</i>      | 10         |             | <i>Limoniidae</i>      | 4          |
| Heteróptera   | <i>Veliidae</i>          | 5          |             | <i>Ceratopogonidae</i> | 4          |
|               | <i>Gerridae</i>          | 5          |             | <i>Dixidae</i>         | 4          |
|               | <i>Corixidae</i>         | 5          |             | <i>Psychopodidae</i>   | 3          |
|               | <i>Notonectidae</i>      | 5          |             | <i>Dolichopodidae</i>  | 4          |
|               | <i>Belostomatidae</i>    | 4          |             | <i>Stratiomyidae</i>   | 4          |
|               | <i>Naucoridae</i>        | 5          |             | <i>Empididae</i>       | 4          |
| Trichoptera   | <i>Helicopsychidae</i>   | 10         |             | <i>Chironomidae</i>    | 2          |
|               | <i>Calamoceratidae</i>   | 10         |             | <i>Culicidae</i>       | 2          |
|               | <i>Odontoceridae</i>     | 10         |             | <i>Muscidae</i>        | 2          |
|               | <i>Leptoceridae</i>      | 8          |             | <i>Ephydriidae</i>     | 2          |
|               | <i>Polycentropodidae</i> | 8          |             | <i>Athericidae</i>     | 10         |
|               | <i>Hydroptilidae</i>     | 6          |             | <i>Syrphidae</i>       | 1          |

|                                    |    |            |                                   |    |
|------------------------------------|----|------------|-----------------------------------|----|
| <i>Xiphocentronida</i><br><i>e</i> | 8  | Gastropoda | <i>Ancylidae</i>                  | 6  |
| <i>Hydrobiosidae</i>               | 8  |            | <i>Physidae</i>                   | 3  |
| <i>Glossosomatida</i><br><i>e</i>  | 7  |            | <i>Hydrobiidae</i>                | 3  |
| <i>Hydropsychidae</i>              | 5  |            | <i>Lymnaeidae</i>                 | 3  |
| <i>Anomalopsychid</i><br><i>ae</i> | 10 |            | <i>Planorbidae</i>                | 3  |
| <i>Philopotamidae</i>              | 8  | Plecoptera | <i>Perlidae</i>                   | 10 |
| <i>Limnephilidae</i>               | 7  |            | <i>Gripopterygid</i><br><i>ae</i> | 10 |

*Nota.* Esta tabla proporciona información para la puntuación de macroinvertebrados presentes de acuerdo a su sensibilidad, tomando en cuenta que la calificación para este índice cambia debido a una mayor sensibilidad en comparación con el índice BMWP/COL. **Fuente.** Adaptado de (Encalada et al., 2011).

#### 7.10.4. Índice de Diversidad de SHANNON - WEAVER.

El índice de Shannon, de Shannon-Weaver o de Shannon-Wiener que se usa para medir la biodiversidad específica. Este índice se representa normalmente como “H” y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0,5 y 5, aunque su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad de especies (Flores, 2019). No tiene límite superior o en todo caso lo da la base del logaritmo que se utilice. Los ecosistemas con mayores valores son los bosques tropicales y arrecifes de coral, y los menores las zonas desérticas.

La ventaja de un índice de este tipo es que no es necesario identificar las especies presentes; basta con poder distinguir unas de otras para realizar el recuento de individuos de cada una de ellas y el recuento total.

La fórmula del índice de Shannon es la siguiente:

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i * \ln(p_i)$$

**Donde:**

$s$ = número de especies (riqueza de especies)

$p_i$ = proporción de individuos de la especie  $i$  respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie  $i$ ),  $n_i/N$

$i$ = respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie  $i$ )  $n_i/ N$

$n_i$ = número de individuos de la especie  $i$

$N$ = el número de todos los individuos de todas las especies

**Tabla 13.**

*Clasificación de la biodiversidad según el índice de Shannon – Weaver.*

| Índice de Shannon – Weaver | Diversidad |
|----------------------------|------------|
| 3-4                        | Alto       |
| 2-3                        | Medio      |
| 0-2                        | Bajo       |

*Nota.* Esta tabla muestra la clasificación de valores para la determinación de la biodiversidad.

**Fuente.** (Gelambi, 2018).

**7.10.5. Índice de dominancia de SIMPSON.**

El índice de Simpson es utilizado para medir la riqueza de organismos donde la dominancia de la diversidad representa la probabilidad de que dos individuos escogidos al azar pertenezcan a la misma especie (Salmerón et al., 2017). Es una medida utilizada en la ecología para la evaluación de los ecosistemas acuáticos, donde la dominancia de especies puede ser cuantificada dentro de un hábitat determinado.

Varía inversamente con la heterogeneidad por los valores del índice decrecen o aumentan según aumenta o decrece la diversidad (Soler et al., 2012). Es en realidad un índice de dominancia, sobrevalora las especies más abundantes en detrimento de la riqueza total.

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^s p_i^2}$$

**Donde:**

$p_i$ = Se evalúa a partir de dividir el número total de individuos o variedades por cada especie sobre el número total de individuos evaluados en el muestreo, esta es la abundancia proporcional con base a la muestra.

N= número total de individuos de la muestra

**Tabla 14.**

*Clasificación de la biodiversidad según el índice de Simpson*

| <b>Interpretación</b> | <b>Diversidad</b> |
|-----------------------|-------------------|
| 0.76 – 1.00           | Alta              |
| 0.36 – 0.75           | Media             |
| 0.00 – 0.35           | Baja              |

*Nota.* Esta tabla muestra la clasificación de valores para la determinación de la dominancia.

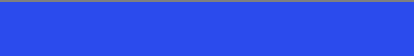




**Fuente.**(Krebs, 1985)

### 7.11. Índice de calidad de agua ICA – NSF

El índice de calidad de agua (ICA) desarrollado en la National Sanitation Foundation (NSF) es una herramienta utilizada para evaluar la calidad del agua en diferentes cuerpos de agua. Este índice proporciona una forma estandarizada de medir y comunicar la calidad del agua basada en una serie de parámetros clave como: Oxígeno Disuelto, DBO<sub>5</sub>, Sólidos Totales disueltos, pH, Temperatura, Coliformes Fecales, Nitratos, Fosfatos, Turbidez (Altansukh & Davaa, 2011).

El “ICA” utiliza el valor máximo establecido de 100 como modo óptimo y su rango disminuye a medida que aumenta la contaminación en las vías fluviales. Después de calcular el índice de calidad de agua de tipo general. Las condiciones de calidad de agua se calculan según la tabla:

**Tabla 15.***Clasificación de “ICA” propuesto por Brown*

| Valor     | Calidad  | Color   |
|-----------|----------|---|
| Excelente | 91 a 100 |  |
| Buena     | 71 a 90  |  |
| Regular   | 51 a 70  |  |
| Mala      | 26 a 50  |  |
| Pésima    | 0 a 25   |  |

*Nota.* En la presente tabla se muestra los rangos para determinar la calidad de agua según los valores y colores. **Fuente** (Altansukh & Davaa, 2011)

### 7.12. Parámetros de calidad de agua

En base al criterio de Biswas & Tortajada, (2019) describe que la calidad de agua se basa al análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos teniendo en cuenta la dinámica de los procesos y los elementos que los afectan, así mismo la capacidad que tiene el recurso del poder de autodepuración. Entendiendo los diversos factores involucrados en la modificación de la calidad original del recurso deben permitir resolver los conflictos como el uso del agua y la integridad ecológica de los sistemas acuáticos (Samboni et al., 2007). Los parámetros para la calidad del recurso cambian dependiendo al sector donde se proporciona.

#### 7.12.1. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es un factor que influye en la mayoría de procesos vitales de los organismos, así como en varios factores abióticos (Betancourt et al., 2009). Este constituye una variable para determinar el estado de salud de los ecosistemas acuáticos, por tales se debe comprender el comportamiento de la concentración del oxígeno disuelto en el agua, debido a que es un instrumento para recomendar el uso de ambientes acuáticos. (de Victorica Almeida, 1996)

#### 7.12.2. Coliformes fecales

En la investigación de Fernández, (2017) se evidencia que las Coliformes fecales son indicadores del riesgo potencial de contaminación del agua y alimentos con bacterias o virus patógenos, ya que se encuentran comúnmente en las heces humanas y animales. Los indicadores tradicionales

bacterianos de contaminación fecal no son convenientes para monitorear de parásitos como *Cryptosporidium* y *Giardia* que son transmitidos por el agua, debido a que estos poseen mayor capacidad de sobrevivir por meses en el agua, inclusive en agua clorada (Olivas et al., 2011)

### **7.12.3. pH**

El pH es un importante parámetro para calcular el contenido ácido o básico del agua. Se mide en una escala de 0 a 14, donde 7 es neutro, valores superiores a 7 son básicos y valores inferiores a 7 son ácidos. El agua ácida puede ser perjudicial para las comunidades acuáticas, ya que puede filtrar sustancias tóxicas del suelo, como el aluminio. Se considera que un rango de pH entre 6.5 y 8.2 es óptimo para la mayoría de los organismos acuáticos y para consumo humano (Pérez, 2016).

### **7.12.4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Es la cantidad de oxígeno que necesita un cuerpo de agua para degradar la materia orgánica presente. El DBO<sub>5</sub> se determina a una temperatura de 20°C y un tiempo de 5 días, expresándose en mg/l., siendo uno de los indicadores indispensables en la medición de contaminación en aguas residuales (Lecca & Lizama, 2014).

### **7.12.5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

El DQO es uno de los parámetros más eficaces en el control de la calidad de agua, este constituye la cantidad de oxidante químico requerido capaz de oxidar sustancias en agua, se expresa en mg/l. Cuantifica la cantidad de materia orgánica total que es capaz de oxidación química presente en muestras líquidas determinando el grado de contaminación (Rosabal et al., 2012).

### **7.12.6. Nitratos**

Los nitratos son un indicador de la calidad en la que se encuentra el agua, estos están relacionados con el ciclo del nitrógeno del suelo y las plantas, tomando en cuenta que estos también son añadidos a través de fertilizantes produciendo un aumento considerable de los mismos. El consumo de agua con altos niveles de nitrato puede causar problemas agudos para la salud, dependiendo del tiempo de exposición (Cabrera et al., 2003).

#### **7.12.7. Fosfatos**

Bolaños et al., (2017), indican que los fosfatos sirven como nutrientes para el crecimiento de las algas, lo que significa que cuando las concentraciones de fosfato son altas las algas pueden crecer, lo que a su vez afecta el contenido de oxígeno del agua, provocando un crecimiento descontrolado de materia orgánica viva. Estas situaciones pueden conducir a mayores tasas de degradación y, en última instancia, a importantes procesos de eutrofización.

#### **7.12.8. Temperatura**

La temperatura es un factor regulador del metabolismo de los organismos vivos. El incremento de la temperatura hasta un límite tolerable en la respiración en seres heterótrofos y autótrofos y a su vez produce efectos indirectos en su proceso físico. Para los organismos suspendidos en una columna de agua la temperatura es una barrera para su capacidad de migración (Manta & Alcántara, 2018).

#### **7.12.9. Turbidez**

Revela el contenido de sustancias coloidales, minerales u orgánicas en el agua causada por la presencia de material suspendido que obstruye el paso de la luz, de tal manera que puede ser el inicio de una contaminación. Cuanto mayor sea la turbiedad, el agua tendrá una menor transparencia, así los altos niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de la desinfección por ende aumenta la demanda de cloro (Martínez et al., 2020).

#### **7.12.10. Conductividad Eléctrica**

Según las investigaciones de Solís et al., (2018) la conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de transportar la corriente eléctrica. Se da por medio de sales disueltas en el agua, que se descomponen en iones capaces de transportar la corriente eléctrica.

#### **7.12.11. Sólidos Totales Disueltos**

Los sólidos disueltos totales hacen referencia a la materia que se encuentra disuelta o suspendida en el agua, es decir, los sólidos totales disueltos, son aquellos que miden la cantidad total de los residuos sólidos filtrables. Aquellos pueden afectar severamente al cuerpo de agua (Fong et al., 2015).

### **7.13. Marco Legal**

#### **7.13.1. Constitución de la República del Ecuador.**

**Publicada en el Registro Oficial No. 449 el 20 de octubre del 2008**

**Título: Derechos.**

**Capítulo segundo: Derechos del buen vivir**

**Sección primera: Agua y alimentación**

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso de público, inalienable, indescriptible, inembargable, y esencial para la vida.

Capítulo séptimo: Derechos de la naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida. Tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

**Título VI: Régimen de desarrollo**

**Capítulo quinto: Sectores estratégicos, servicios y empresas públicas**

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

**Título VII: Régimen del buen vivir**

**Capítulo II: Biodiversidad y recursos naturales**

**Sección primera: Naturaleza y ambiente**

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

Permitir a cualquier persona natural o jurídica, colectividad o grupo humano, ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva en materia ambiental, incluyendo la posibilidad de solicitar medidas cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental materia de litigio. La carga de la prueba sobre la inexistencia de daño potencial o real recaerá sobre el gestor de la actividad o el demandado. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.

**Sección sexta: Agua**

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

**Sección séptima: Biosfera, ecología urbana y energías alternativas**

Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

### **7.13.2. Código Orgánico del Ambiente (COA).**

#### **Libro Segundo: Patrimonio natural**

##### **Título I: Biodiversidad**

##### **Capítulo II: El sistema nacional de áreas protegidas**

Art. 23.- Sistema Nacional de Áreas Protegidas. - El Sistema Nacional de Áreas Protegidas está integrado por un conjunto de subsistemas conformados por áreas protegidas cuya declaratoria, categorización, regulación y administración deben garantizar la conservación, manejo y uso sustentable de la biodiversidad; la conectividad de ecosistemas terrestres, marinos y marino-costeros importantes; al igual que los derechos de la naturaleza. Su administración y manejo se realizarán de forma sistémica. El Estado asignara los recursos económicos necesarios para la sostenibilidad financiera del sistema.

Art. 25.- Finalidad y objetivos. El Sistema Nacional de Áreas Protegidas tiene por finalidad la conservación, manejo y uso sustentable de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas y servicios ambientales. Sus objetivos fundamentales son:

Proteger muestras representativas con valores sobresalientes de ecosistemas terrestres, dulceacuícolas, marinos y marino-costeros;

Mantener la dinámica hidrológica de las cuencas hidrográficas y proteger los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Refiriendo al literal 1 y 4 del artículo 25.

#### **Libro Tercero: Calidad ambiental**

##### **Título III: Control Ambiental**

##### **Capítulo IV: Calidad de los componentes físicos bióticos y abióticos**

##### **Sección II: Calidad del agua**

Art. 189.- Normas técnicas de la calidad del agua. - La Agencia de Regulación y Control del Ambiente, en el marco de sus competencias, expedirá normas técnicas de descargas líquidas.

Se prohíbe la utilización de agua de cualquier fuente, incluidas las subterráneas, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados.

Art. 190.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. – Es responsabilidad de los gobiernos autónomos descentralizados municipales, proveer de la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales.

### **7.13.3. Código Orgánico Integral Penal (COIP)**

#### **Sección segunda**

#### **Delitos contra los recursos naturales**

Artículo 251.- Delitos contra el agua. - La persona que, contraviniendo la normativa vigente, contamine, desee o altere los cuerpos de agua, vertientes, fuentes, caudales ecológicos, aguas naturales afloradas o subterráneas de las cuencas hidrográficas y en general los recursos hidrobiológicos o realice descargas en el mar provocando daños graves, será sancionada con una pena privativa de libertad de tres a cinco años.

Se impondrá el máximo de la pena si la infracción es perpetrada en un espacio del Sistema Nacional de Áreas Protegidas o si la infracción es perpetrada con ánimo de lucro o con métodos, instrumentos o medios que resulten en daños extensos y permanentes.

### **7.13.4. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y Aprovechamiento del Agua**

**Publicada en Registro Oficial N° 305 -- miércoles 6 de agosto de 2014.**

#### **Título II: Recursos hídricos**

#### **Capítulo I: Definición, infraestructura y clasificación de los recursos hídricos**

Art. 14.- Cambio de uso del suelo. El Estado regulará las actividades que puedan afectar la cantidad y calidad del agua, el equilibrio de los ecosistemas en las áreas de protección hídrica que abastecen los sistemas de agua para consumo humano y riego; con base en estudios de impacto ambiental que aseguren la mínima afectación y la restauración de los mencionados ecosistemas.

#### **Título III: Derechos, garantías y obligaciones**

#### **Capítulo III: Derechos de la naturaleza**

Art. 64.- Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida.

En la Codificación de la ley de aguas (2014) indica que la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares;

El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad;

La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico;

La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y,  
 La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

Art. 66.- Restauración y recuperación del agua. La restauración del agua será independiente de la obligación del Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos afectados por la contaminación de las aguas o que dependan de los ecosistemas alterados.

La indemnización económica deberá ser invertida en la recuperación de la naturaleza y del daño ecológico causado; sin perjuicio de la sanción y la acción de repetición que corresponde.

Si el daño es causado por alguna institución del Estado, la indemnización se concretará en obras.

### **7.13.5. Ley de Gestión Ambiental**

La ley de gestión ambiental (2004), en el Art. 9 literales j – k, indica que le corresponde al Ministerio del ramo:

Coordinar con los organismos competentes sistemas de control para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes.

Definir un sistema de control y seguimiento de las normas y parámetros establecidos y del régimen de permisos y licencias sobre actividades potencialmente contaminantes y la relacionada con el ordenamiento territorial.

Art. 23.- La evaluación del impacto ambiental comprenderá: La estimación de los efectos causados a la población humana, la biodiversidad, el suelo, el aire, el agua, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada.

Subsistema de Gestión Ambiental. - Está conformado por organismos y entidades de la administración pública central, institucional y seccional, que individual o conjuntamente se encargan de administrar sectores específicos de la gestión ambiental, tales como: el manejo de los recursos de agua, aire, suelo, fauna y biodiversidad, dentro de los principios generales que rige el Sistema de Gestión Ambiental.

### **7.13.6. Acuerdo ministerial 097- A (2015)**

**Libro VI del Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente. Anexo 1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua.**

Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, marítimas y de estuarios.

**Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico.** -Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que es obtenida de cuerpos de agua, superficiales o subterráneos, y que luego de ser tratada será empleada por individuos o comunidades en actividades como:

- a. Bebida y preparación de alimentos para consumo humano.
- b. Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios.

**Criterios de calidad de aguas para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, y en aguas marinas y de estuarios.** -Se entiende por uso del agua para preservación de la vida acuática y silvestre, su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura.

## 8. PREGUNTAS CIENTÍFICAS

**¿Existe diferencia entre los resultados obtenidos de los puntos de muestreo tanto de parámetros físico-químicos, microbiológicos, índices biológicos e ICA – NSF en la evaluación de la calidad de agua?**

No existen diferencias, dado que los contrastes entre índices biológicos y los parámetros físico-químicos y microbiológicos indican que en la bocatoma uno y dos disponen de una buena calidad de agua mostrando una coherencia entre los resultados de los diferentes análisis. Los datos obtenidos de las bocatomas del sector Novillo Pungo se relacionan en su totalidad, los datos de los índices de macroinvertebrados indican una buena calidad de agua en todos los puntos muestreados, de tal manera que el índice EPT proporciona un 59% y 68% de calidad para la bocatoma uno y dos, así como el BMWP/COL valores de 101 y 103 donde se evidencia una buena calidad de agua, los datos para el índice ABI al ser un análisis más sensible tiene una valoración distinta, pero de igual manera muestra las óptimas condiciones de agua con valores de 49 y 52, mismo que están dentro de los rango de calidad aceptable. Ahora bien, los datos de los análisis de laboratorio están

dentro de los límites permisibles del Acuerdo Ministerial 097-A Libro VI Anexo 1 Tulsma, así mismo los valores obtenidos del ICA, presentan una calidad de agua buena, a excepción del oxígeno disuelto que presenta un valor mayor al de la normativa según la tabla 3, lo que indica la existencia de una abundante vegetación que consumen el dióxido de carbono y producen oxígeno, de modo que al comparar los resultados se obtiene que la calidad de agua de las bocatomas uno y dos es buena. Esto porque los macroinvertebrados se consideran los mejores indicadores de calidad de agua tanto por su tamaño como por su distribución y adaptación a distintos factores, dado que los organismos encontrados disponen una alta sensibilidad a aguas buenas no adaptables a contaminación.

## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Enfoque de la investigación**

#### **9.1.1. Enfoque cualitativo**

Este se centró en evaluar la calidad de agua en la bocatoma uno y dos del sector Novillo Pungo, utilizando técnicas de observación y análisis de la diversidad biológica y su respuesta a distintas condiciones ambientales. La investigación busca determinar la presencia y diversidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua, corroborando estos resultados con análisis físicos- químicos y microbiológicos obteniendo una visión integral del estado del agua.

### **9.2. Tipo de investigación**

#### **9.2.1. Investigación descriptiva**

Esto se centró en el análisis y la interpretación de los individuos, descubriendo características fundamentales de fenómenos estableciendo la estructura o el comportamiento de los fenómenos de estudio, estableciendo información sistemática y comparable (Alban et al., 2020). De tal manera que esta fue útil para desarrollar la descripción de la calidad de agua de los resultados obtenidos en los índices biológicos y de los procedimientos de toma de muestras para determinar la calidad de agua.

### **9.2.2. Investigación Exploratoria**

Según Galvis, (2006) afirma que los estudios exploratorios son aquellos que se realizan a temas poco estudiados o que antes no han sido abordados, dichos estudios exploratorios funcionan para familiarizarnos con fenómenos relativamente desconocidos. Esta investigación se desarrolló con ayuda de la observación de campo, análisis de laboratorio, revisión documental e identificación de muestras.

## **9.3. Métodos**

### **9.3.1. Método inductivo**

Implica establecer características generales de una población entera basándose en un examen de una muestra en específico. Esto suele interpretarse en el sentido de que el método deductivo va de lo específico a lo general, definición que no queda clara sin antes analizar los conceptos de muestra población y error (Vargas, 2014). De tal manera que este método ayudó a la formulación del problema del proyecto de investigación, desarrollo, marco teórico y la recopilación de información.

### **9.3.2. Método deductivo**

Generalmente se piensa que el método deductivo va de lo general a lo específico, partiendo de enunciados de carácter universal utilizando herramientas científicas. Es un sistema para organizar hechos conocidos y obtener conclusiones, esto se logra a través de una serie de enunciados llamados silogismos mismos que se componen de tres elementos: premisa mayor, premisa menor y conclusión (Newman, 2006). Por ello este método sirvió para la interpretación de los datos, así de esta manera emitir una conclusión de la calidad del agua.

## **9.4. Técnicas**

### **9.4.1. Técnicas de observación**

Se identificaron áreas fáciles de acceso mediante las técnicas de observación, para la toma de muestras de macroinvertebrados y muestras de agua para análisis físico-químicos y microbiológicos. En esta investigación se utilizará la red de patada, misma que consiste en remover el fondo del río para atrapar los macroinvertebrados. A esto se le llama red de patada porque

cuando uno de los miembros de la pareja remueve el fondo del río con el pie, el otro se coloca con la red río abajo para atraparlos. Como herramienta para aplicar esta técnica se utilizará una red fabricada con un metro de malla plástica. Los orificios de la red deben ser de 0,5 a 1 mm, sujetos los extremos a dos palos de escoba.

#### **9.4.2. Técnica de revisión bibliográfica**

Una revisión bibliográfica es un paso esencial en cualquier proyecto de investigación y debe garantizar que se obtenga la información más relevante en el campo de investigación a partir de una gran cantidad de documentos. Por otro lado, puede ayudar a explicar los intereses de investigación a través de esta técnica se obtuvo información sobre la caracterización de los macroinvertebrados encontrados en el área de estudio con la finalidad de realizar una comparación de los resultados con la bibliografía consultada (Gómez et al., 2014).

#### **9.4.3. Técnicas de laboratorio**

Las muestras fueron recolectadas y fijadas en alcohol al 70% guardadas en envases plásticos. En el laboratorio las muestras biológicas fueron separadas e identificadas taxonómicamente a nivel de familias, con la ayuda de lupas, cajas Petri vistas en el microscopio.

### **9.5. Instrumentos**

#### **9.5.1. Materiales y equipos para la recolección, identificación y etiquetado de las muestras.**

Los materiales y equipos utilizados para georreferenciar los sitios de muestreo para la recolección de muestras de agua y de macroinvertebrados y conservación.

**Tabla 16.***Materiales y equipos utilizados para el muestreo de macroinvertebrados*

| <b>Materiales de campo</b>      |                        | <b>Materiales de laboratorio</b>                        | <b>Equipos</b>   |
|---------------------------------|------------------------|---|--|
| Bandeja de fondo blanco         | Cámara fotográfica     | Botellas de vidrio ámbar                                | Microscopio binocular  |
| Pinzas metálicas de punta final | Red de Patada          | Claves para la identificación de los macroinvertebrados | Equipos para el análisis físico, químico y microbiológico del agua |
| Libreta de campo                | GPS                    | Caja Petri  |  |
| Botas                           | Envases                | Frascos esterilizados                                   |  |
| Alcohol al 70%                  | Lupa                   |   |  |
| Cinta métrica 100m              | Termómetro de mercurio |   |  |
| Cooler                          | Lápiz                  |   |  |
| Hielo                           |                        |   |  |

*Nota.* La presente tabla muestra los materiales utilizados para la recolección e identificación de macroinvertebrados.

### **9.6. Recolección y muestreo de macroinvertebrados**

La recolección de los macroinvertebrados se realizó una vez al mes durante los meses mayo y junio 2024, con la finalidad de no invadir y alterar su microhábitat y que recupere su condición natural. Carrera & Fierro, (2001), en su manual de monitoreo “Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua” señalan que los puntos de muestreo pueden medir de 50m a 100m a lo largo del río, Para recolectar macroinvertebrados se utiliza una red plástica con un orificio de entre 0,5 a 1 mm, aplicando la técnica de la red de patada, la cual consiste en remover el fondo del río con el pie mientras otra persona con la red introducida en el agua recoge los organismos presentes y atrapados en la misma. Una vez obtenidos los macroinvertebrados, se los coloca dentro de envases plásticos con alcohol al 70%, para su traslado e identificación. Este proceso se puede visualizar en el Anexo 1.

## **9.7. Identificación de macroinvertebrados**

Para identificar los macroinvertebrados, se utiliza una lupa, en casos en los que sea difícil se emplea un microscopio binocular y cajas Petri de vidrio para ubicar la muestra, utilizando una variedad de ayudas como: la guía rápida para la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos del cantón Cuenca (González et al., 2019); la cartilla de identificación de macroinvertebrados acuáticos (Andino et al., 2017); el protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (Encalada et al., 2011); la guía de macroinvertebrados bentónicos de la provincia de Orellana (Perez et al., 2018). Se identificaron las muestras de acuerdo a sus características.

### **9.7.1. Procedimiento para la recolección de macroinvertebrados**

Se usa la red de patada para la recolección de los macroinvertebrados, donde una persona remueve con el pie el fondo del agua, mientras la otra se coloca frente a la corriente del río y coloca la red bajo el agua para retener los sedimentos, estos son colocados en una bandeja con el fondo blanco, con la ayuda de una pinza se colocan los macroinvertebrados encontrados en frascos con alcohol al 70% para su conservación. Además, al finalizar los datos se colocan en una hoja de Excel.

## **9.8. Cálculo del índice EPT**

Se utilizó una hoja de cálculo en Excel para calcular el índice EPT utilizando tres grupos de macroinvertebrados por ser menos resistentes a los contaminantes. Los grupos EPT son: Ephemeroptera o moscas de mayo, Plecoptera o moscas de piedra y Trichoptera. Es necesario identificar a la familia y al orden al que pertenece cada especie, este se calcula dividiendo el número total de EPT para el número total de individuos, el resultado se multiplica por 100 para la obtención de un valor porcentual y se clasifica la calidad de en: muy buena, buena, regular y mala. El valor más alto indica que el agua está en buen estado y bien oxigenada.

## **9.9. Cálculo del índice BMWP/COL**

Para el cálculo del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) se usó una hoja de cálculo de Excel, este método es simple y rápido para calcular la calidad de agua con la utilización de macroinvertebrados, este implica identificar los macroinvertebrados hasta el nivel de la familia, el puntaje depende del nivel de tolerancia a la contaminación y este va de 1 a 10, para los grupos

más sensibles como los *Perlidae* y *Oligoneuriidae* un puntaje de 10, mientras que para las familias con más tolerancia a la contaminación un puntaje de 1, de tal manera que así se clasifica la calidad de agua en: muy buena, buena, aceptable, dudosa y muy crítica.

### 9.10. Cálculo del índice ABI

Para el índice Biológico Andino se empleó una hoja de cálculo en Excel, este índice se apoya en el índice BMWP, siendo aplicables para los cuatro puntos de muestreo del sistema hídrico del sector Novillo Pungo debido a que se encuentran a una altura mayor de 2000 msnm. Este índice usa un menor número de familias debido a que la altitud restringe la distribución y tolerancia clasificando la calidad de agua en buena, aceptable, dudosa y crítica.

### 9.11. Cálculo del índice de biodiversidad SHANNON-WEAVER

Para el cálculo del índice de biodiversidad SHANNON – WEAVER se utilizó una hoja de cálculo en Excel usando los datos del total de especies en una muestra y la cantidad relativa de individuos dentro de una especie determinada, el índice representa la riqueza y abundancia de las especies el índice se representa con la letra “H” y los valores de distribución de la biodiversidad varían entre un número positivo entre 2, 3, 4, tomando en cuenta que los valores sobre 3 se interpretan como diversos, para el cálculo se usa la siguiente ecuación:

$$H = - \sum_{i=1}^s pi * \ln(pi)$$

#### Donde:

s= número de especies (riqueza de especies)

pi= proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i), ni/N

i= respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i) ni/ N

ni= número de individuos de la especie i

N= el número de todos los individuos de todas las especies

### 9.12. Cálculo del índice de biodiversidad SIMPSON

Para este índice se empleó el software Excel utilizando los datos totales de las especies identificadas, tomando en cuenta que este índice permite evaluar la especie que se encuentra en mayor proporción se utilizando la siguiente formulas

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^S pi^2}$$

**Donde:**

pi= Se evalúa a partir de dividir el número total de individuos o variedades por cada especie sobre el número total de individuos evaluados en el muestreo, esta es la abundancia proporcional con base a la muestra.

N= número total de individuos de la muestra

### 9.13. Recolección de muestras de agua para el análisis físico-químico y microbiológico

Como base para los estudios de calidad de agua se usa la normativa ambiental que describe los valores máximos permisibles para los diferentes usos del agua como lo es el Acuerdo Ministerial 097-A. En el mismo que encontramos el libro VI del Anexo I “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua” TULSMA (Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente).

También se tiene en cuenta las especificaciones que dicta la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98 Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad de agua, muestreo, y técnicas de muestreo.

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos analizados por el laboratorio Lacquanálisis S.A son: conductividad eléctrica, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitratos, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales disueltos, turbidez, coliformes fecales y coliformes fecales, para los cuales en cada punto de muestreo se realizó los siguientes pasos.

#### 9.13.1. Procedimiento para la recolección de muestras de agua

Para la recolección de las muestras se realizó un triple lavado a las botellas de vidrio ámbar antes de recolectar la muestra, excepto a los envases que estaban destinados para los análisis microbiológicos debido a que estos eran esterilizados, la botella de vidrio ámbar se llenó

completamente para evitar burbujas o aire y que la muestra se oxide. Con respecto a los frascos para las muestras microbiológicas, se llenaron hasta la mitad por la necesidad de oxígeno. Las muestras fueron etiquetadas con los datos respectivos del sitio de muestreo y se conservaron a una temperatura de 2°C a 5°C en un cooler completamente cubierto de hielo. El traslado de las muestras fue de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169, 2013 para la recepción en el laboratorio Lacquanálisis S.A.

El parámetro temperatura fue tomado de manera *in situ* con un termómetro de mercurio de 330°.

**Tabla 17.**

*Parámetros físicos, químicos y microbiológicos de calidad de agua*

| PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS |           |        |        |
|---|-----------|--------|--------|
| Parámetro                                     | Unidades  | Toma 1 | Toma 2 |
| Oxígeno Disuelto                              | mg/l      |        |        |
| Sólidos Totales Disuelto                      | mg/l      |        |        |
| DQO   | mg/l      |        |        |
| DBO <sub>5</sub>                              | mg/l      |        |        |
| Nitratos                                      | mg/l      |        |        |
| Potencial hidrógeno                           | pH        |        |        |
| Temperatura del agua                          | °C        |        |        |
| Conductividad Eléctrica                       | µs/cm     |        |        |
| Turbidez                                      | NTU       |        |        |
| Coliformes Fecales                            | NMP/100ml |        |        |
| Coliformes Totales                            | NMP/100ml |        |        |

*Nota.* La presente tabla establece los parámetros físico-químicos y microbiológicos que son analizados para determinar la calidad del agua.

#### 9.14. Cálculo del modelo matemático ICA – NSF

El ICA se calcula asignando a cada parámetro un valor de calidad en una escala de 0 a 100, utilizando tablas de calificación específicas. Los valores se ponderan según su importancia relativa para la calidad del agua y se combinan para producir un valor numérico del ICA. La fórmula para su cálculo es:

$$ICA = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * W_i)$$

Donde.

ICA: índice de calidad de agua

$W_i$ : El peso relativo asignado a cada variable o parámetro ( $Sub_i$ ), este peso está ponderado de entre 0 hasta 1 de tal manera que su sumatoria resulte igual a 1.

$Sub_i$ : Subíndices de la variable o parámetro  $i$ .

El peso para cada parámetro es:

**Tabla 18.**

*Pesos relativos para los parámetros del “ICA”*

| $i$ | $Sub_i$                   | $W_i$ |
|-----|---------------------------|-------|
| 1   | Coliformes Fecales        | 0.15  |
| 2   | pH                        | 0.12  |
| 3   | DBO <sub>5</sub>          | 0.10  |
| 4   | Nitratos                  | 0.10  |
| 5   | “Fosfatos                 | 0.10  |
| 6   | Temperatura               | 0.10  |
| 7   | Turbidez                  | 0.08  |
| 8   | Sólidos Disueltos Totales | 0.08  |
| 9   | Oxígeno Disuelto          | 0.17  |

*Nota.* Esta tabla muestra los valores de los pesos establecidos para los parámetros del “ICA”

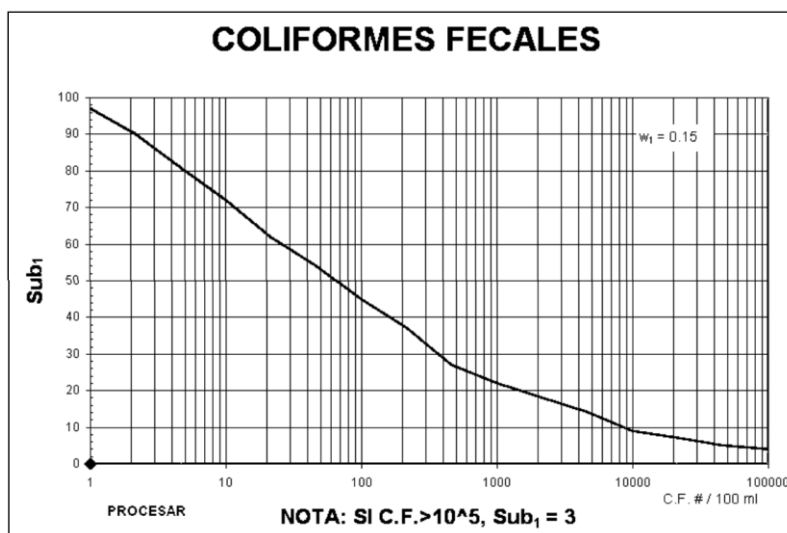
Brown & Barnwell (1987), mencionan que para cada parámetro existe una curva, la cual correlaciona la concentración con la calidad de la misma. De tal manera que, en base al resultado del parámetro ( $i$ ) se obtuvo el valor del subíndice ( $Sub_i$ ). Ahora bien, este valor se consigue de la curva a partir de la concentración de la variable específica ubicada en el eje (x), para posteriormente determinar la magnitud en el eje (Y), en la cual se encuentran valores de 0 a 100.

La guía que se siguió para el cálculo del ICA fue:

Para la concentración de coliformes fecales superior a 100000 Bact/100 ml, ( $Sub_1$ ) será igual a 3, por otro lado, si la concentración es inferior a 10000 Bact/100 ml, se debe buscar el valor en el eje (X) de la Figura 6, interpole en el eje Y. El valor resultante es el ( $Sub_1$ ) de coliformes fecales.

### Figura 1.

*Valoración de la calidad de agua en relación a coliformes fecales*

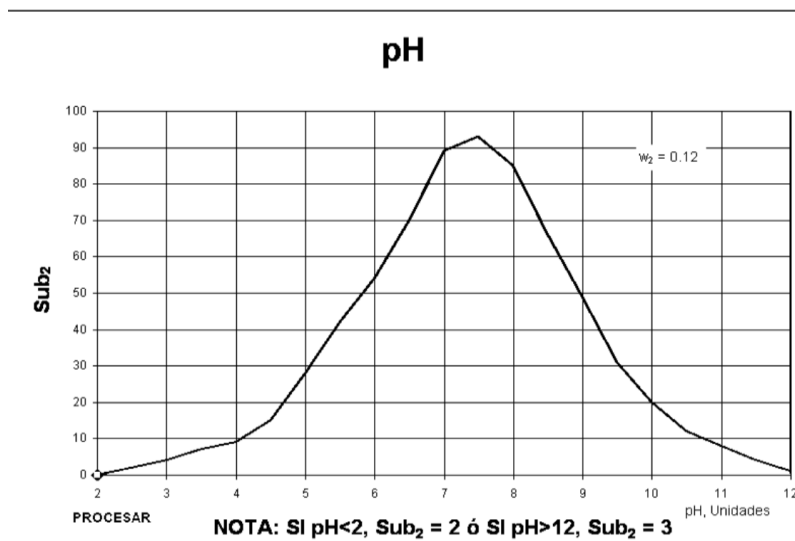


**Fuente.** (Novillo & Cárdenas, 2020)

Si el valor del pH es igual o inferior a 2 unidades el ( $Sub_2$ ) es igual a 2, pero si el valor es mayor o igual a 10 unidades se debe buscar el valor en el eje (X) de la Figura 7, busque el valor en el eje Y. Este resultante es el ( $Sub_2$ ) de pH.

**Figura 2.**

Valoración de la calidad de agua en relación con el pH

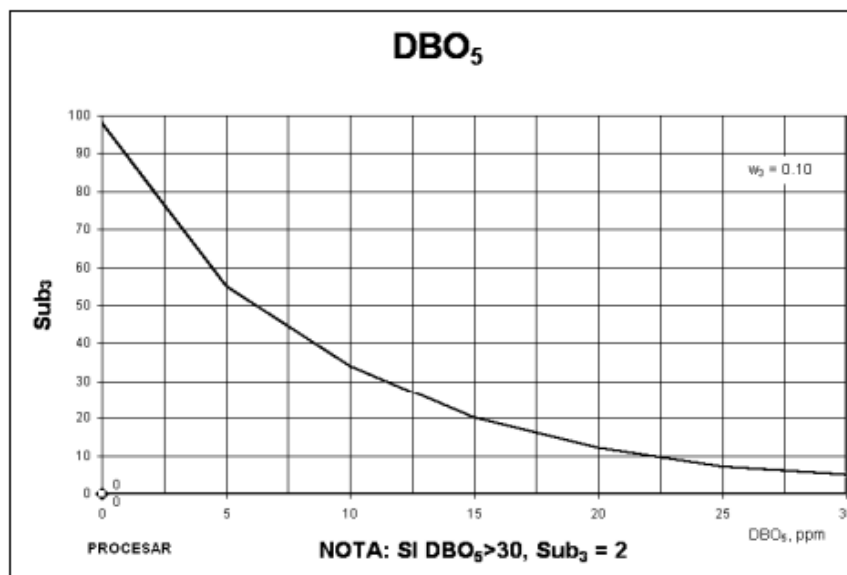


Fuente. (Novillo & Cárdenas, 2020)

Al presentar una concentración de DBO<sub>5</sub> superior a 30 mg/l, (Sub<sub>3</sub>) será equivalente a 2, caso contrario si la concentración es inferior a 30 mg/l, busque el resultado en el eje (X) de la Figura 8, y busque el valor en el eje Y. Este resultante es el (Sub<sub>3</sub>) de DBO<sub>5</sub>.

**Figura 3.**

Valoración de la calidad de agua en relación al DBO<sub>5</sub>

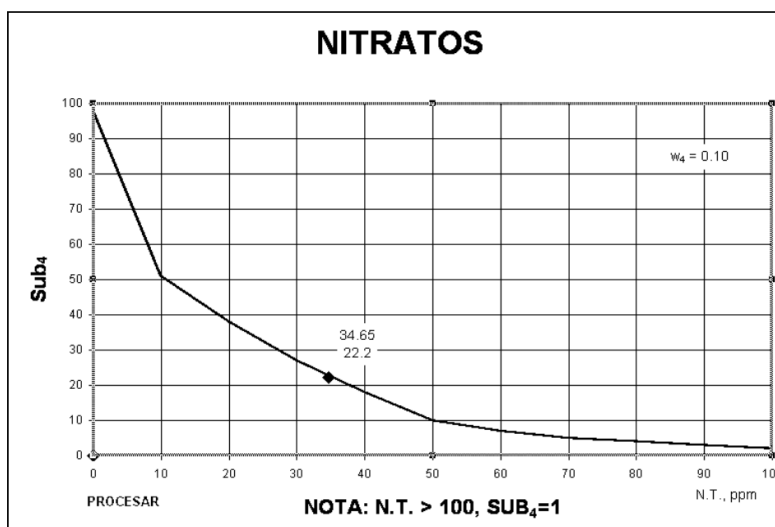


Fuente. (Novillo & Cárdenas, 2020)

Si los nitratos son mayores a 100 mg/l el (Sub<sub>4</sub>) es igual a 2. Si los nitratos son menores a 100 mg/l, busque el valor en el eje (X) en la Figura 9, y busque el valor en el eje Y. Este resultante es el (Sub<sub>4</sub>) de Nitratos.

**Figura 4.**

*Valoración de la calidad de agua en relación a nitratos*

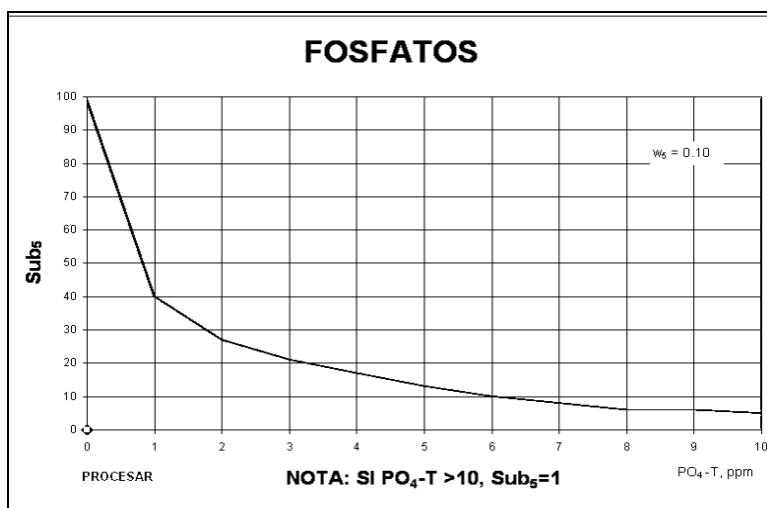


**Fuente.** (Novillo & Cárdenas, 2020)

Si los fosfatos son mayores a 10 mg/l el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 5. Si los fosfatos son menores a 10 mg/l, busque el valor en el eje (X) en la Figura 10 y busque el valor en el eje Y. Este resultante es el (Sub<sub>5</sub>) de Fosfatos.

**Figura 5.**

Valoración de la calidad de agua en relación a fosfatos

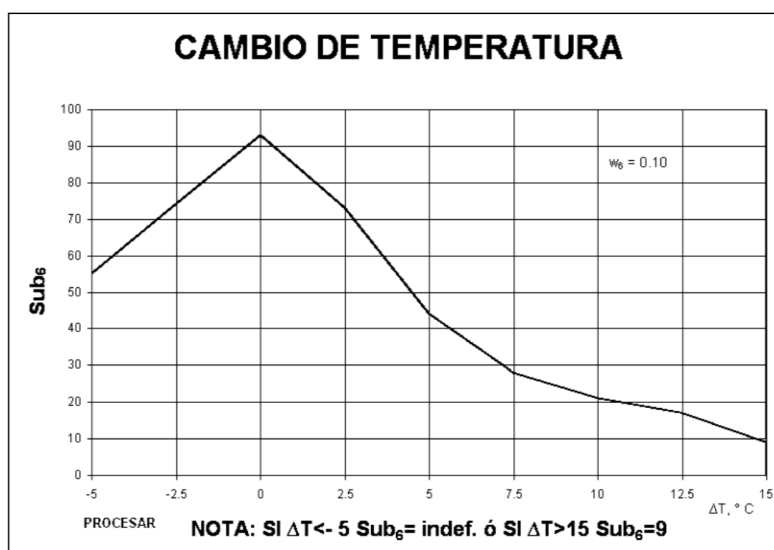


**Fuente.** (Novillo & Cárdenas, 2020)

Para el parámetro de la temperatura (Sub<sub>5</sub>) primero se debe calcular la diferencia de temperaturas entre la temperatura ambiente y la temperatura de la muestra y con el valor obtenido proceder. Si el valor de esa diferencia es mayor de 15°C, se debe buscar el valor en el eje (X) en la Figura 11, y buscar el valor en el eje Y. Este resultado es el (Sub<sub>4</sub>) de Temperatura.

**Figura 6.**

Valoración de la calidad de agua en relación a la temperatura

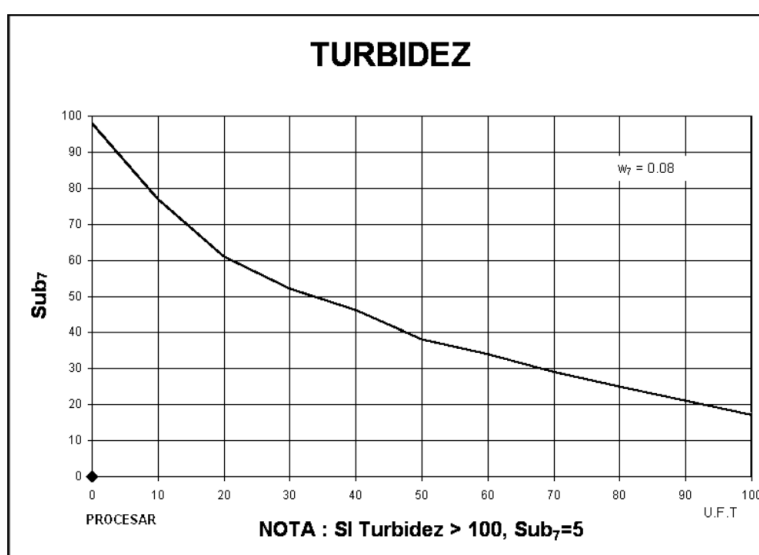


**Fuente.** (Novillo & Cárdenas, 2020)

Si la turbidez es superior de 100 FAU el (Sub<sub>7</sub>) es igual a 5. Si la turbidez es inferior a 100 FAU, busque el valor en el eje (X) en la Figura 6, y busque el valor en el eje Y. Este resultante es el (Sub<sub>4</sub>) de Turbidez.

**Figura 7.**

*Valoración de la calidad de agua en relación a la turbidez*

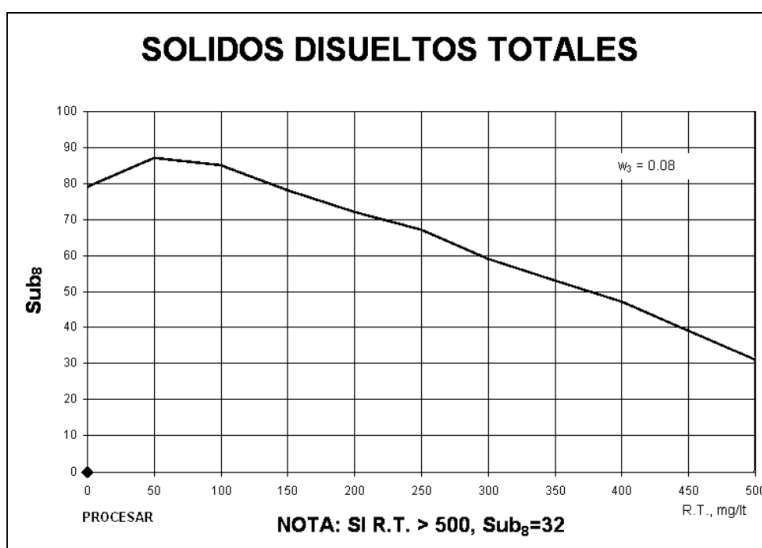


**Fuente.** (Novillo & Cárdenas, 2020)

Si los Sólidos Disuelto Totales son mayores de 500 mg/l el (Sub<sub>8</sub>) es igual a 3, si es menor de 500 mg/l, se debe buscar el valor en el eje (X) en la Figura 12, y busque el valor en el eje Y. Este resultante es el (Sub<sub>8</sub>) de Sólidos Disueltos Totales.

**Figura 8.**

*Valoración de la calidad de agua en relación a sólidos disueltos totales*

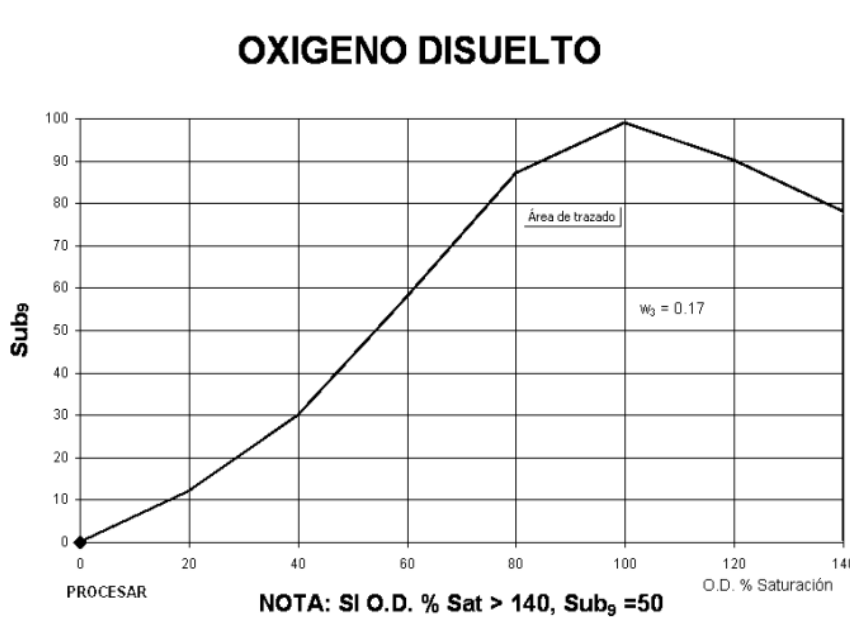


**Fuente.** (Novillo & Cárdenas, 2020)

Para el oxígeno disuelto, la saturación del agua se debe presentar en porcentaje. Para ello se identificó el resultado de saturación del oxígeno con respecto a la temperatura. Luego si el % de saturación es mayor a 140% el (Sub<sub>9</sub>) es igual al 47, por otro lado, si el valor obtenido es menor a 140%, debe buscar el valor en el eje (X) en la Figura 13, y busque el valor en el eje Y. Este resultante es el (Sub<sub>9</sub>) de Oxígeno disuelto.

**Figura 9.**

*Valoración de la calidad de agua en relación al oxígeno disuelto*



**Fuente.** (Novillo & Cárdenas, 2020)

## 10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

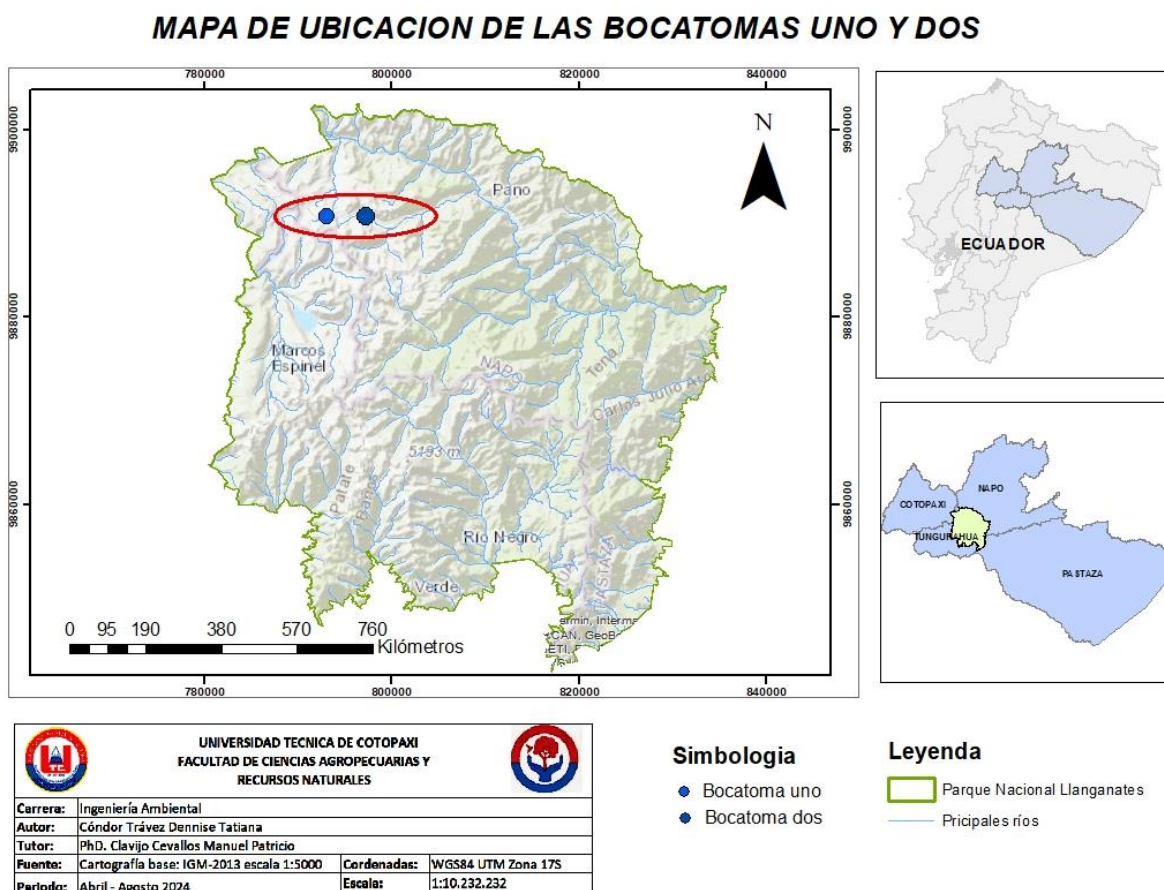
### A. Determinación del área de estudio por medio de puntos georreferenciados

#### 10.1. Área de Estudio

Los puntos de captación, bocatoma uno y dos perteneciente al sistema hídrico del sector Novillo Pungo está ubicado en la provincia de Napo en el cantón Tena, dentro del del Parque Nacional Llanganates el mismo que está ubicado en la sección sur de la Bioreserva El Cóndor, en cuatro provincias del Ecuador, Cotopaxi, Pastaza, Tungurahua y Napo con una extensión de 219,931 hectáreas, con un rango altitudinal que va desde los 860 msnm hasta 4,571 msnm. Demostrando la existencia de bosques andinos que cubren las faldas orientales de la cordillera. En ciertas zonas la topografía se suaviza y da lugar a la formación de lagunas y al desarrollo de frailejones gigantes, más de 30 lagunas de donde sale una de las más grandes de agua dulce de la región, otra de las marcas de identidad del parque.

**Figura 10.**

Mapa de ubicación de la bocatoma uno y dos



*Nota.* El presente mapa presenta los puntos de muestreo de la bocatoma uno y dos en el sector de Novillo Pungo.

## 10.2. Selección de puntos de muestreo

Para la determinación de los puntos de muestreo y toma de muestras se realizó un recorrido a lo largo de la columna de agua, donde se identificó las zonas puntuales de fácil acceso debido a la existencia de abundante vegetación a las orillas del río, descartando zonas profundas, tomando en cuenta los lugares con alta representatividad para su posterior análisis, físico-químico y microbiológico.

**Tabla 19.***Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo*

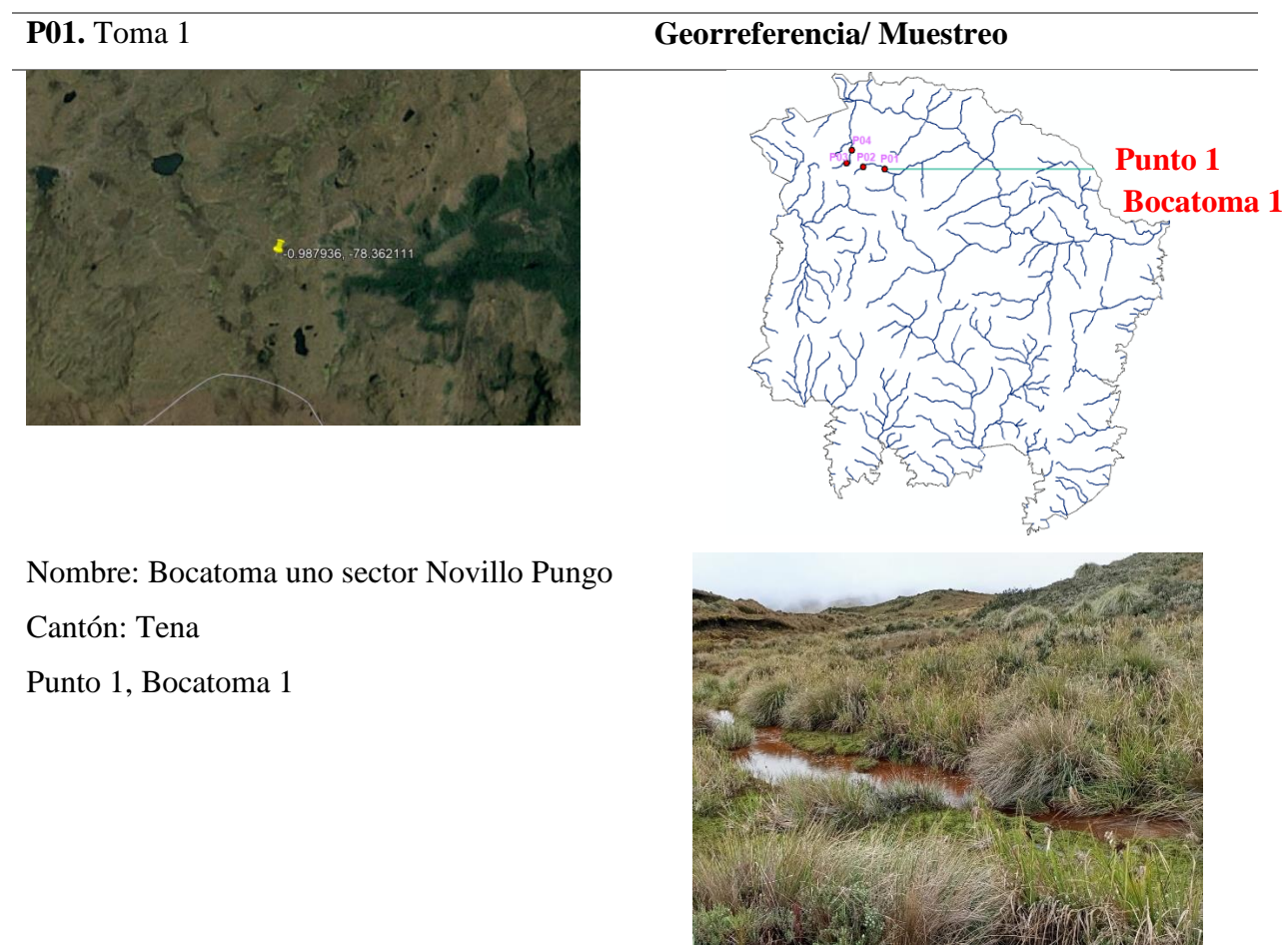
| <b>Coordenadas</b> | <b>X</b> | <b>Y</b> | <b>Altitud</b> | <b>Ubicación</b> |
|--------------------|----------|----------|----------------|------------------|
| P01                | 793592   | 9890643  | 3815           | Toma 1           |
| P02                | 793536   | 9890594  | 3812           |                  |
| P01                | 793469   | 9890746  | 3827           | Toma 2           |
| P02                | 793496   | 9890732  | 3817           |                  |

*Nota.* La tabla 19 muestra las coordenadas de los dos puntos de muestreo de las dos bocatomas.

El punto de toma de muestras para los análisis físico-químicos y microbiológicos se pueden visualizar la figura 2, la ubicación de los puntos de muestreo y la descripción de las bocatomas, en la figura 3, se muestra el segundo punto de muestreo de la bocatoma uno, en la figura 4 se evidencia el primer punto para el muestreo de la bocatoma dos y en la figura 5 se demuestra el segundo punto de la bocatoma dos.

**Figura 11.**

*Ubicación geográfica del P01 de la bocatoma uno*



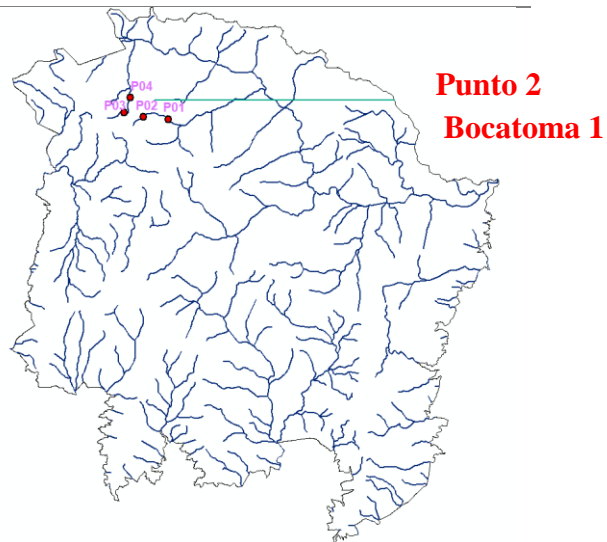
*Nota.* Esta figura muestra el primer punto de muestreo de la bocatoma uno del sector de Novillo Pungo.

**Figura 12.**

*Ubicación geográfica del P02 de la bocatoma uno*

**P02.** Toma 1

**Georreferencia/ Muestreo**



Nombre: Bocatoma uno, sector Novillo Pungo

Cantón: Tena

Punto 2, Bocatoma uno



*Nota.* Esta figura muestra el segundo punto de muestreo de la bocatoma uno del sector de Novillo Pungo.

**Figura 13.**

*Ubicación geográfica del P01 de la bocatoma dos*



*Nota.* Esta figura muestra el primer punto de muestreo de la bocatoma dos del sector de Novillo Pungo.

**Figura 14.**

*Ubicación geográfica del P04 de la bocatoma dos*



*Nota.* Esta figura muestra el segundo punto de muestreo de la bocatoma dos del sector de Novillo Pungo.

### 10.3. Georreferenciación de los puntos de muestreo

Esto consistió en la obtención precisa del área específica mediante el uso de puntos georreferenciados. Este proceso implicó la recopilación de datos exactos de los cuatro puntos para el monitoreo y muestreo de las bocatomas uno y dos a través de un GPS. Utilizando el equipo de georreferenciación se identificaron los puntos de fácil acceso y el registro de coordenadas exactas de los puntos clave.

**B. Diagnóstico de la calidad de agua de la bocatoma uno y dos del sector Novillo Pungo, Nacional Llanganates mediante el análisis físico-químico y microbiológico, utilizando la diversidad de macroinvertebrados como bioindicadores.**

**10.4. Índices de calidad de agua por macroinvertebrados**

Con la ayuda del método de patada se recolectaron los macroinvertebrados, para su identificación se utilizó información bibliográfica y claves taxonómicas que abarca las características de los macroinvertebrados, Para este proyecto el muestreo de macroinvertebrados se realizó en los meses mayo y junio, así como también la aplicación de los índices EPT, BMWP, ABI, Shannon – Weaver y Simpson y a través de estos se determina la calidad de agua de las bocatomas uno y dos, todo lo anterior mencionado se presenta en las tablas 20 y 22. Este proceso se puede visualizar en el Anexo 2.

**10.4.1. Calidad de agua de las bocatomas uno y dos en el mes de mayo**

**Tabla 20.**

*Resultados de la calidad de agua por macroinvertebrados e índices de diversidad en el mes de mayo*

| <b>Bocatoma uno y dos</b> |              |                |                |                |                 |                |                       |                      |                |                   |
|---------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------------|----------------------|----------------|-------------------|
| <b>Mes:</b>               | Mayo         |                | <b>Calidad</b> |                |                 |                | <b>Índice</b>         |                      |                |                   |
| <b>Toma 1</b>             |              |                |                |                |                 |                |                       |                      |                |                   |
| <b>Punto de muestreo</b>  | <b>EPT %</b> | <b>Calidad</b> | <b>ABI</b>     | <b>Calidad</b> | <b>BMWP/COL</b> | <b>Calidad</b> | <b>Shannon-Weaver</b> | <b>Biodiversidad</b> | <b>Simpson</b> | <b>Dominancia</b> |
| Punto 1                   | 55.97%       | Buena          | 50             | Buena          | 101             | Buena          | 2.51                  | Media                | 11.17          | Alta              |
| Punto 2                   | 52.02%       | Buena          | 52             | Buena          | 102             | Buena          | 2.4                   | Media                | 8.52           | Alta              |
| <b>Toma 2</b>             |              |                |                |                |                 |                |                       |                      |                |                   |
| Punto 1                   | 65.03%       | Buena          | 54             | Buena          | 101             | Buena          | 2.50                  | Media                | 10.35          | Alta              |
| Punto 2                   | 69.06%       | Buena          | 54             | Buena          | 110             | Buena          | 2.45                  | Media                | 9.95           | Alta              |

*Nota.* Esta tabla establece los valores obtenidos de los índices aplicados para la determinación de la calidad del agua en el mes de mayo.

Los resultados del mes de mayo se presentan la tabla 20, para el índice BMWP/COL el resultado del punto uno de las bocatomas uno y dos presentan un valor de 101 para los dos puntos de

muestreo, demostrando una calidad de agua es buena, en la bocatoma 2 del punto uno y dos presentan valores de 102 y 110 respectivamente significando que la calidad del agua es buena.

Para el índice ABI el resultado en los cuatro puntos de muestreo ha demostrado que la calidad del agua es buena. Es decir, para la bocatoma 1 se presenta para los puntos 1 y 2 con valores de 50 y 52 y para la bocatoma 2 para los dos puntos de muestreo un valor de 54. El índice EPT demuestra los para el punto 1 y 2 de la bocatoma uno con unos valores de 55.97% y 52.02% y para los puntos 1 y 2 de la bocatoma dos con valores de 65.03% y 69.06% respectivamente, indicándonos que la calidad del agua es buena. Según la investigación de (vonHessberg et al., 2009), indica que encontrar una familia de macroinvertebrados que se presente en aguas de poca calidad, no es precisamente que el agua se entre en mal estado, de acuerdo a las características físico-químicas, microbiológicas e índices biológicos demuestran que puede existir pero más no ser un indicador de mala calidad de agua, esto debido a la presencia de varios microorganismos no aptos a contaminación.

**Tabla 21.**

*Macroinvertebrados recolectados en la bocatoma uno y dos en el mes de mayo*

| <b>Clase</b> | <b>Orden</b>   | <b>Familia</b>          | <b>N° Individuos</b> |
|--------------|----------------|-------------------------|----------------------|
| <b>Mayo</b>  |                |                         |                      |
| Insecta      | Trichoptera    | <i>Hidropsychidae</i>   | 77                   |
| Insecta      | Plecoptera     | <i>Perlidae</i>         | 46                   |
| Gordioida    | Gordioidea     | <i>Chordodidae</i>      | 11                   |
| Insecta      | Ephermeroptera | <i>Oligoneuriidae</i>   | 16                   |
| Insecta      | Trichoptera    | <i>Hydrobiosidae</i>    | 17                   |
| Aracnididos  | Araneae        | <i>Theridiidae</i>      | 3                    |
| Aracnididos  | Araneae        | <i>Dysderidae</i>       | 3                    |
| Insecta      | Díptera        | <i>Blepharoceridae</i>  | 66                   |
| Planarias    | Tricladida     | <i>Planariidae</i>      | 17                   |
| Insecta      | Odonata        | <i>Coenagrionidae</i>   | 12                   |
| Insecta      | Coleoptera     | <i>Gyrinidae</i>        | 15                   |
| Insecta      | Lepidóptera    | <i>Pyralidae</i>        | 44                   |
| Insecta      | Ephermeroptera | <i>Ephemeridae</i>      | 39                   |
| Insecta      | Trichoptera.   | <i>Atriplectididae</i>  | 39                   |
| Insecta      | Coleoptera     | <i>Dytiscidae</i>       | 48                   |
| Insecta      | Trichoptera.   | <i>Xiphocentronidae</i> | 49                   |
| Insecta      | Ephermeroptera | <i>Baetidae</i>         | 60                   |
| Insecta      | Trichoptera.   | <i>Leptoceridae</i>     | 42                   |
| Clitellata   | Haplotaxida    | <i>Tubificidae</i>      |                      |
| Anfibio      | Anura          | <i>Hyaellidae</i>       | 49                   |
| <b>TOTAL</b> |                |                         | <b>654</b>           |

*Nota.* Esta tabla presenta las principales familias encontradas en las bocatomas uno y dos en el mes de mayo.

En los cuatro puntos de muestreo en el mes de mayo se obtuvieron 654 individuos distribuidas en 20 familias de macroinvertebrados que se puede observan en la tabla 21 los cuales son: *Hidropsychidae*, *Perlidae*, *Chordodidae*, *Oligoneuriidae*, *Hydrobiosidae*, *Theridiidae*,

*Dysderidae, Blepharoceridae, Planariidae, Coenagrionidae, Gyrinidae, Pyralidae, Ephemeridae, Atriplectididae, Dytiscidae, Xiphocentronidae, Baetidae, Leptoceridae, Turbificidae, Hyalellidae* gran parte de estas familias pertenecen a la clase insecta. De tal manera que el índice de biodiversidad de Shannon – Weaver muestra una diversidad Alta con un promedio de 2,46. Además, la dominancia del índice de Simpson muestra que es alta, esto debido a que se evidenciaron varios individuos de una misma familia, con un promedio de 9,99. (Ortiz, 2005) menciona que no existe una diferencia entre épocas ambientales y no refleja la riqueza de las especies, sino que estas dependen de la heterogeneidad, se toma en cuenta esta consideración ya que al Parque Nacional Llanganates es un bosque fluvial la riqueza de los organismos no se verían afectados.

### 10.4.2. Calidad de agua de las bocatomas uno y dos en el mes de junio

**Tabla 22.**

*Resultados de la calidad de agua de agua por macroinvertebrados e índices de diversidad en el mes de junio*

| Bocatoma uno y dos |        |         |     |         |          |           |                |               |         |            |
|--------------------|--------|---------|-----|---------|----------|-----------|----------------|---------------|---------|------------|
| Mes:               | Junio  | Calidad |     |         |          |           | Índice         |               |         |            |
| Toma 1             |        |         |     |         |          |           |                |               |         |            |
| Punto de muestreo  | EPT %  | Calidad | ABI | Calidad | BMWP/COL | Calidad   | Shannon-Weaver | Biodiversidad | Simpson | Dominancia |
| Punto 1            | 52.47% | Buena   | 50  | Buena   | 101      | Buena     | 2.43           | Media         | 9.94    | Alta       |
| Punto 2            | 74.40% | Buena   | 45  | Buena   | 99       | Aceptable | 2.3            | Media         | 9.0     | Alta       |
| Toma 2             |        |         |     |         |          |           |                |               |         |            |
| Punto 1            | 69.83% | Buena   | 50  | Buena   | 98       | Aceptable | 2.51           | Media         | 11.28   | Alta       |
| Punto 2            | 67.63% | Buena   | 51  | Buena   | 102      | Buena     | 2.57           | Media         | 12.37   | Alta       |

*Nota.* Esta tabla establece los valores obtenidos de los índices aplicados para la determinación de la calidad del agua en el mes de julio.

Los resultados del mes de mayo se presentan la tabla 22, para el índice BMWP/COL el resultado del punto uno de las bocatomas uno y dos presentan un valor de 101 y 99 respectivamente, demostrando una calidad de agua es buena, en la bocatoma 2 en los puntos uno y dos presentan valores de 98 y 102 respectivamente significando que la calidad del agua es buena.

Para el índice ABI el resultado en los cuatro puntos de muestreo ha demostrado que la calidad del agua es buena. Es decir, para la bocatoma 1 se presenta para los puntos 1 y 2 con valores de 50 y 45 y para la bocatoma 2 para los puntos 1 y 2 valores de 50 y 51 respectivamente. El índice EPT demuestra los para el punto 1 y 2 de la bocatoma uno con unos valores de 52.47% y 74.40% y para los puntos 1 y 2 de la bocatoma dos con valores de 69.83% y 67.63% respectivamente, indicándonos que la calidad del agua es buena.

**Tabla 23.***Macroinvertebrados recolectados en la bocatoma uno y dos en el mes de junio*

| Clase        | Orden         | Familia                 | N° Individuos |
|--------------|---------------|-------------------------|---------------|
| <b>Junio</b> |               |                         |               |
| Insecta      | Trichoptera   | <i>Hidropsychidae</i>   | 67            |
| Insecta      | Plecoptera    | <i>Perlidae</i>         | 40            |
| Gordioida    | Gordioidea    | <i>Chordodidae</i>      | 15            |
| Insecta      | Ephemeroptera | <i>Oligoneuriidae</i>   | 19            |
| Insecta      | Trichoptera   | <i>Hydrobiosidae</i>    | 20            |
| Aracnididos  | Araneae       | <i>Theridiidae</i>      | 5             |
| Aracnididos  | Araneae       | <i>Dysderidae</i>       | 2             |
| Insecta      | Díptera       | <i>Blepharoceridae</i>  | 50            |
| Planarias    | Tricladida    | <i>Planariidae</i>      | 15            |
| Insecta      | Odonata       | <i>Coenagrionidae</i>   | 6             |
| Insecta      | Coleoptera    | <i>Gyrinidae</i>        | 38            |
| Insecta      | Lepidóptera   | <i>Pyralidae</i>        | 22            |
| Insecta      | Ephemeroptera | <i>Ephemeridae</i>      | 36            |
| Insecta      | Trichoptera.  | <i>Atriplectididae</i>  | 42            |
| Insecta      | Coleoptera    | <i>Dytiscidae</i>       | 51            |
| Insecta      | Trichoptera.  | <i>Xiphocentronidae</i> | 36            |
| Insecta      | Ephemeroptera | <i>Baetidae</i>         | 65            |
| Insecta      | Trichoptera.  | <i>Leptoceridae</i>     | 13            |
| <b>TOTAL</b> |               |                         | <b>542</b>    |

*Nota.* Esta tabla presenta las principales familias encontradas en las bocatomas uno y dos en el mes de junio.

En los cuatro puntos de muestreo en el mes de junio se obtuvieron 542 individuos distribuidas en 20 familias de macroinvertebrados que se puede observan en la tabla 23 los cuales son: *Hidropsychidae*, *Perlidae*, *Chordodidae*, *Oligoneuriidae*, *Hydrobiosidae*, *Theridiidae*, *Dysderidae*, *Blepharoceridae*, *Planariidae*, *Coenagrionidae*, *Gyrinidae*, *Pyralidae*, *Ephemeridae*, *Atriplectididae*, *Dytiscidae*, *Xiphocentronidae*, *Baetidae*, *Leptoceridae*, *Turbificidae*, *Hyaellidae*

gran parte de estas familias pertenecen a la clase insecta. De tal manera que el índice de biodiversidad de Shannon – Weaver muestra una diversidad Alta con un promedio de 2,45. Además, la dominancia del índice de Simpson muestra que es alta, esto debido a que se evidenciaron varios individuos de una misma familia, con un promedio de 10,64.

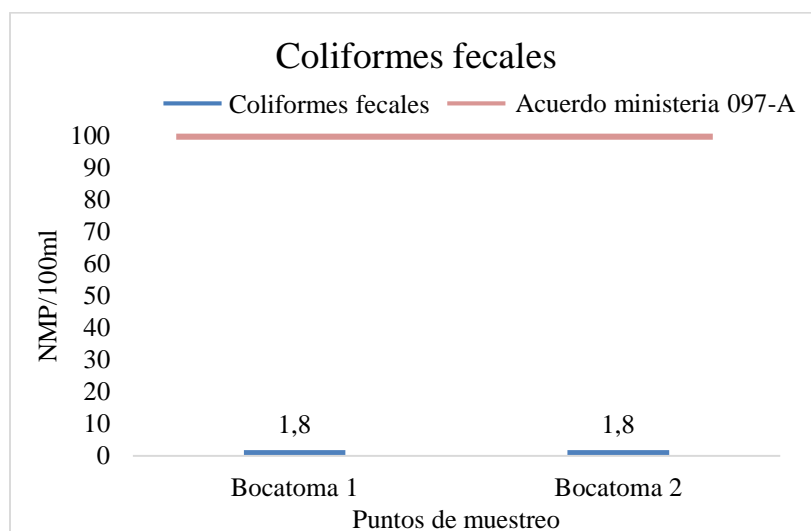
### 10.5. Resultados Físicos químicos y microbiológicos

Una vez obtenido los datos de análisis de las bocatomas uno y dos Anexo 4, se procedió a realizar la interpretación de los resultados para cada parámetro. Para ello se elaboraron gráficos que comparan los valores obtenidos con los límites permisibles para cada parámetro de acuerdo al Acuerdo Ministerial 097 A del Libro VI Anexo 1 del TULSMA, los parámetros analizados son los que corresponden a la tabla 3 “criterios de calidad de aguas para uso agrícola o riego”. Además, se podrá usar la tabla 4 como guía para la interpretación de la calidad de agua para riego. Los parámetros que se consideran para riego son: Coliformes fecales, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales.

#### 10.5.1. Coliformes Fecales

**Figura 15.**

*Comparación del parámetro Coliformes Fecales de la bocatoma uno y dos con límites permisibles*



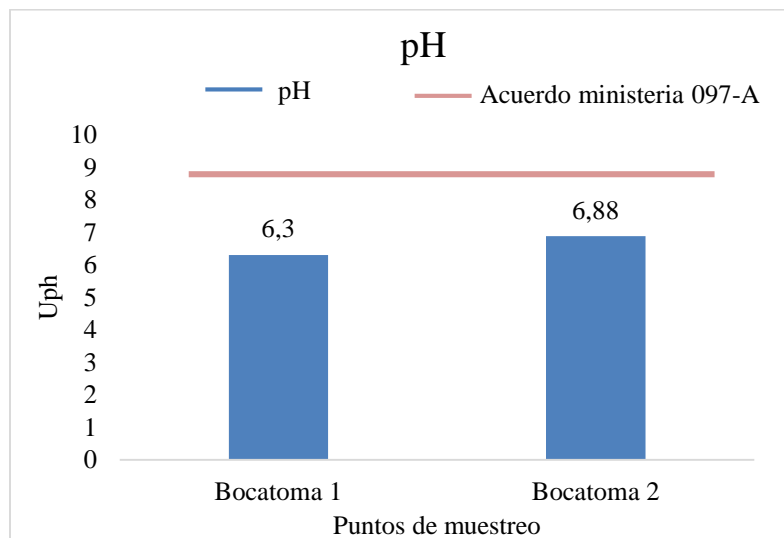
*Nota.* En la presente figura se observan los valores obtenidos para coliformes fecales de la bocatoma una y dos.

En la Figura 15 se muestran los resultados de los análisis microbiológicos para la bocatoma uno y dos, donde las concentraciones para coliformes fecales son de 1.8 NMP/100ml para los dos puntos de muestreo. Comparando con el criterio de calidad de 1000 NMP/100ml que señala el Acuerdo Ministerial 097 A del Libro VI del Anexo 1 del TULSMA, Tabla 3 criterios de calidad de agua para riego agrícola, los valores obtenidos de coliformes fecales no superan los límites permisibles al presentarse en unas concentraciones bajas, señalando una buena calidad de agua.

### 10.5.2. pH

#### Figura 16.

*Comparación del parámetro pH de la bocatoma uno y dos con límites permisibles*



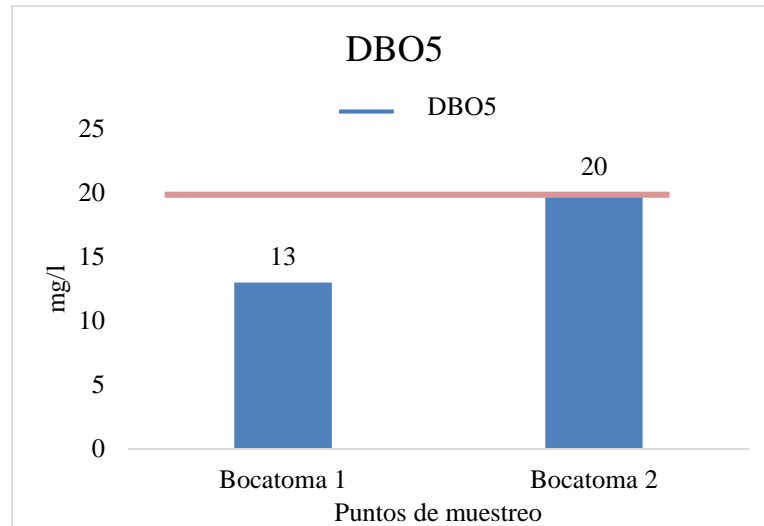
*Nota.* En la presente figura se observan los valores obtenidos para el pH de la bocatoma una y dos.

En la Figura 16 se observa los resultados del análisis químico para la bocatoma uno y dos, para las cuales los valores son 6.3 y 6.88 respectivamente, el límite permisible según lo señala el Acuerdo Ministerial 097 A del Libro VI del Anexo 1, tabla 3 “criterios para calidad de aguas de uso agrícola o riego” es de 6 a 9, por lo tanto, el parámetro analizado cumple con el límite permisible, demostrando una buena calidad de agua.

### 10.5.3. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

**Figura 17.**

*Comparación del parámetro DBO<sub>5</sub> de la bocatoma uno y dos con límites permisibles*



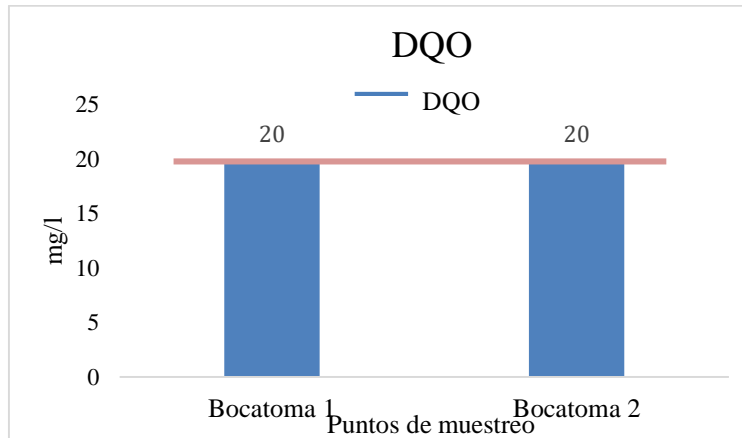
*Nota.* En la presente figura se observan los valores obtenidos para DBO<sub>5</sub> de la bocatoma una y dos.

Los valores obtenidos para el parámetro químico DBO<sub>5</sub> se pueden visualizar en la Figura 17. Los valores que se obtuvieron son 13 mg/l y 20 mg/l para la bocatoma uno y dos respectivamente. Dado que este parámetro no está dentro de la tabla 3 “criterios para calidad de aguas de uso agrícola o riego” se lo considera no aplicable.

#### 10.5.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

**Figura 18.**

*Comparación del parámetro DQO de la bocatoma uno y dos con límites permisibles*



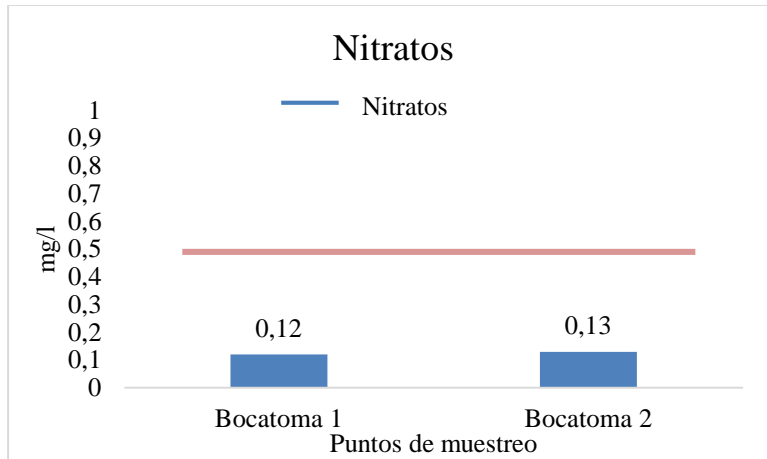
*Nota.* En la presente figura se observan los valores obtenidos para DQO de la bocatoma una y dos.

Los valores obtenidos para el parámetro químico DQO se pueden visualizar en la Figura 18. Los valores que se obtuvieron son 20mg/l para la bocatoma uno y dos respectivamente. Dado que este parámetro no está dentro de la tabla 3 “criterios para calidad de aguas de uso agrícola o riego” se lo considera no aplicable.

#### 10.5.5. Nitratos

**Figura 19.**

*Comparación del parámetro Nitratos de la bocatoma uno y dos con límites permisibles*



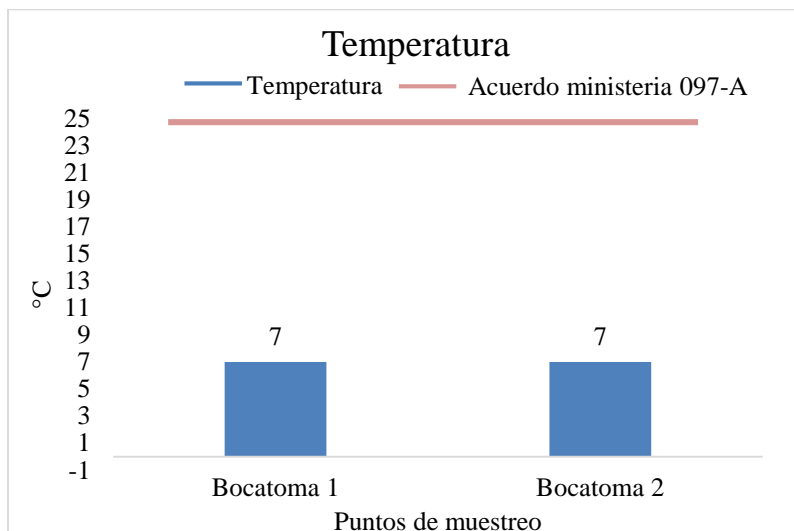
*Nota.* Esta figura presenta los valores obtenidos para nitratos de la bocatoma una y dos.

En la Figura 19 se observa los resultados del análisis químico para la bocatoma uno y dos, para las cuales los valores de nitratos son 0.12 y 0.13 mg/l respectivamente. Dado que este parámetro no está dentro de la tabla 3 “criterios para calidad de aguas de uso agrícola o riego” se lo considera no aplicable.

### 10.5.6. Temperatura

#### Figura 20.

*Comparación del parámetro Temperatura de la bocatoma uno y dos con límites permisibles*

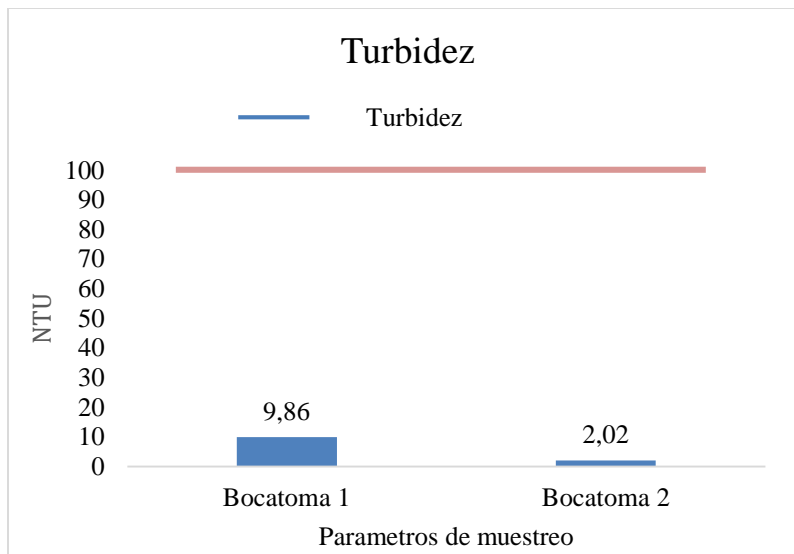


*Nota.* En la presente figura se observan los valores obtenidos de la temperatura de la bocatoma una y dos.

En la Figura 20 se muestran los resultados de los análisis físicos para la bocatoma uno y dos, donde el valor para este parámetro es de 7°C para los dos puntos de muestreo, considerando que este dato fue tomado *in situ*. Comparando con el criterio de calidad 25°C es lo que señala el Acuerdo Ministerial 097 A del Libro VI del Anexo 1 del TULSMA una temperatura adecuada, determinando una buena calidad de agua.

### 10.5.7. Turbidez

**Figura 21.** Comparación del parámetro Turbidez de la bocatoma uno y dos con límites permisibles

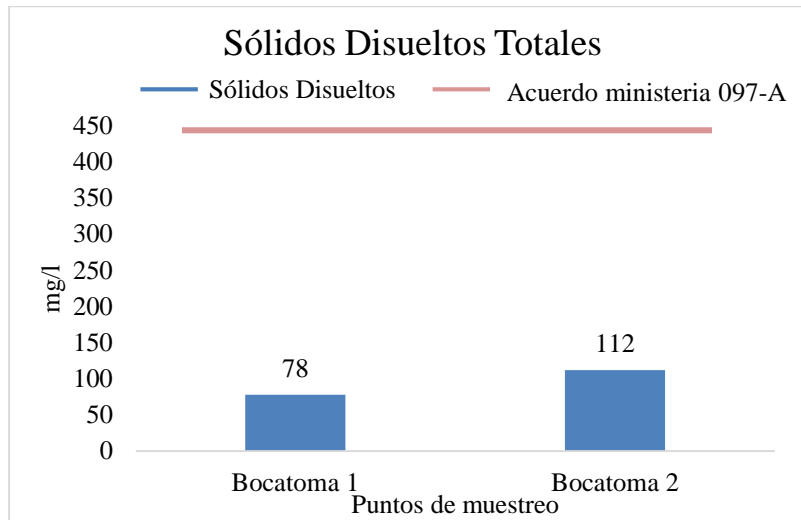


*Nota.* En la presente figura se observan los valores obtenidos de la turbidez de la bocatoma una y dos.

En la Figura 21 se observa los resultados del análisis físico para la bocatoma uno y dos, para las cuales los valores de turbidez son 9.86 y 2.02 UNT respectivamente. Dado que este parámetro no está dentro de la tabla 3 “criterios para calidad de aguas de uso agrícola o riego” se lo considera no aplicable.

### 10.5.8. Sólidos Disueltos Totales

**Figura 22.** Comparación del parámetro Sólidos Disueltos Totales de la bocatoma uno y dos con límites permisibles

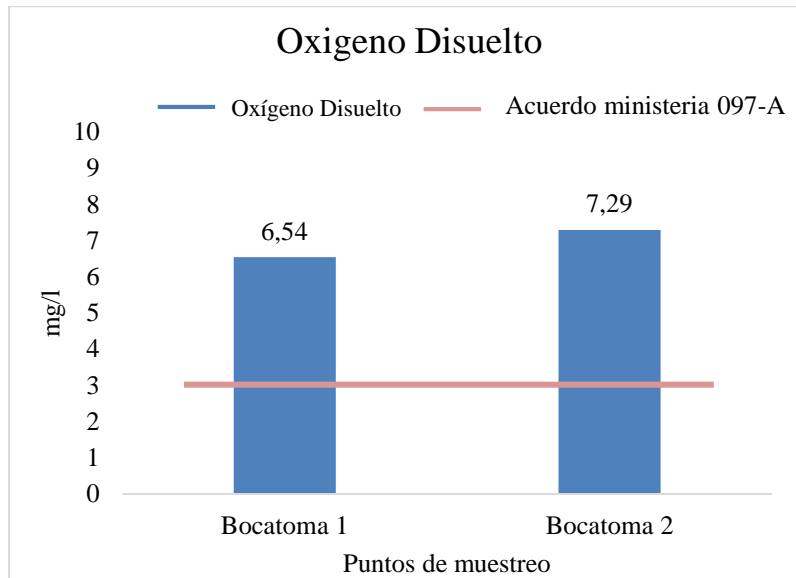


*Nota.* En la presente figura se observan los valores obtenidos para sólidos disueltos totales de la bocatoma una y dos.

En la Figura 22 se observa los resultados del análisis físico para la bocatoma uno y dos, para las cuales los valores de sólidos disueltos totales son 78 y 112 mg/l respectivamente según el TULSMA, Libro VI Anexo 1 Tabla 5 criterios de calidad de agua para uso pecuario, indica que el límite permisible es 3000 mg/l, el parámetro analizado cumple con el límite permisible, demostrando una buena calidad de agua.

### 10.5.9. Oxígeno disuelto

**Figura 23.** Comparación del parámetro Oxígeno Disuelto de la bocatoma uno y dos con límites permisibles



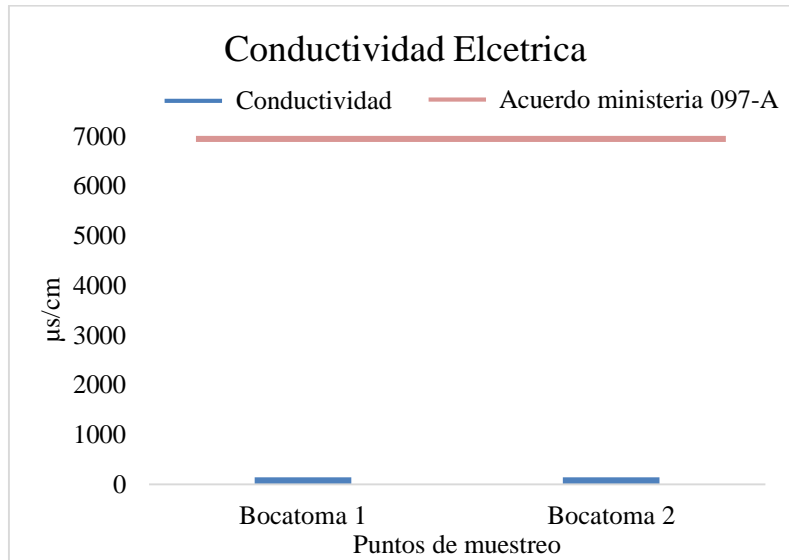
*Nota.* En la presente figura se observan los valores obtenidos para el oxígeno disuelto de la bocatoma una y dos.

Los valores obtenidos para el parámetro químico Oxígeno Disuelto se pueden visualizar en la Figura 23. Los valores que se obtuvieron son 6.54 y 7.29 mg/l para la bocatoma uno y dos respectivamente, las concentraciones fueron relacionados con los límites permisibles del TULSMA, Libro VI Anexo 1 Tabla 3 criterios de calidad de aguas para riego agrícola, el cual indica que el límite permisible es 5 mg/l, de tal manera que los valores obtenidos sobrepasan dicho límite, de tal manera que se puede interpretar que el agua es de buena calidad debido a la abundante vegetación. Se debe tomar en cuenta hay varios factores que aumentan o disminuyen el oxígeno disuelto en el agua, considerando que la temperatura del agua era 7°C, el agua fría puede retener más oxígeno que la caliente, esto puede contribuir al aumento del oxígeno, así como también la poca o nula contaminación orgánica donde la demanda química de oxígeno DBO<sub>5</sub> indica una menor descomposición por lo cual un menor consumo de oxígeno.

### 10.5.10. Conductividad eléctrica

**Figura 24.**

*Comparación del parámetro Conductividad Eléctrica de la bocatoma uno y dos con límites permisibles*



*Nota.* En la presente figura se observan los valores obtenidos para la conductividad eléctrica de la bocatoma una y dos.

Los valores obtenidos para el parámetro físico Conductividad Eléctrica se pueden visualizar en la Figura 24. Los valores que se obtuvieron son 140 µs/cm para la bocatoma uno y dos, las concentraciones fueron relacionados con los límites permisibles del TULSMA, Libro VI Anexo 1 Tabla 4 parámetros de los niveles de la calidad de agua para riego, el cual indica que el límite permisible es 7 00000 µs/cm, de tal manera que los valores obtenidos no sobrepasan dicho limite, es decir la calidad del agua es buena.

### 10.6. Índice de calidad de agua ICA – NSF

Una vez obtenido los datos del análisis de laboratorio para cada parámetro del ICA, se determinó el índice de calidad correspondiente para las dos bocatoma muestreadas Anexo 5, basándose en la metodología descrita con anterioridad.

Los resultados del índice ICA – NSF se pueden ver en la Tabla 24, para la bocatoma 1 muestra un valor de 76.6 mientras que para la bocatoma 2 un valor de 72.7, dando como resultado la buena calidad de agua de los puntos monitoreados.

**Tabla 24.**

*Calidad de agua según el índice ICA – NSF*

| <b>Calidad de agua ICA – NSF</b> |                        |                        |
|----------------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Puntos de muestreo</b>        | <b>Valor ICA – NSF</b> | <b>Calidad del ICA</b> |
| Bocatoma 1                       | 76.6                   | Buena                  |
| Bocatoma 2                       | 72.7                   | Buena                  |

*Nota.* Esta tabla demuestra la calidad del agua según el índice ICA-NSF.

**C. Comparación los resultados obtenidos de bioindicadores con análisis físico-químicos y microbiológicos sobre la calidad de agua.**

**10.7. Resultados de la comparación de índices de macroinvertebrados e ICA – NSF**

Para la comparación de los resultados físico-químicos, microbiológicos con los índices biológicos, se obtuvo el promedio de los índices de macroinvertebrados tanto para la bocatoma uno como para la bocatoma dos.

**Tabla 25.***Comparación de análisis físicos – químicos, microbiológicos, ICA e índices biológicos*

| <b>Parámetros físicos – químicos, microbiológicos e índices biológicos</b> |                      |                   |                   |
|--|----------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Parámetro</b>   | <b>Unidades</b>      | <b>Bocatoma 1</b> | <b>Bocatoma 2</b> |
| Coliformes Fecales   | NMP/100ml            | <1.8              | <1.8              |
| pH   | Uph                  | 6,30              | 6.88              |
| DBO5   | mg/l                 | <13               | <20               |
| Nitratos   | mg/l                 | <0,12             | 0.13              |
| Temperatura  | °C                   | 7                 | 7                 |
| Turbiedad  | NTU                  | 9.86              | 2.02              |
| Sólido Totales<br>Disueltos  | mg/l                 | 78                | 112               |
| Oxígeno disuelto   | mg/l                 | 6,54              | 7.29              |
| <b>ICA – NSF</b>   |                      | 76.6              | 72.7              |
| <b>Calidad de agua</b>   |                      | <b>Buena</b>      | <b>Buena</b>      |
| <b>Índice</b>  | <b>Clasificación</b> |                   |                   |
| EPT  | Buena                | 59%               | 68%               |
| BMWP/COL   | Buena                | 101               | 103               |
| ABI  | Buena                | 49                | 52                |
| <b>Índice de diversidad</b>  |                      |                   |                   |
| Shannon – Weaver   | Media                | 2                 | 3                 |
| Simpson  | Alto                 | 10                | 11                |

*Nota.* La presente tabla detalla los valores obtenidos para los índices aplicados para determinar la calidad de agua del sector Novillo Pungo.

En la tabla anterior se pudo constatar al momento de comparar los resultados que los valores de los índices como de los análisis de laboratorio se evidencia que concuerdan entre sí, dando como resultado una calidad de agua óptima. Teniendo como resultados para los análisis físico- químicos y microbiológicos valores de 76.7 y 72.7 para la toma uno y dos correspondientemente indicando que la calidad del agua es buena según el índice de calidad de agua (ICA - NSF), donde los valores para considerar que la calidad del agua es óptima van de 71 a 90. Ahora bien, los resultados de los

índices biológicos arrojaron datos los cuales muestran que tanto los tres índices EPT, BMWP/COL, ABI, tiene una calidad de agua buena, tomando en cuenta que el índice ABI tiene una mayor sensibilidad, sin embargo, presenta los datos obtenidos que corresponde a un valor de 49 mismo que está dentro de los valores 45-74 que indican que la calidad es aceptable. Además, los índices EPT y BMWP arrojaron datos de 59% y 101% respectivamente, demostrando que son aguas no contaminadas o alteradas de modo sensible, los cuales anuncian la buena calidad presente en los puntos de captación.

En cuanto al índice de diversidad Shannon – Weaver clasifica a las bocatomas con una diversidad media y el índice Simpson una dominancia alta ya que se encontraron varios individuos de la misma familia.

## **11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)**

### **11.1. Técnicos**

El proyecto de investigación proporcionó información detallada sobre la calidad de agua de las bocatomas uno y dos del sector Novillo Pungo, de tal manera que resultó fundamental para comprender la composición físico-química y microbiológica e identificar la concentración de contaminantes presentes en el recurso hídrico. Esto permite conocer la situación actual del río e identificar posibles fuentes de contaminación que afecta su calidad original. Por tal motivo este análisis constituye un impacto positivo al proporcionar información de parámetros que muestran la calidad del agua. Estos hallazgos destacan el buen cuidado del recurso hídrico. Por ello, para tener información precisa y en tiempo real es necesaria la implementación de estaciones de monitoreo que permitan evaluar parámetros como pH, conductividad eléctrica y turbidez, en la que se pueda obtener información temprana de los cambios en la calidad de agua y la implementación de medidas correctivas inmediatas.

### **11.2. Sociales**

Este proyecto ha tenido un impacto social significativo en distintas áreas. A proporcionar información detallada de la calidad el agua se ha contribuido a proteger la salud pública y reducir la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua de las comunidades que dependen de este recurso para actividades como riego y pecuario, así garantizando el suministro de agua seguro y confiable lo que también puede impulsar el desarrollo económico. Además, el proyecto promueve una conciencia ambiental y el cuidado de los páramos, dando participación a programas de prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan la escorrentía de contaminantes.

### **11.3. Ambientales**

Por medio de este proyecto se identificaron elementos que alteran la composición del agua y que introducen a problemas que modifica el ambiente y la productividad agrícola, para así garantizar la implantación de soluciones que permitan cumplir con los criterios necesarios para mantener el equilibrio en los ecosistemas, suelo, agua y especies vegetales. La buena calidad de agua asegura un riego sostenible y el bienestar de las comunidades beneficiadas de este recurso hídrico. Sin

embargo, las actividades antropogénicas, como la masiva agricultura, el desarrollo urbano pueden introducir de manera indirecta contaminantes químicos y desechos. Además, tomando en cuenta el cambio climático este puede alterar la calidad y disponibilidad de agua afectando a los organismos acuáticos presentes en la bocatoma uno y dos.

#### **11.4. Económicos**

La aplicación de varios índices para determinar la calidad de agua permitió conocer la aptitud del agua de los puntos estudiados, permitiendo dar soluciones a posibles contaminaciones que eviten pérdidas económicas por posibles contaminantes, evitando impactos negativos a los productores agrícolas que se benefician de este recurso. Además, que un producto de mala calidad repercutirá en una pérdida total de la inversión realizada. Así como también puede impulsar el turismo sostenible atrayendo a visitantes interesados al ecoturismo, esto puede favorecer a la economía local. La reducción de tratamientos para agua potable, esto requiere costos significativos en monitoreo y el tratamiento del recurso hídrico según la cantidad de contaminación evidenciada en el cauce.

## 12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 12.1. Conclusiones

- ❖ La determinación del área de estudio por puntos georreferenciados fue fundamental para garantizar la precisión y eficacia del monitoreo y muestreo, se identificó las zonas de fácil acceso sin mucha vegetación, optimizando el recurso y asegurando la efectividad de las intervenciones. Este proceso ha facilitado la localización exacta de los sitios de muestreo y ha asegurado la consistencia en la recolección de datos. La implementación de tecnología geoespacial ha demostrado ser fundamental para el diseño y ejecución del estudio, proporcionando una base sólida para la evaluación de la calidad del agua, permitiendo una replicabilidad futura de los estudios en las mismas ubicaciones.
- ❖ Los resultados de la aplicación de los índices biológicos ETP, BMWP/COL y ABI, demostraron que la calidad del agua en los puntos muestreados es buena, debido a la presencia de macroinvertebrados no tolerantes a la contaminación. Estos bioindicadores reflejan un ecosistema acuático saludable, con condiciones ambientales favorables para la vida acuática. Además, los índices de diversidad y dominancia muestran una diversidad media y una dominancia alta, lo que sugiere un equilibrio ecológico con una presencia significativa de algunas especies clave que dominan el ecosistema. En cuanto análisis físico-químicos y microbiológicos comparados con la legislación ambiental vigente (TULSMA), se ha confirmado el cumplimiento de los límites permisibles de los parámetros analizados los cuales están dentro de los rangos establecidos por la normativa.
- ❖ Los resultados de índices biológicos demuestran una calidad de agua buena, evidenciada por la diversidad de macroinvertebrados no tolerantes a la contaminación hallados en los muestreos realizados en las bocatomas uno y dos del sector Novillo Pungo. Los análisis físico-químicos, microbiológicos proporcionan información adicional que corroboran la información obtenida mediante la evaluación de macroinvertebrados. Estos análisis han demostrado que la mayoría de los parámetros evaluados están dentro de los límites permisibles establecidos en la legislación ambiental vigente (TULSMA), confirmando así la ausencia de contaminantes significativos y la buena calidad de agua. Esta calidad de agua adecuada es crucial para el desarrollo sostenible en la región, permitiendo tanto la agricultura como la conservación de la biodiversidad acuática.

## 11.1. Recomendaciones

Mediante los resultados del proyecto de investigación se puede presentar las siguientes recomendaciones:

- ❖ Es fundamental que el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica implemente un programa de monitoreo continuo que combine el uso de bioindicadores, análisis físico-químico y microbiológico. Este enfoque permitirá detectar de manera temprana cualquier cambio en la calidad del agua y tomar medidas oportunas. El monitoreo ayudará a garantizar que el agua de las bocatomas uno y dos continúe cumpliendo con los estándares ambientales establecidos, asegurando su aptitud para proyectos de riego y la conservación de la vida acuática.
- ❖ Los resultados demuestran que el agua es adecuada para actividades agrícolas y de ganadería, contribuyendo positivamente al desarrollo económico local y sostenibilidad ambiental, debiéndose incluir prácticas agrícolas sostenibles, control de desechos industriales y domésticos, protección de las zonas de captación de agua y el uso adecuado del recurso hídrico, también son esenciales. Estas medidas contribuirán a la sostenibilidad ambiental del Parque Nacional Llanganates. Las autoridades ambientales locales y los gobiernos autónomos descentralizados son responsables de implementar estas medidas.
- ❖ Se recomienda a la Junta de Agua, desarrollar proyectos de riego que promuevan la agricultura sostenible y el desarrollo económico local. Estos proyectos deben ser diseñados de manera que minimicen el impacto ambiental y maximicen el uso eficiente del agua. Simultáneamente, es importante implementar programas de conservación de biodiversidad entre autoridades ambientales, comunidades locales y organizaciones de conservación será clave para el éxito de estos proyectos, asegurando que se beneficien tanto los seres humanos como el medio ambiente.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

- Alban, G. P. G., Arguello, A. E. V., & Molina, N. E. C. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), Article 3. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Altansukh, O., & Davaa, G. (2011). Application of Index Analysis to Evaluate the Water Quality of the Tuul River in Mongolia. *Journal of Water Resource and Protection*, 3(6), Article 6. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2011.36050>
- Andino, P., Espinosa, R., Guevara, E., & Santander, T. (2017). *DataCite Commons: Cartilla de identificación de macroinvertebrados acuáticos: Guía para el monitoreo participativo*. <https://commons.datacite.org/doi.org/10.13140/rg.2.2.25555.81447>
- Arango, Á. (2013). Crisis mundial del agua. *Producción + Limpia*, 8(2), 7-8.
- Asueta, R., Súnico, A., Martín, J. P., & Sierpe, C. (2019). Uso de Indicadores Bióticos Basados en Macroinvertebrados Bentónicos para la Determinación de Calidad Ambiental en la Cuenca Superior del Río Gallegos, Santa Cruz. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v11i1.776>
- Basantes, C. L., & Andrade, J. C. (2022). Evaluación de la calidad del agua del río Chibunga por medio del Índice EPT. *Dominio de las Ciencias*, 8(4), Article 4. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i4.3101>
- Betancourt, C., Suárez, R., & Toledo, L. (2009). Patrones de distribución temporal de algunas variables físicas y químicas en el embalse Paso Bonito, Cienfuegos, Cuba. *Limnetica*, 28(1), 23-34.

- Biswas, A. K., & Tortajada, C. (2019). Water quality management: A globally neglected issue. *International Journal of Water Resources Development*, 35(6), 913-916.  
<https://doi.org/10.1080/07900627.2019.1670506>
- Bolaños, J. D., Cordero, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15-27. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Briñez, K. J., Guarnizo, J. C., & Arias V., S. A. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30(2), 175-182. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.11679>
- Brown, L. C., & Barnwell, T. O. (1987). *The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Model*. Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency.
- Buenaño, M., Vásquez, C., Zurita-Vásquez, H., Parra, J., & Pérez, R. (2018). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua en la cuenca del Pachanlica, provincia de Tungurahua, Ecuador. *Intropica*, 41-49.
- Cabrera, E., Hernández, L., Gómez, H., & Cañizares, M. del P. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92.
- Carrera, C., & Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/144719-opac>

- Chávez, J. A. V. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35, 304-308.  
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- Cirelli, A. F. (2012). *El agua: Un recurso esencial*.
- de Victorica Almeida, J. L. (1996). Modelo para simular la evolución del oxígeno disuelto en embalses. *Ingeniería del agua*, 3(2), 63-74. <https://doi.org/10.4995/ia.1996.2699>
- Encalada, A., Ríos, B., Rieradevall, M., Prat, N., & Garcia, N. (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S) / ISBN 978-9942-03-734-3—Libro*. <https://isbn.cloud/9789942037343/protocolo-simplificado-y-guia-de-evaluacion-de-la-calidad-ecologica-de-rios-andinos-cera-s/>
- Fernández, M. T. (2017). Determinación de coliformes totales y fecales en aguas de uso tecnológico para las centrifugas. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 51(2), 70-73.
- Flores, S. J. (2019). Relevamiento de flora del área protegida Bosque de Bolognia para la obtención de un índice de diversidad Shannon Wiener a través de una aplicación móvil. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 17(17), 215-238.
- Fong, W., Colpas, F., & Severiche Sierra, C. (2015). Evaluación de la precisión y exactitud para la determinación gravimétrica de sólidos disueltos totales en aguas. *Ciencia e Ingeniería: Revista de investigación interdisciplinar en biodiversidad y desarrollo sostenible, ciencia, tecnología e innovación y procesos productivos industriales*, 2(2), 4.
- Galvis, O. Z. (2006). Tipos de Investigación. *Revista Científica General José María Córdova*, 4(4), 13-14.

- Gamboa, M., Reyes, R., & Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 48(2), 109-120.
- Gastañaga, M. del C. (2018). Agua, Saneamiento y Salud. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35, 181-182.  
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3732>
- Gómez, E., Fernando, D., Aponte, G., & Betancourt, L. A. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA*, 81(184), 158-163.  
<https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>
- González, H., Crespo, E., Acosta, R., & Hampel, H. (2019). *Guía rápida para la identificación de macroinvertebrados de los ríos altoandinos del cantón Cuenca*. ETAPA.  
<https://geo.etapa.net.ec/monitoreoecohidrologico/files/docs/GUIA%20MACROINVERTEBRADOS.pdf>
- Krebs, C. (1985). *ECOLOGIA: ESTUDIO DE LA DISTRIBUCION Y LA ABUNDANCIA (2ª ED.)* | CHARLES J. KREBS | Segunda mano | Casa del Libro. casadellibro.  
<https://www.casadellibro.com/libro-ecologia-estudio-de-la-distribucion-y-la-abundancia-2-ed/9789686034530/771994>
- Ladrera, R., & Rieradevall, M. (2013). *MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO INDICADORES BIOLÓGICOS: UNA HERRAMIENTA DIDÁCTICA*.
- Landi, V. A., & Romero, F. (2022). Métodos Tradicionales y Alternativos, Su Incidencia en la Calidad del Proceso de Enseñanza–Aprendizaje de la Estadística Inferencial en la Escuela

- de Ingeniería Mecánica. *Polo del Conocimiento*, 7(7), Article 7.  
<https://doi.org/10.23857/pc.v7i7.4292>
- Leaño, J. J., & Pérez Barriga, D. (2020). Determinación de la Calidad del Agua mediante el índice BMWP/BOL (bioindicadores ecológicos) del Río Trancas, Municipio de Entre Ríos—Tarija. *Acta Nova*, 9(4), 567-591.
- Lecca, E. R., & Lizama, E. R. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80.
- Manta, G., & Alcántara, I. (2018). Variabilidad y tendencia de la temperatura superficial de los grandes embalses del Río Negro. *INNOTECH*, 16, 17-26.
- Martínez, M., Mendoza, J., Medrano, B., Gómez, L., & Mejía, C. Z.-. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020001>
- Maurat, L., Astudillo, D., Patiño, C., Fernández, L., & Loja, K. (2024). Determination of the Water Quality of the Copueno River by Macroinvertebrate Analysis. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 262-276.  
<https://doi.org/10.18502/epoch.v4i1.15830>
- Meneses-Campo, Y., Castro-Rebolledo, M. I., & Jaramillo-Londoño, A. M. (2019). Comparación De La Calidad Del Agua En Dos Ríos Altoandinos Mediante El Uso De Los Índices Bmwp/Col. Y Abi. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 299-310.
- Molina, C. I., Gibon, F.-M., Pinto, J., & Rosales, C. (2008). Aquatic macroinvertebrate structure in a high-andean stream of the Cordillera Real, Bolivia: Annual and longitudinal variations in relation to environmental factors. *Ecología Aplicada*, 7(1-2), 105-116.

- Morales, H. A. (2007). El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua. *Biocenosis*, 20(1-2), Article 1-2.  
<https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1304>
- Moya, N., François-Marie, G., Oberdorff, T., Rosales, C., & Domínguez, E. (2009).  
COMPARACIÓN DE LAS COMUNIDADES DE MACROINVERTEBRADOS  
ACUÁTICOS EN RÍOS INTERMITENTES Y PERMANENTES DEL ALTIPLANO  
BOLIVIANO: IMPLICACIONES PARA EL FUTURO CAMBIO CLIMÁTICO.  
*Ecología Aplicada*, 8(1-2), 105. <https://doi.org/10.21704/rea.v8i1-2.387>
- Newman, G. D. (2006). El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales. *Laurus*, 12(Ext), 180-205.
- Novillo, & Cárdenas, P. (2020). *Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca hidrográfica del Río Tutanangoza mediante análisis fisicoquímicos, microbiológicos y la aplicación del ICA-NSF.*
- Olivas, E., Flores, J. P., Serrano, M., Soto, E., Iglesias-Olivas, J., Salazar-Sosa, E., Fortis-Hernández, M., Olivas-Enriquez, E., Flores-Margez, J. P., Serrano-Alamillo, M., Soto-Mejía, E., Iglesias-Olivas, J., Salazar-Sosa, E., & Fortis-Hernández, M. (2011).  
Indicadores fecales y patógenos en agua descargada al Río Bravo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 449-457.
- Ortiz, L. L. (2005). La bioindicación de la calidad del agua: Importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogotá. *Umbral Científico*, 7, 5-11.

- Peña, J. M., Sarmiento, L. F., Susa, M. S. R., & Porras, L. S. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: Aplicación en ríos tropicales de alta montaña / Revisión corta. *UGCiencia*, 23, 55-70. <https://doi.org/10.18634/ugcj.23v.0i.659>
- Perez, A., Front, M., Acosta, K., Cordova, A., Zamora, E., Salazar, N., & Agurre, F. (2018). Guía de Macroinvertebrados Bentónicos de la provincia de Orellana, Ecuador. *ESF*. <https://esf-cat.org/blog/2018/01/08/guia-macroinvertebrados-bentonicos-provincia-orellana-equador/>
- Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3), 3-14. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Pérez, J. P., Peña, E., López, R., & Hernández, I. M. (2016). Metales pesados y calidad agronómica del agua residual tratada. *Idesia (Arica)*, 34(1), 19-25. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000100003>
- Restrepo, D. M., & Peña-Salamanca, E. (2021). Evaluación de la calidad del agua de un río tropical usando índices bióticos, fisicoquímicos y de diversidad. *REVISTA DE LA ASOCIACION COLOMBIANA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS*, 1(33), Article 33. <https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i33.220>
- Rodríguez, J., Ospina, R., & Turizo, R. (2011). Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(4), 1537-1552.
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: Cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana*

*de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254-274.

<https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>

- Rosabal, Y., Chang, L., Perez, N., & León, J. (2012). Evaluación de la demanda química de oxígeno en aguas de la provincia de Granma, Cuba. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 8, 15-20.
- Salgado, I., Cárcamo, H., Martínez, A., & María, D. C. (2011). *EFFECTOS AMBIENTALES DE CONTAMINANTES QUÍMICOS EN LAS AGUAS: UNA PROPUESTA*.
- Salmerón, A., Geada, G., & Fagilde, M. del C. (2017). Propuesta de un índice de diversidad funcional: Aplicación a un bosque semideciduo micrófilo de Cuba Oriental. *Bosque (Valdivia)*, 38(3), 457-466. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000300003>
- Samboni, N. E., Carvajal, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- Soler, P. E., Berroterán, J. L., Gil, J. L., & Acosta, R. A. (2012). Índice valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 62(1-4), 25-37.
- Solís, Y., Zúñiga, L. A., & Mora, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 35-46. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Terneus, E., & Yanez, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *La Granja*, 27(1), 36-50. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03>

- Valle, J. del. (2017). El agua, un recurso cada vez más estratégico. *Cuadernos de estrategia*, 186, 71-118.
- Vargas, B. E. (2014). TÓPICOS DE INFERENCIA ESTADÍSTICA: EL MÉTODO INDUCTIVO Y EL PROBLEMA DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 7(7), 86-92.
- Velázquez, L. de J., Ortiz, I. A., Chávez, J. A., Pámanes, G. A., Carrillo, A., & Pereda, M. E. (2022). Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.482>
- Viteri, M., Chalen, J. A., & Cevallos, Z. L. (2017). Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba. *Dominio de las Ciencias*, 3(3), 628-646.
- vonHessberg, C. M. H., Toro, D. R., Quintero, A. G., Quintero, G. M. D., & Uribe, L. S. (2009). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, municipio de Palestina, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 13(2), Article 2.