



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE TRES SITIOS DE
VISITA DE LA LAGUNA PATOCOCHA - RESERVA DE FAUNA
CHIMBORAZO MEDIANTE MACROINVERTEBRADOS
BENTÓNICOS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORA: JENNY MARIBEL CHIMBORAZO AROCA

DIRECTOR: Ing. PATRICIO XAVIER LOZANO RODRÍGUEZ MSc

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Jenny Maribel Chimborazo Aroca

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Jenny Maribel Chimborazo Aroca, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11 de julio de 2024



Jenny Maribel Chimborazo Aroca

060552384-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA RECURSOS NATURALES RENOVABLES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE TRES SITIOS DE VISITA DE LA LAGUNA PATOCOA - RESERVA DE FAUNA CHIMBORAZO MEDIANTE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS**, realizado por la señorita: **JENNY MARIBEL CHIMBORAZO AROCA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Rosa del Pilar Castro Gómez PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2024-07-11

Ing. Patricio Xavier Lozano Rodríguez MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-07-11

Dr. Edison Marcelo Salas Castelo PhD.
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-07-11

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios principalmente por permitirme la vida y la salud, por guiar mi camino y ser mi soporte espiritual. A mis padres y esposo quienes me brindaron todo su amor, apoyo y alentaron para seguir avanzando en momentos difíciles, por ser el motor de mi vida, la fuente de energía que me impulsa a superarme y ser mejor ser humano cada día, por ser pacientes y comprensivos. Gracias por ayudarme a culminar este paso académico. A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. Finalmente quiero dedicar esta tesis a todas mis amigas, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles

Jenny

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) a la facultad de Recursos Naturales, a mis profesores en especial al Ing. Patricio Lozano y al Dr. Marcelo Salas quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación y apoyo. Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a las técnicas del proyecto en el cual está vinculado mi tesis por su colaboración durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento y enseñanza permitió el desarrollo de este trabajo.

Jenny

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
<i>1.1 Planteamiento del problema.....</i>	<i>3</i>
<i>1.2 Objetivos.....</i>	<i>3</i>
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivo Específicos.....	4
<i>1.3 Justificación.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4 Pregunta de investigación.....</i>	<i>5</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Biodiversidad.....	6
2.1.1 Tipos de biodiversidad.....	6
<i>2.1.1.1 Diversidad alfa.....</i>	<i>6</i>
<i>2.1.1.2 Diversidad beta.....</i>	<i>6</i>
<i>2.1.1.3 Diversidad gamma.....</i>	<i>7</i>
2.1.2 Niveles de organización de los seres vivos.....	7
<i>2.1.2.1 Población.....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.2.2 Comunidad.....</i>	<i>7</i>

2.1.2.3	<i>Ecosistema</i>	7
2.1.2.4	<i>Paisaje</i>	8
2.1.2.5	<i>Región</i>	8
2.1.2.6	<i>Bioma</i>	8
2.1.2.7	<i>Biosfera</i>	8
2.1.2.8	<i>Nicho y hábitat</i>	9
2.2	Ecosistemas acuáticos	9
2.2.1	Sistemas lóticos	9
2.2.1.1	<i>Ríos y arroyos</i>	10
2.2.2	Sistemas lénticos	10
2.2.2.1	<i>Lagos y lagunas</i>	10
2.2.2.2	<i>Embalses</i>	11
2.2.2.3	<i>Humedales</i>	11
2.3	Macroinvertebrados acuáticos	11
2.3.1	Macroinvertebrados como bioindicadores	12
2.3.2	Modos de vida de los macroinvertebrados acuáticos	12
2.3.2.1	<i>Neuston</i>	12
2.3.2.2	<i>Necton</i>	13
2.3.2.3	<i>Bentos</i>	13
2.3.3	Identificación de los macroinvertebrados acuáticos	13
2.3.4	Macroinvertebrados indicadores de calidad del agua	14
2.3.4.1	<i>Ephemeroptera</i>	14
2.3.4.2	<i>Plecoptera</i>	15
2.3.4.3	<i>Trichoptera</i>	15
2.3.4.4	<i>Coleoptera</i>	15
2.3.4.5	<i>Diptera</i>	16
2.3.4.6	<i>Odonata</i>	16
2.4	Áreas protegidas	17

2.4.1	<i>Categorías de áreas protegidas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)</i>	17
2.4.1.1	<i>Parques Nacionales</i>	17
2.4.1.2	<i>Paisaje terrestre/ marino protegido</i>	18
2.4.1.3	<i>Reserva natural estricta</i>	18
2.4.1.4	<i>Área de manejo de hábitat/ especies</i>	18
2.4.1.5	<i>Monumento natural</i>	18
2.4.1.6	<i>Área Silvestre</i>	19
2.4.1.7	<i>Área protegida de recursos manejados</i>	19
2.5	Monitoreo ecológico	19
2.6	Índices de diversidad	20
2.6.1	<i>Índice de Diversidad de Shannon-Weaver</i>	20
2.6.2	<i>Índice de dominancia de Simpson (δ)</i>	21
2.6.3	<i>Índice de riqueza específica de Margalef</i>	22
2.6.4	<i>Índice de similitud de Sorensen</i>	22
2.6.5	<i>Índice de similitud de Jaccard</i>	22
2.6.6	<i>Dendograma de similitud de Bray Curtis</i>	23
2.7	Índices Biológicos	23
2.7.1	<i>Índice Biológico Monitoring Working Party (BMWP)</i>	23
2.7.2	<i>Índice de Average Score Per Taxón (ASPT)</i>	24
2.7.3	<i>Índice Andean Biotic Index (ABI)</i>	24
2.7.4	<i>Índice Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT)</i>	24
2.8	Calidad del agua	25
2.8.1	<i>Propiedades del agua</i>	25
2.9	Parámetros físicos, químicos y microbiológicos	25
2.9.1	<i>Parámetros físicos</i>	25
2.9.1.1	<i>Turbidez</i>	25
2.9.1.2	<i>Color</i>	26
2.9.1.3	<i>Sabor y Olor</i>	26

2.9.1.4	<i>Temperatura</i>	27
2.9.1.5	<i>Potencial de hidrógeno (pH)</i>	27
2.9.2	<i>Parámetros químicos</i>	27
2.9.2.1	<i>Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO)</i>	28
2.9.2.2	<i>Demanda Química del Oxígeno (DQO)</i>	28
2.9.2.3	<i>Salinidad</i>	28
2.9.2.4	<i>Nitritos (NO₂-) y Nitratos (NO₃-)</i>	29
2.9.2.5	<i>Fosfatos</i>	29
2.9.2.6	<i>Fósforo</i>	30
2.9.3	<i>Parámetros microbiológicos</i>	30
2.9.3.1	<i>Levaduras y Mohos</i>	30
2.9.3.2	<i>Aerobios</i>	31
2.9.3.3	<i>Coliformes fecales</i>	31
2.9.3.4	<i>Coliformes totales</i>	31
2.9.3.5	<i>Hongos</i>	31
2.10	<i>Análisis estadísticos para análisis de la biodiversidad</i>	32
2.10.1	<i>Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)</i>	32
2.11	<i>Estrategias de manejo para la conservación de ecosistemas acuáticos</i>	32
2.11.1	<i>Estrategias</i>	32
2.11.2	<i>Programas</i>	33
2.11.3	<i>Proyectos</i>	33

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	34
3.1	Ubicación Geográfica	34
3.2	Metodología	35
3.2.1	<i>Monitorear la condición ambiental de tres sitios de visita de la laguna Patococha</i> ...	35
3.2.1.1	<i>Identificación de los sitios de muestreo</i>	35

3.2.1.2	<i>Muestreo de agua en campo</i>	36
3.2.1.3	<i>Procesamiento de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua</i>	37
3.2.1.4	<i>Análisis de criterios de calidad del agua para uso: preservación de la vida acuática y silvestre</i>	40
3.2.2	<i>Analizar la biodiversidad de las comunidades de macroinvertebrados de tres sitios de visita de la laguna Patococha</i>	41
3.2.2.1	<i>Colecta de macroinvertebrados en campo</i>	41
3.2.2.2	<i>Procesamiento de macroinvertebrados en laboratorio</i>	42
3.2.2.3	<i>Identificación de macroinvertebrados</i>	43
3.2.2.4	<i>Análisis de biodiversidad de macroinvertebrados</i>	43
3.2.2.5	<i>Análisis de calidad de agua usando macroinvertebrados</i>	46
3.2.2.6	<i>Análisis estadístico entre macroinvertebrados, parámetros de agua y desechos</i>	50
3.2.3	<i>Formular medidas de manejo ambiental para conservar y aprovechar la laguna Patococha</i>	51
3.2.3.1	<i>Identificación del objeto de conservación de la laguna Patococha</i>	51
3.2.3.2	<i>Identificación de las amenazas generadas dentro de la laguna</i>	51
3.2.3.3	<i>Identificación de las oportunidades y estrategias para conservar la laguna</i>	52
3.2.3.4	<i>Análisis de amenazas del objetivo de conservación</i>	52
3.2.3.5	<i>Propuesta de manejo ambiental para el objetivo de conservación</i>	53

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	55
4.1	Monitoreo de la condición ambiental de tres sitios de visita de la laguna Patococha	55
4.1.1	<i>Muestras de 17 de marzo del 2023</i>	55
4.1.1.1	<i>Datos generales</i>	55
4.1.1.2	<i>Análisis de la calidad del agua</i>	56
4.1.1.3	<i>Criterios de permisibilidad para el agua</i>	57
4.1.2	<i>Muestras de 14 de marzo del 2023</i>	58

4.1.2.1	<i>Datos generales</i>	58
4.1.2.2	<i>Análisis de la calidad del agua</i>	59
4.1.2.3	<i>Criterios de permisibilidad para el agua</i>	60
4.2	Análisis de la biodiversidad de las comunidades de macroinvertebrados de tres sitios de visita de la laguna Patococha	60
4.2.1	<i>Muestreos de 17 de marzo del 2023</i>	60
4.2.1.1	<i>Registro de macroinvertebrados</i>	60
4.2.2	Índices de biodiversidad de macroinvertebrados	62
4.2.2.1	<i>Índice de Diversidad de Shannon-Weaver</i>	62
4.2.2.2	<i>Índice de dominancia de Simpson (δ)</i>	63
4.2.2.3	<i>Índice de riqueza específica de Margalef</i>	63
4.2.2.4	<i>Índice de similitud de Sorensen y Jaccard</i>	64
4.2.2.5	<i>Prueba de similitud de Bray Curtis</i>	65
4.2.2.6	<i>Índices de calidad de agua de Shannon-Weaver según Wihm & Doris, 1968 y Staub et al, 1970</i>	65
4.2.2.7	<i>Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col)</i>	66
4.2.2.8	<i>Índice Average Score Per Taxón o Puntuación Promedio por Taxa (ASPT)</i>	67
4.2.2.9	<i>Índice Andean Biotic Index- Índice Biológico Andino (ABI)</i>	68
4.2.2.10	<i>Índice Ephemeroptera, Platóptera y Trichoptera (EPT)</i>	69
4.2.2.11	<i>Análisis de correspondencia canónica (ACC) entre parámetros físico, químicos y microbiológicos y macroinvertebrados</i>	70
4.2.3	<i>Muestreo de 14 de julio del 2023</i>	71
4.2.3.1	<i>Registro de macroinvertebrados</i>	71
4.2.4	Índices de biodiversidad de macroinvertebrados	73
4.2.4.1	<i>Índice de Diversidad de Shannon-Weaver</i>	73
4.2.4.2	<i>Índice de dominancia de Simpson (δ)</i>	74
4.2.4.3	<i>Índice de riqueza específica de Margalef</i>	74
4.2.4.4	<i>Índice de similitud de Sorensen y Jaccard</i>	75
4.2.4.5	<i>Prueba de similitud de Bray Curtis</i>	76

4.2.4.6	<i>Índices de calidad del agua de Shannon-Weaver según Wihm & Doris, 1968 y Staub et al, 1970</i>	76
4.2.4.7	<i>Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col)</i>	76
4.2.4.8	<i>Índice Average Score Per Taxón o Puntuación Promedio por Taxa (ASPT)</i>	77
4.2.4.9	<i>Índice Andean Biotic Index- Índice Biológico Andino (ABI)</i>	78
4.2.4.10	<i>Índice Ephemeroptera, Plcóptera y Trichoptera (EPT)</i>	79
4.2.4.11	<i>Análisis de correspondencia canónica (ACC) entre parámetros físico, químicos y microbiológicos y macroinvertebrados</i>	80
4.2.5	<i>Formulación de medidas de manejo ambiental para conservar y aprovechar la laguna Patococha</i> ...	81
4.2.5.1	<i>Identificación del objetivo de conservación de la laguna Patococha</i>	81
4.2.5.2	<i>Identificación de las amenazas directas e indirectas en los sitios de muestreo</i>	82
4.2.5.3	<i>Análisis de amenazas del objetivo de conservación</i>	83
4.2.5.4	<i>Objetivo, estrategia y resultados para el objeto de conservación</i>	84
4.2.5.5	<i>Matriz de planificación</i>	85
4.2.5.6	<i>Matriz de planificación de los proyectos</i>	86
4.2.5.7	<i>Perfilamiento de las estrategias propuestas para la conservación y aprovechamiento de la laguna</i>	87
4.3	Pregunta de investigación	99
4.4	Discusión	101
	CONCLUSIONES	104
	RECOMENDACIONES	106
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Importantes grupos de macroinvertebrados acuáticos	14
Tabla 2-2: Valores del índice de diversidad de Shannon Wiener	21
Tabla 2-3: Valores del índice de dominancia de Simpson	21
Tabla 2-4: Rangos de riqueza según el índice Margalef	22
Tabla 3-5: Descripción de los tres sitios de muestro de la laguna Patococha	36
Tabla 3-6: Criterios de la calidad del agua según TULSMA (Anexo 1-libro VI) para la preservación de la vida acuática y silvestre	41
Tabla 3-7: Técnicas de colecta empleadas en los tres sitios de la laguna Patococha	42
Tabla 3-8: Calidad de agua basado en el índice de diversidad de Shannon-W según Wihm & Doris, 1968 y Staub et al, 1970	46
Tabla 3-9: Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col	47
Tabla 3-10: Clasificación de la calidad del agua y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP Col (modificado de Roldán 2003, en Álvarez 2006)	47
Tabla 3-11: Rangos de calidad de agua de acuerdo al índice ABI	48
Tabla 3-12: Puntuación órdenes y familias de macroinvertebrados acuáticos en el índice ABI	48
Tabla 3-13: Índice Ephemeroptera-Plecoptera-Tricoptera (EPT) para terminar la calidad del agua	49
Tabla 3-14: Clasificación de la calidad del agua según ASPT	50
Tabla 4-15: Sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)	56
Tabla 4-16: Parámetros y resultados del análisis de agua de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)	57
Tabla 4-17: Criterios de la calidad del agua según TULSMA (Anexo 1-libro VI) para la preservación de la vida acuática y silvestre de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)	58
Tabla 4-18: Sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)	58
Tabla 4-19: Parámetros y resultados del análisis de agua de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)	59
Tabla 4-20: Criterios de la calidad del agua según TULSMA (Anexo 1-libro VI) para la preservación de la vida acuática y silvestre de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)	60
Tabla 4-21: Registro de macroinvertebrados encontrados en el sitio de muestreo 12A1 de la laguna Patococha (muestreo 1)	61

Tabla 4-22: Registro de macroinvertebrados encontrados en el sitio de muestreo 12A2 de la laguna Patococha (muestreo 1).....	61
Tabla 4-23: Registro de macroinvertebrados encontrados en el sitio de muestreo 12A3 de la laguna Patococha (muestreo 1).....	62
Tabla 4-24: Cálculo del índice de Shannon-Weaver de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)	62
Tabla 4-25: Cálculo del índice de Simpson de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1).....	63
Tabla 4-26: Cálculo del índice de Margalef de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1).....	64
Tabla 4-27: Cálculo del índice Sorensen y Jaccard de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)	64
Tabla 4-28: Índice de calidad de agua de Shannon-Weaver según Wilhm & Dorris, 1968 y Staub et al., 1970 de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1).....	66
Tabla 4-29: Cálculo del índice BMWP/Col de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1).....	66
Tabla 4-30: Calidad de agua según el valor del índice BMWP/Col de los tres sitios de muestreo de laguna Patococha (muestreo 1)	67
Tabla 4-31: Cálculo del índice ASPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1).....	67
Tabla 4-32: Calidad de agua según el valor del índice ASPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1).....	68
Tabla 4-33: Cálculo del índice ABI de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1).....	68
Tabla 4-34: Calidad de agua según el valor del índice ABI de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1).....	69
Tabla 4-35: Cálculo del índice EPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1).....	69
Tabla 4-36: Calidad de agua según el valor del índice EPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1).....	70
Tabla 4-37: Registro de macroinvertebrados encontrados en el sitio de muestreo 12A1 de la laguna Patococha (muestreo 2).....	71
Tabla 4-38: Registro de macroinvertebrados encontrados en el sitio de muestreo 12A2 de la laguna Patococha (muestreo 2).....	72
Tabla 4-39: Registro de macroinvertebrados encontrados en el sitio de muestreo 12A3 de la laguna Patococha (muestreo 2).....	73

Tabla 4-40: Cálculo del índice Shannon-Weaver de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2).....	73
Tabla 4-41: Cálculo del índice Simpson de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2).....	74
Tabla 4-42: Cálculo del índice Margalef de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2).....	74
Tabla 4-43: Cálculo del índice Sorensen y Jaccard de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2).....	75
Tabla 4-44: Índice de calidad de agua de Shannon-Weaver según Wilhm & Dorris, 1968 y Staub et al., 1970 de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2).....	76
Tabla 4-45: Cálculo del índice BMWP/Col de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2).....	77
Tabla 4-46: Calidad de agua según el valor del índice de BMWP/Col de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2).....	77
Tabla 4-47: Cálculo del índice ASPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2).....	78
Tabla 4-48: Calidad de agua según el valor del índice ASPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2).....	78
Tabla 4-49: Cálculo del índice ABI de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2).....	79
Tabla 4-50: Calidad de agua según el valor del índice ABI de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2).....	79
Tabla 4-51: Cálculo del índice EPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha.....	79
Tabla 4-52: Calidad de agua según el valor del índice EPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2).....	80
Tabla 4-53: Amenazas directas e indirectas de cada sitio de muestreo de la laguna.....	82
Tabla 4-54: Matriz de planificación del programa en base al objeto de conservación.....	85
Tabla 4-55: Matriz de planificación de los proyectos en base al objeto de conservación.....	86
Tabla 4-56: Marco lógico de la estrategia 1.....	88
Tabla 4-57: Cronograma de actividades y presupuesto de la estrategia 1.....	89
Tabla 4-58: Marco lógico de la estrategia 2.....	92
Tabla 4-59: Cronograma de actividades y presupuesto de la estrategia 2.....	93
Tabla 4-60: Marco lógico de la estrategia 3.....	96
Tabla 4-61: Cronograma de actividades y presupuesto de la estrategia 3.....	97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Escala del pH	27
Ilustración 3-2: Ubicación Geográfica de los sitios de muestreo de la laguna Patococha	35
Ilustración 3-3: Procesamiento de macroinvertebrados en el laboratorio de Servicios Ambientales en la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH).....	43
Ilustración 3-4: Identificación de amenazas directas e indirectas del objetivo de conservación.	53
Ilustración 3-5: Representación de la propuesta de manejo ambiental del objetivo de conservación.	53
Ilustración 4-6: Dendograma de similitud del Bray-Curtis (muestreo 1).....	65
Ilustración 4-7: Análisis de correspondencia canónica entre parámetros del agua y macroinvertebrados (muestreo 1).....	71
Ilustración 4-8: Dendograma de similitud del Bray-Curtis (muestreo 2).....	76
Ilustración 4-9: Análisis de correspondencia canónica entre parámetros del agua y macroinvertebrados (muestreo 2).....	81
Ilustración 4-10: Identificación de amenazas directas e indirectas	83
Ilustración 4-11: Estructuración de lineamientos de conservación	84
Ilustración 4-12: ACC desechos-macroinvertebrados (muestreo 1).....	99
Ilustración 4-13: ACC desechos-macroinvertebrados (muestreo 2).....	100

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE MACROINVERTEBRADOS CON RED (A);
RECOLECCION MANUAL DE MACROINVERTEBRADOS (B)

ANEXO B: RECOLECCIÓN DE DESECHOS(A); CLASIFICACIÓN DE
MACROINVERTEBRADOS RECOLECCIÓN MANUAL DE MACROINVERTEBRADOS
(B)

ANEXO C: EQUIPO MULTIPARÁMETRO(A); MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS
DEL AGUA(B)

ANEXO D: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA Y MACROINVERTEBRADOS
EN CAMPO

ANEXO E: CLASIFICACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS EN EL LABORATORIO

ANEXO F: PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN EL LABORATORIO(A);
PARÁMETROS QUÍMICOS EN EL LABORATORIO (B)

ANEXO G: IDENTIFICACIÓN DE MACROINVERTEBRADOS EN EL LABORATORIO

RESUMEN

La laguna Patococha ubicada en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, en la parroquia Pilahuín, a 4228 msnm, al ser un lugar turístico, este se encuentra sometido a actividades antrópicas, que generan un deterioro en los recursos naturales especialmente en el recurso agua, que se ve afectado por la presencia de desechos, eutrofización y presencia de fecas de animales lo cual genera un cambio en la calidad del agua de la laguna. El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar la calidad de agua de 3 sitios de visita de la laguna mediante macroinvertebrados. El trabajo se enfocó en dos fases de campo y laboratorio, en campo se llevó a cabo la recolección de muestras de agua para su posterior análisis, medición de variables ambientales y parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y por último la búsqueda y recolección de macroinvertebrados en cada uno de los puntos, en base a la fase de laboratorio se procedió a medir los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua, a su vez se identificó y clasificó individuos en etanol para su almacenamiento. A través de las técnicas empleadas se llevó a cabo la valoración de calidad de agua empleando BMWP/Col lo cual otorgó resultados de agua con calidad “crítica” y “dudosa”, en cuanto al ABI este indicó una calidad de “malo” y “pésimo” y “malo” y en base al EPT para los 3 puntos de ambos muestreos fue “mala” indicando así el estado del agua en el que se encuentra la laguna, indicando que su estado es preocupante, debido a que se encuentra en deterioro progresivo del recurso. Para lo cual se recomienda que se establezcan las medidas de manejo y conservación de forma rápida, para así evitar el deterioro de los recursos naturales por medio de la reducción de fuentes de presión.

Palabras clave: <LAGUNA PATOCOCHA >, <CALIDAD DE AGUA >, <ÍNDICES BIÓTICOS>, <MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS>, <DESECHOS>, <PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS>, <PRESIONES>, <SISTEMAS LÉNTICOS >

0997-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

Patococha lagoon located in Chimborazo Wildlife Production Reserve, in Pilahuín parish, at 4228 meters above sea level, being a tourist place, this is subject to anthropic activities, which generate a deterioration in natural resources especially in the water resource, which is affected by the presence of waste, eutrophication and presence of animal feces which generates a change in the water quality of the lagoon. The objective of this research work was to evaluate the water quality of 3 visit sites of the lagoon through macroinvertebrates. The work focused on two phases of field and laboratory, in the field the collection of water samples was carried out for later analysis, measurement of environmental variables and physicochemical and microbiological parameters and finally the search and collection of macroinvertebrates in each one of the points, based on the laboratory phase, the physicochemical and microbiological parameters of the water were measured, in turn individuals were identified and classified in ethanol for storage. Through the techniques used, the water quality assessment was carried out using BMWP/Col which gave results of water with “critical” and “dubious” quality, as for the ABI this indicated a quality of “bad” and “terrible” and “bad” and based on the EPT for the 3 points of both samplings it was “bad” thus indicating the state of the water in which the lagoon is, indicating that its state is worrying, due to the fact that it is in progressive deterioration of the resource. For which it is recommended that management and conservation measures be established quickly, in order to avoid the deterioration of natural resources by reducing sources of pressure.

Keywords: <LAGUNA PATOCOCHA>, <WATER QUALITY>, <BIOTIC INDICES>, <BENTHONIC MACROINVERTEBRATES>, <WASTE>, <PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS>, <PRESSURES>, <LENTIC SYSTEMS>



Lic. Lorena Hernández A. Mcs.

180373788-9

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos son entornos que albergan una gran diversidad de organismos (Díaz, 2015, p.149), y que transfieren energía a lo largo de la cadena alimentaria, está íntimamente ligada al ciclo de nutrientes, por consiguiente, los organismos interactúan para preservar un equilibrio dinámico (Murua, 2014, p.19). Los ecosistemas acuáticos se clasifican en marinos, que están conformados por océanos, mares, marismas y arrecifes (Lara et al., 2008: pp.136-137) y los de agua dulce que integran a lagos, lagunas, ríos, arroyos y humedales (Pantaleón y Tineo, 2017: p.15). Respecto a las lagunas o denominadas sistemas acuáticos lénticos, según Morales y Salazar (2012: p.11) son cuerpos de agua que suele tener poca profundidad y están conectados a ríos o arroyos.

Los ecosistemas acuáticos lénticos son importantes para garantizar el suministro de servicios ecosistémicos, puesto que proveen de agua potable, alimento, recreación y otros recursos acuáticos, no obstante, su capacidad para proveer estos servicios se ve amenazada por presiones antropogénicas y naturales derivadas del uso de la tierra (Ureta et al., 2024: p.2), la expansión de asentamientos urbanos, la ganadería y vertidos de aguas residuales (Barrera y Monroy, 2015: p.8) que modifican sus funciones ecológicas y éstas a su vez afectan su capacidad y funcionalidad. Estas actividades tienden a desencadenar desequilibrios en los ecosistemas acuáticos, lo que, a su vez, conlleva a un impacto negativo en el recurso hídrico (Galván y Gutiérrez, 2018: p.1).

Para abordar lo anteriormente expuesto, se han implementado varios mecanismos como programas de monitoreo a través de variables del agua, sin embargo, estos, suelen dar una idea de la calidad del agua en ese momento, pero no a largo plazo, por tanto, existe una clara falta de investigación integral y sistemática que evalúe el impacto de los ecosistemas de agua dulce particularmente para aquellos que enfrentan perturbaciones antropogénicas significativas (Park et al., 2023:pp.2-4; Huang et al., 2023: pp.2-3). Bajo este contexto, resulta imperativo establecer programas de monitoreo integrales de la calidad del agua donde se incluyan comunidades biológicas, ya que estas son altamente sensibles a la contaminación y la degradación (Lazo et al., 2022: pp.145-146).

Respecto a las comunidades biológicas, especialmente los macroinvertebrados son utilizados como bioindicadores ya que se encuentran prácticamente en todos los ambientes de agua dulce y su recolección es sencilla y de bajo costo (Gamboa et al., 2008: p.109). Según Leño y Pérez (2020: p.570), mediante los indicadores biológicos se determina la calidad del recurso hídrico. Cuando hay evidencias de contaminación orgánica o química los macroinvertebrados son utilizados para determinar la calidad del ecosistema acuático, por el contacto directo que mantienen con su hábitat

natural, estos organismos emiten respuestas negativas o positivas ante cualquier situación (Hanson et al., 2010: p.3).

A nivel local, la Laguna Patococha, se localiza en la parroquia de Pilahuín, en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Esta laguna experimenta una disminución en el volumen de agua disponible, lo cual impacta directamente en los organismos acuáticos, debido al avance de la agricultura y la ganadería en la región (Semplades, 2013; citado en Erazo, 2016, p.12). Los macroinvertebrados de este ecosistema son diversos y desempeñan un papel crucial en el metabolismo del ecosistemas, son indicadores sensibles a factores como la temperatura, el pH y conductividad eléctrica (Gutiérrez et al., 2002; citado en Yerovi, 2019, p.2) por tanto resulta importante conocer la calidad de agua de este ecosistema.

Con lo anteriormente descrito, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el estado de conservación de tres sitios de interés en la Laguna Patococha, que forma parte de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo. Este proceso inicio con el análisis de 22 parámetros físicos, químicos y microbiológicos (Baque et al., 2016: pp.112-113), posteriormente se analizó la calidad del agua mediante el cálculo de índices biológicos (Alba, 1996; citados en Leño y Pérez, 2020: p.570) para finalmente proponer medidas de manejo ambiental que contribuyan a conservar la laguna Patococha, dado que esta es utilizada tanto para actividades turísticas como para satisfacer las necesidades humanas.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Uno de los desafíos más apremiantes en la actualidad se relaciona a la contaminación de los cuerpos de agua en lagunas, que no solo tienen un valor paisajístico excepcional, sino que también desempeñan un papel vital como fuentes de vida. No obstante, su vulnerabilidad ante la intervención humana, como la agricultura, la ganadería y el turismo, amenaza la integridad de estos sistemas lacustres.

El problema principal que aqueja a la laguna Patococha radica en la gestión limitada de los sistemas acuáticos, lo que potencialmente conduce a la disminución de la cantidad y calidad de los bienes y servicios ambientales que esta laguna proporciona. Esta situación se agrava debido a la falta de información ecológica adecuada y a la ausencia de una metodología efectiva para el monitoreo de su ecosistema. La gestión deficiente tiene como consecuencia la pérdida de biodiversidad y la disminución de la productividad, particularmente en áreas con caudales bajos. En este caso, se ha producido una alteración significativa en el entorno natural de la laguna, ya que su morfología ha sido modificada y se ha instalado una geomembrana para expandir su superficie, lo que ha perturbado el equilibrio de la flora y fauna, incluyendo los macroinvertebrados, que sirven como indicadores clave de la calidad del agua. Este proceso provoca alteraciones en las condiciones físicas, químicas y biológicas del entorno.

Para abordar esta problemática, se llevó a cabo una evaluación de la calidad del agua empleando índices de diversidad e índices biológicos de la calidad del agua. Este análisis proporcionó las bases necesarias para implementar medidas de gestión ambiental que permitan la conservación y el uso sostenible de la laguna Patococha, que se encuentra en la parroquia Pilahuín.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el estado de conservación de tres sitios de visita de la laguna Patococha - Reserva de Producción de Fauna Chimborazo mediante macroinvertebrados bentónicos

1.2.2 Objetivo Específicos

- Monitorear la condición ambiental de tres sitios de visita de la laguna Patococha
- Analizar la biodiversidad de las comunidades de macroinvertebrados de tres sitios de visita de la laguna Patococha.
- Formular medidas de manejo ambiental para conservar y aprovechar la laguna de Patococha

1.3 Justificación

Para contribuir a la mitigación de la degradación de la laguna Patococha en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo se requiere evaluar el estado de conservación de tres sitios de visita, mediante macroinvertebrados bentónicos a través de los datos obtenidos en las salidas de campo. Para este propósito se realizó un análisis de 22 parámetros físicos, químicos y microbiológicos, también se evaluó la calidad del agua a través de índices biológicos y finalmente se formuló medidas ambientales para el manejo sostenible de la laguna.

El presente proyecto contribuirá al cumplimiento de la línea de investigación denominado “Gestión y Manejo Sustentable de los Recursos Naturales” de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), el cual tiene como finalidad contribuir al manejo y conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos. Además, este proyecto se articula al programa de Conservación y Manejo de fuentes Hídricas y específicamente al proyecto Forestación y reforestación de la zona que se encuentra intervenida que pertenece a la Reserva Faunística de Chimborazo de la Agenda Tungurahua 2019-2021 (Dirección de Planificación, 2019, p.43).

Adicionalmente, este estudio se articula al Plan Nacional de Desarrollo (en el objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones) (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017, p.64); al Programa de conservación y manejo de cuencas hidrográficas del Plan Nacional del Agua; y (a los objetivos estratégicos 2: Reducir las presiones y el uso inadecuado de la biodiversidad a niveles que aseguren su conservación) y (4: Fortalecer la gestión de los conocimientos y las capacidades nacionales que promuevan la innovación en el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos) de la Estrategia Nacional de Biodiversidad (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2016, p.152).

1.4 Pregunta de investigación

¿La calidad de agua de la laguna Patococha es afectada por la presencia de desechos sólidos arrojados por visitantes y población local?

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Biodiversidad

La biodiversidad es un término que se refiere a la variedad de seres vivos que habitan en la Tierra, así como a los patrones y procesos que la generan, mantiene y cambian a lo largo del tiempo (Cofré y Atala, 2019: p.104). Además, la biodiversidad tiene un valor intrínseco, es decir, por si misma, pero también posee un valor instrumental, ya que proporciona servicios ecosistémicos que son importantes para la vida humana, como la producción de alimento, la regulación del clima y la purificación del agua (Marcos, 2012, pp.46-48).

En definitiva, la biodiversidad es un concepto clave para entender la vida en la Tierra y su conservación es fundamental para garantizar el bienestar humano y el equilibrio de los ecosistemas (Cofré y Atala, 2019: p.105).

2.1.1 *Tipos de biodiversidad*

2.1.1.1 *Diversidad alfa*

La diversidad alfa se refiere a la diversidad de especies que se encuentran en un área localizada, como un hábitat o un ecosistema específico. Según Baselga y Gómez (2019: p.40), mide la riqueza de especies en un lugar determinado y evalúa la diversidad a nivel local, mientras que, para Serna et al., (2023: pp.2-5) a menudo, se utiliza para comparar la diversidad de diferentes ecosistemas. En conclusión, la diversidad alfa es una medida importante de la biodiversidad a nivel local y es esencial para comprender la distribución de las especies y su conservación en el ecosistema (Baselga y Gómez, 2019: pp.40-41).

2.1.1.2 *Diversidad beta*

La diversidad beta se utiliza para medir la variación en la composición de especies entre diferentes sitios o hábitats. Se refiere a la diferencia en la diversidad de especies entre distintos lugares a lo largo de un gradiente ambiente (García et al., 2021: pp.95-96). Esta diversidad se puede dividir en dos componentes: reemplazo y anidamiento. El reemplazo se refiere a la sustitución de especies entre diferentes sitios, por otro lado, el anidamiento se refiere a la ganancia o pérdida de especies en diferentes sitios (Herrera et al., 2023: pp.283-284). Según Herrera et al., (2023: pp.287-288) los estudios de

diversidad beta son importantes para comprender la distribución de la diversidad y para identificar áreas prioritarias para la conservación.

2.1.1.3 Diversidad gamma

La diversidad gamma es utilizada para medir la diversidad biológica a nivel regional. Se refiere a la diversidad total de especies en una región geográfica grande, siendo esta de gran importancia para entender cómo se distribuye la biodiversidad en los diferentes sitios geográficas y para diseñar estrategias de conservación efectiva. Cabe recalcar que está compuesta por la diversidad alfa y beta. (Baselga y Gómez, 2019: p.40).

2.1.2 Niveles de organización de los seres vivos

2.1.2.1 Población

La población de los seres vivos se refiere al conjunto de individuos de la misma especie que habitan en un área geográfica delimitada y que tienen la capacidad de reproducirse o interactuar entre los individuos y su entorno, pueden afectar la dinámica de la población como su tamaño, densidad y distribución (Larrota y Uribe, 2023: pp.2-4).

2.1.2.2 Comunidad

Es el conjunto de poblaciones de distintas especies que habitan en un área geográfica, es una unidad básica en la ecología y se utiliza para comprender las interacciones entre las especies, afectando su estructura trófica, competencia, depredación y la sucesión ecológica (Skewes et al., 2017: pp.105-108).

2.1.2.3 Ecosistema

Los ecosistemas son comunidades de seres vivos y su entorno físico que interactúan entre sí y con el medio ambiente en el que se encuentran. Pueden ser terrestres, acuáticos o aéreos, y varían en tamaño desde pequeñas áreas como charcos de agua hasta grandes regiones como la selva amazónica (García y Leal, 2019: pp.168-170). Los ecosistemas son importantes porque proporcionan servicios ecosistémicos, como la purificación del aire y del agua, la polinización de las plantas y la regulación del clima. Además, son el hogar de una gran variedad de especies, y su pérdida puede traer consecuencias graves para la biodiversidad (Ochoa, 2017, pp.25-30).

Según Errejón et al., (2018: pp.182-186) la conservación de los ecosistemas es importante para garantizar la supervivencia de las especies que los habitan. Su protección puede ser llevada a cabo mediante la creación de áreas protegidas, la implementación de políticas de conservación y la educación ambiental.

2.1.2.4 Paisaje

Los paisajes son características visuales y estéticas de un entorno natural o cultural, que se perciben a través de los sentidos y que pueden ser valorados subjetivamente por las personas (Barrasa, 2017, pp.96-97). Los paisajes pueden ser estudiados desde diferentes disciplinas, como la antropología, la geografía, la arqueología y la ecología (Delgado, 2017, pp.45-49). Para Porcal (2019, pp.236-237) la conservación de los mismos son importantes para garantizar su valor estético y cultural, así como para proteger la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que proporcionan.

2.1.2.5 Región

Una región es un área geográfica que se distingue de otras áreas por sus características físicas, culturales, políticas o económicas. Las regiones pueden ser definidas de diferentes maneras y pueden ser influenciadas por factores naturales como el clima y la topografía, así como por factores humanos como la política y la economía (Errejón et al., 2018: pp.185-186).

2.1.2.6 Bioma

Un bioma es una gran área geográfica que se caracteriza por un conjunto de condiciones climáticas y ecológicas que albergan una comunidad de plantas y animales adaptadas a esas condiciones, los biomas pueden ser terrestres o acuáticos (océanos, los arrecifes de coral, los estuarios y ríos), y se define por factores como la temperatura, la precipitación, la altitud y la topografía (Casas, 2019, pp.156-158). Según Angeoletto y Maciel (2015: pp.78-80) también pueden ser afectadas por actividades humanas, como la deforestación, la urbanización y la contaminación. Su conservación garantiza la supervivencia de las especies que habitan y mantienen los servicios ecosistémicos que proporcionan.

2.1.2.7 Biosfera

La biosfera es la capa del planeta tierra que alberga una gran variedad de especies y ayuda a la purificación del aire y del agua, la polinización de las plantas y la regulación del clima. Puede ser

afectada por diversas actividades humana, como la deforestación, la contaminación y el cambio climático (Cabral et al., 2022: pp.2-4).

2.1.2.8 Nicho y hábitat

Un nicho se refiere a funciones que desempeñan una especie en un ecosistema incluyendo su relación con otros organismos y su uso de los recursos disponibles. El nicho de una especie puede ser influenciado por factores como la competencia, la depredación y la disponibilidad de los recursos (Porcal, 2019, pp.218-220). Mientras que el hábitat puede ser en ambientes naturales, como bosques, ríos, lagos o estuarios donde viven organismos, y puede ser modificados por el ser humano o por factores naturales (Angarita et al., 2021: pp.276-280).

2.2 Ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas acuáticos son entornos naturales donde el agua es el principal factor ambiental, estos ecosistemas son ríos, lagos, lagunas, estuarios, entre otros. Desempeñan un papel crucial en la regulación del ciclo del agua, la provisión de alimentos, la mitigación de desastres naturales y la conservación de la biodiversidad (Cabral et al., 2023: pp.5479-5484). Además, son hábitats para una gran diversidad de especies, muchas de las cuales son endémicas y dependen de estos entornos para su supervivencia, por ende, es fundamental comprender y preservar estos ecosistemas para garantizar su sostenibilidad a largo plazo (Ruiz et al., 2003: pp.146-147).

2.2.1 Sistemas lóticos

Los sistemas lóticos son ecosistemas que se caracterizan por la presencia de corrientes de agua que provoca un constante movimiento en la misma dirección como ríos, arroyos y quebradas. Estos ecosistemas juegan un papel fundamental en la regulación del ciclo del agua, regulación del clima y la provisión de hábitat para una amplia variedad de organismos acuáticos y equilibrio ecológico (Fernández, 2023, pp.17-59).

Para Galarza et al., (2016: p.4) la salud de los sistemas lóticos puede verse afectados por diversas actividades humanas, como la agricultura y el uso de plaguicidas, lo que puede tener efectos adversos en la fauna y flora acuática. Por lo tanto, es importante realizar un seguimiento del estado ecológico de estos ecosistemas y evaluar los posibles impactos ambientales para garantizar su conservación a largo plazo.

2.2.1.1 Ríos y arroyos

Los ríos son sistemas acuáticos que forman parte de los ecosistemas terrestres y se caracterizan por tener un flujo constante de agua que transporta materia y energía (Ruiz et al., 2016: p.444). Siendo importantes para la biodiversidad y el ciclo de nutrientes en los ecosistemas (Fernández y Smits, 2021: p.2).

Los arroyos son cursos de agua caracterizados por su flujo intermitente, menor caudal y una menor capacidad de transporte de sedimentos, suelen ser afectados por diversos factores como el exceso de extracción de agua, vertidos de agua no saneadas y el deterioro del hábitat fluvial, lo que provoca negativamente en su calidad del agua y la biodiversidad (Zambiasio et al., 2019: pp.1-2). Además, pueden ser afectados por la eutrofización y otras alteraciones físicas debido a la actividad agropecuaria, lo que puede influir en la calidad del agua y en la fauna de los macroinvertebrados que lo habitan (Arocena et al., 2016: p.384).

2.2.2 Sistemas lénticos

Los sistemas lénticos se refieren a aguas tranquilas por lo general son lagos, lagunas, estanques y humedales que mantiene microhábitats adecuados para comunidades de macroinvertebrados acuáticos (Estrada, 2013, pp.1-2). Estos sistemas se pueden encontrar en diferentes regiones como la región amazónica y andina (Hernández et al., 2020: p.392). La diversidad de macroinvertebrados de estos sistemas es de gran importancia ecológica para comprender su estructura y composición (Estrada, 2013, p.1).

2.2.2.1 Lagos y lagunas

Los lagos son cuerpos de agua que, pueden ser utilizados como indicadores de la calidad ambiental, ya que ciertas especies de plantas y animales presentes en ellos son sensibles a los impactos ambientales (Morales y Salazar, 2012: p.11). Además, pueden ser afectados por la eutrofización, un fenómeno que resulta de las actividades humanas que ocasiona impactos negativos en la calidad del agua y de la vida acuática (Laughinghouse et al., 2022: p.2). En conclusión, son ecosistemas acuáticos importantes que albergan vida y a su vez pueden ser vulnerables a la eutrofización, por ende, es importante su conservación y manejo adecuado (Laughinghouse et al., 2022: pp.3-4).

Las lagunas son cuerpos de agua generalmente poco profundos, que pueden estar conectados a ríos, estuarios o cuerpos de agua aislados. Estos sistemas son de gran importancia ecológica, ya

que alberga vida acuática y ayuda a la regulación del ciclo del agua y la conservación de la biodiversidad (Lanza y Gutiérrez, 2017: p.370). Su estudio puede incluir la evaluación de la calidad del agua, la presencia de macrófitas acuáticas, la influencia del régimen hídrico, la respuesta de los organismos planctónicos al proceso de eutrofización, entre otros aspectos (Flor et al., 2013: p.374).

2.2.2.2 *Embalses*

Los embalses son cuerpos de agua artificiales, llamados también sistemas dulceacuícolas, que son construidos para retener el agua que se utiliza para el suministro de agua potable, la generación de energía hidroeléctrica, recreación y pesca. También pueden ser objeto de estudios limnológicos para comprender la calidad del agua, la biodiversidad acuática y los efectos ambientales de su construcción y operación (Martínez et al., 2022: p.444).

2.2.2.3 *Humedales*

Los humedales son sistemas acuáticos que poseen una diversidad biológica singular, pero su estado es frágil. Los humedales altoandinos albergan una gran diversidad de flora incluyendo especies de la familia Asteraceae, y son de gran importancia para la conservación de la biodiversidad (González, 2015, p.99), mientras que los humedales artificiales son sistemas de tratamiento promisorios que trabajan por biofiltración, permitiendo la eliminación de materia orgánica, bioindicadores de contaminación fecal y turbidez del agua residual lo que los convierte en una opción viable para la remoción de nutrientes y materia orgánica en aguas residuales (Quintero et al., 2021: p.82).

Según Alonso, (2011, p.1) en los humedales la presencia de macroalgas altamente desarrolladas contribuye en múltiples funciones del mantenimiento de las fases de aguas transparentes, por ende, son indicadores de la calidad de los sistemas acuáticos.

2.3 **Macroinvertebrados acuáticos**

Los macroinvertebrados acuáticos son organismos que viven en el fondo de los cuerpos de agua, como en ríos, arroyos, lagos y lagunas. Son un componente importante en los ecosistemas dulceacuícolas, cumplen un papel fundamental en la división y recirculación de nutrientes, además de contribuir en la red trófica como alimento de otros animales (Rubio et al., 2016: p.47).

Según Gamboa et al., (2008: p.113) se denominan macroinvertebrados acuáticos aquellos invertebrados con un tamaño superior a 500 μm , entre los que se incluyen animales como

esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos los cuales desarrollan su ciclo de vida en el agua. Los macroinvertebrados son utilizados como bioindicadores de la calidad del agua ya que son muy abundantes y se encuentran prácticamente en todos los ecosistemas de agua dulce, su recolección es simple y de bajo costo (Gamboa et al., 2008: p.109). Estos organismos son muy sensibles a los cambios ambientales y pueden indicar la presencia de contaminación en el agua (Gamboa et al., 2008: p.110).

Además, los macroinvertebrados acuáticos son buenos indicadores de la calidad biológica, por ende, su presencia y diversidad pueden proporcionar información valiosa sobre la salud ambiental de los ecosistemas acuáticos (Díaz et al., 2020: pp.50-51).

2.3.1 Macroinvertebrados como bioindicadores

En Colombia y Latinoamérica, se ha profundizado en el estudio de grupos de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua, con un enfoque en los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera, así como la necesidad de ajustar índices como el BMWP (Biological Monitoring Working Party) para diferentes regiones del continente (Roldán, 2016, p.254).

Este tipo de organismos es usado para evaluar la calidad del agua en diferentes sistemas acuáticos dulces, para ello se utiliza el índice de Shannon para medir la diversidad de especies de macroinvertebrados y el índice biótico de familias para determinar la calidad del agua (Méndez et al., 2021: p.4). Además, la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos puede verse afectada por factores como la variación de la descarga hidráulica y la perturbación antropogénica, que convierte en indicadores sensibles a cambios en el entorno acuático (Mosquera, 2015, p.26).

2.3.2 Modos de vida de los macroinvertebrados acuáticos

Este tipo de organismos pueden desempeñar roles importantes en los ecosistemas acuáticos, como en la circulación de materia orgánica autóctona y alóctona. Además, son utilizados en el biomonitoreo de los ríos, lagos y lagunas (González y Gil, 2020: p.573).

2.3.2.1 Neuston

El neuston son organismos que viven en una interfaz entre el aire y el agua, puede ser sensible a la contaminación y a los cambios del agua. Un estudio en Indonesia manifiesta que el neuston puede ser utilizado como indicador de la calidad del agua debido a su alta sensibilidad a la

contaminación (Alwan et al., 2022: pp.86-87). La diversidad y densidad de neuston puede variar en función a la calidad del agua y otros factores ambientales como la presencia de microplásticos en los ambientes acuáticos (Gacitúa et al., 2022: pp.1832-1833).

2.3.2.2 *Necton*

Son los organismos capaces de nadar y moverse independientemente a las corrientes de los sistemas acuáticos. Estos organismos están compuestos por peces, cefalópodos, reptiles y mamíferos marinos. El neuston proporciona información sobre la ecología trófica y la dinámica de las poblaciones en los ecosistemas acuáticos (Silva et al., 2017: pp.168-169).

2.3.2.3 *Bentos*

El bento son comunidades de organismos que habitan en el fondo de los sistemas acuáticos como los océanos, mares, ríos, lagos y lagunas, estos organismos están compuestos por algas, moluscos, crustáceos, gusanos entre otros invertebrados marinos. Desempeña un papel fundamental en los ecosistemas acuáticos, ya que contribuye en la descomposición de la materia orgánica, la transferencia de energía y los ciclos de nutrientes (Aramayo et al., 2022: pp.477-478).

Es importante el estudio del bento ya que proporciona información relevante sobre la salud y el estudio de los sistemas acuáticos, donde se implica el análisis de varios parámetros, incluida la distribución de oxígeno disuelto, la geoquímica de los sedimentos y la diversidad de organismos bentónicos. Además, la presencia y abundancia de especies de bentos indican condiciones ambientales, como contaminación o perturbaciones naturales (Ningsih et al., 2021: p.16).

2.3.3 *Identificación de los macroinvertebrados acuáticos*

La identificación de los macroinvertebrados acuáticos se realiza mediante la observación de sus caracteres morfológicos y analíticos, para lo cual se requiere un estereoscopio y un manual de identificación de especies. Este proceso se realiza a nivel de orden o familia dependiendo del análisis y complejidad de la muestra (Caluña y Jaramillo, 2018: p.120). La identificación de los macroinvertebrados acuáticos son importantes para la evaluación de la calidad del agua, ya que los organismos son sensibles a los cambios en el ambiente acuático y pueden servir como bioindicadores de los sistemas acuáticos (Canales et al., 2022: p.296). Además, permite conocer la diversidad de especies presentes en un ecosistema acuático y su distribución geográfica (Bücker et al., 2010; citados en Albán y Guallichico, 2019).

Tabla 2-1: Importantes grupos de macroinvertebrados acuáticos

Pylum	Clase	Orden
Coelenterata	Hydrozoa	Hidroida
Platyhelminthes	Turbellaria	Tricladida
Nemathomorpha		Gordioidea
Annelida	Oligochaeta Hirudinea	Haplotaxida
		Glossiphoniiformes
		Hirudiniformes
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera
		Ordonata
		Plecoptera
		Neuroptera
		Hemiptera
		Coleoptera
		Trichoptera
		Lepidoptera
		Diptera
	Arachnoidea (Hidracarina)	Acari

Fuente: Roldán, 1988; citado en Pizan., 2018.

2.3.4 *Macroinvertebrados indicadores de calidad del agua*

Estos organismos son utilizados como bioindicadores ya que por su ausencia o presencia pueden indicar los niveles de contaminación (Salvatierra, 2012, pp.38-39). Los órdenes más importantes de macroinvertebrados son:

2.3.4.1 *Ephemeroptera*

El orden Ephemeroptera también conocida como efímeras son importantes macroinvertebrados en sistemas acuáticos como indicadores de la calidad del agua, ya que este tipo de orden son sensibles a la contaminación (Alami et al., 2022: pp.1-2).

Además, estos organismos son primitivos, tienen adaptaciones morfológicas como branquias en forma de placas en la parte del abdomen, están constituidos por tener dos a tres colas largas o también llamados filamentos terminales, poseen 6 patas segmentadas cada una contiene una garra y su cuerpo es de 3 cm de largo, habitan en aguas torrentosas con buena oxigenación (Cadme y Tamayo, 2020: pp.14-16).

2.3.4.2 *Plecoptera*

También conocidas como moscas de piedra este tipo de orden son primitivos, poseen un cuerpo definido, estos organismos en su etapa de la adultez son largos, presentan alas y su metamorfosis está compuesta por mudas sucesivas (Andino et al., 2017: pp.18-19).

Son conocidos por su sensibilidad a la contaminación, su presencia o ausencia indica niveles en la calidad de los sistemas acuáticos, la mayor parte de su ciclo de vida es larvaria y son una fuente importante de alimento para peces y otros animales acuáticos (Cao et al., 2021: pp.1-2).

2.3.4.3 *Trichoptera*

También llamadas como frigáneas es un insecto que posee metamorfosis completa (Calderón y Correa, 2020: pp.24-25). Este orden es el más diverso e importante en los sistemas acuáticos dulces ya que poseen una alta sensibilidad a los cambios físico-químicos del agua. Estos organismos cumplen varias funciones tróficas ya que son fragmentadoras y depredadoras de otros organismos en el ecosistema (Rua, 2012, p.15).

Los macroinvertebrados acuáticos incluyendo el orden Trichoptera son indicadores biológicos de la calidad del agua (Salvatierra, 2012, p.38). Además, se realizaron estudios sobre la filogenia y la evolución de la Trichoptera, utilizando análisis genéticos y moleculares para comprender las relaciones evolutivas dentro de este grupo de insectos acuáticos, ya que la Trichoptera es importante en los ecosistemas y su estudio es fundamental para la evolución y conservación de los hábitat acuáticos (Curtean et al., 2021: pp.2-3).

2.3.4.4 *Coleoptera*

Son muy diversos, consta de aproximadamente 350 000 especies, los coleópteros sufren una metamorfosis completa, su ciclo de vida consta de cuatro fases las cuales son huevo, larva, pupa y adulto. Para la incubación de los huevos su tiempo es de 5 a 15 días y en condiciones de un laboratorio su tiempo tardío es de 60 días, para el desarrollo de este orden depende de las condiciones ambiental como la temperatura y su alimentación (Gutiérrez, 2010, p.1).

Además, los coleópteros son relevantes en la gestión integrada de insectos en productos almacenados, donde se utilizan en estrategias de control biológico, resistentes a pesticidas y muestreo para detectar o estimar poblaciones de insectos (Subramanyam y Hagstrum, 2018: pp.1-3). En los coleópteros los únicos que son acuáticos son las larvas mientras que en la fase adulta son

terrestres. La presencia de este orden en ecosistemas acuáticos indica buena calidad en su entorno, por su alto requerimiento ecológico para su desarrollo (Gutiérrez, 2010, p.2).

2.3.4.5 *Diptera*

El orden Diptera en los sistemas acuáticos comprende una gran variedad de insectos, como larvas de moscos, mosquitos y otro grupo de insectos. Las larvas se alimentan de distintos herbívoros hasta colectores, por ende, pueden adaptarse a diferentes nichos acuáticos (Rojas et al., 2018: p.19). Este tipo de orden produce una metamorfosis completa, su ciclo de vida está constituida por 4 etapas las cuales son huevo, larva, pupa y adulto. Los huevos son depositados en la orilla de los sistemas lénticos sobre la vegetación, al momento de romperse las larvas buscan un lugar para su desarrollo. La duración del ciclo de vida de este organismo depende del clima, temperatura y el medio acuático en el que se encuentra (Ruiz et al., 2014: p.194).

Permite el desarrollo en diferentes ambientes tanto en ecosistemas terrestres o acuáticos como son en ríos, lagos, arroyos entre otros. Habitan en restos de vegetación, troncos o en piedras, por estas condiciones poseen una capacidad de tolerar diferentes ambientes. Para el análisis de la calidad de agua de este orden no solo se basa en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos sino también el uso de parámetros ecológicos utilizando a los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua ya que es una herramienta viable y fácil de manejar (Rojas et al., 2018: p.71). Además, el orden Díptera es un grupo de insectos más complejos, abundantes y ampliamente distribuidos en el mundo, tienen una gran capacidad de colonizar debido a la ocupación en diferentes ambientes acuáticos por parte de las larvas (Sierpe y Sunico, 2019: p.93).

2.3.4.6 *Odonata*

Son también llamados como libélulas, en las primeras etapas su vida se desarrolla en los sistemas acuáticos tanto en ecosistemas lénticos como en lóticos, mientras que en la etapa adulta vuelan cerca de los cuerpos de agua dulce (Rojas, 2017, p.22). Estos organismos poseen ojos grandes y compuestos, se consideran cazadores ya que encuentran a sus presas solo con su vista, se alimentan de otros insectos (Bazán, 2020, p.10).

Estos insectos son un grupo diverso y ampliamente distribuido en todo el mundo, y es de suma importancia en ecosistemas acuáticos y terrestres debido a su papel en la alimentación y como bioindicadores de la calidad del agua para evaluar la contaminación en los ecosistemas (Ware, 2021, p.58). Estos insectos pueden ser encontrados en diferentes microhábitats, son hemimetábolos esto quiere decir que su metamorfosis es incompleta, en la fase huevo son depositados en la vegetación

flotante, en la fase larval viven en los márgenes de los lagos, lagunas o ríos que son poco profundos (Bazán, 2020, p.10).

2.4 Áreas protegidas

Las áreas protegidas son espacios naturales o seminaturales que son utilizados para la conservación de la biodiversidad con la finalidad de utilizar en distintos campos como la investigación, educación y el turismo, desempeñan un papel importante en la protección de los ecosistemas que se encuentran vulnerables, al contribuir en la preservación de especies en peligro de extinción y la conservación de los servicios ecosistémicos que nos brinda cada una, a más de la regulación del clima y el suministro de agua (Rodríguez y Mora, 2021: pp.111-113).

2.4.1 Categorías de áreas protegidas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)

La Asamblea General definió las categorías de manejo que se ajusten a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza de 1994, está compuesto por objetivos específicos de manera distinta para cada una de las categoría (FAO, 2008, p.11).

La categoría de las áreas protegidas UICN son clasificaciones que permite gestionar y conservar efectiva y equitativamente las áreas terrestres y marinas, buscando contribuir en la conservación de la biodiversidad, la reducción de la deforestación, la pérdida de hábitats y la sustentación de los modos de vida de más de 1000 millones de personas (Reyes, 2015, p.21).

2.4.1.1 Parques Nacionales

En la categoría II son los parques nacionales, asignados principalmente a la protección y el cuidado del patrimonio cultural y de los ecosistemas (Barreto et al., 2017: p.21), esta categoría está compuesta por grandes zonas naturales con el fin de proteger y preservar su estado actual para las generaciones presentes y futuras, con el propósito de promover la educación, ciencia y el uso recreativo (Rivera, 2015, pp.4-5).

Para Boza, (2022, pp.94-95) la gestión de los parques nacionales implica desafíos y oportunidades para la investigación y la gestión ambiental con el fin de mantener relaciones con la calidad ambiental y recursos naturales.

2.4.1.2 *Paisaje terrestre/ marino protegido*

Dichos ecosistemas albergan distintos hábitats marinos y terrestres (Endara, 2019, p.3). Tiene por objetivo garantizar el mantenimiento de la biodiversidad y los ecosistemas con el fin de adoptar medidas necesarias para la conservación y la zonificación planteadas en los planes de manejo (Dávalos, 2019, pp.88-90). Además, se llevan a cabo investigaciones para entender mejor los ecosistemas y las especies que habitan en ellos, para garantizar la conservación a largo plazo, que ayude al desarrollo de estrategias de conservación más efectivas. (Aguirre, 2014, p.7).

2.4.1.3 *Reserva natural estricta*

Está constituido por áreas para preservar la biodiversidad, estas áreas tienen por objetivo garantizar el entorno natural para la investigación, monitoreo y educación ambiental, con el fin de minimizar las perturbaciones utilizando una planificación para conservar y proteger los valores culturales y espirituales que genera la naturaleza. En esta categoría el monitoreo será utilizado para la investigación de impactos generados por el ser humano (Dudley, 2008, p.16). Según Reyes, (2015, p.22) la reserva natural estricta es una de las categorías de gestión de áreas protegidas que desempeña un rol importante en la conservación de la biodiversidad y la protección de los ecosistemas naturales.

2.4.1.4 *Área de manejo de hábitat/ especies*

Área de manejo de hábitat se refiere a la gestión de los ecosistemas y sus componentes biológicos para mantener o mejorar la conservación de especies y su entorno. Se aplica a distintos tipos de ecosistemas como lagunas, lagos y ríos (Aguirre, 2014, p.3). En esta categoría presentan diversos tipos de vegetación, animales y otros organismos que pueden ser tanto endémicos como nativos, estas áreas también pueden ser de gran importancia para la investigación en diversos campos, como la biología, botánica, la zoología y la conservación (Lima et al., 2022: p.31).

2.4.1.5 *Monumento natural*

Un monumento natural es una categoría que pertenece a áreas protegidas con el fin de preservar sitios naturales raros, singulares o de gran belleza escénica. Estas áreas están sujetas a una protección integral para salvar sus características distintas y su valor ecológicos, y a menudo se gestiona para limitar o prohibir actividades humanas que alteran su estado natural (Aguirre, 2015, p.33). Ejemplo el Monumento Natural Estadual Serra en Brasil fue construido para proteger sitios naturales raros y singulares, en respuesta a la amenaza de la explotación clandestina de rocas

ornamentales (Bueno y Bis, 2023: p.17617). Estas áreas desempeñan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad y la preservación de paisajes naturales excepcionales (Hernández et al., 2012: p.225) . También es una área protegida y gestionada por el gobierno, donde se prioriza la conservación, preservación y el estudio de la biodiversidad y los ecosistemas presentes. (Pintag, 2019, p.2).

2.4.1.6 Área Silvestre

Es destinada a la conservación tanto de la flora y la fauna, esta categoría está diseñada para proteger y preservar la vida silvestre ya que permite el uso público, con la finalidad de ser utilizado en la recreación y la educación ambiental (Arana, 2022, p.314). Garantiza el uso de los recursos naturales en un área con la finalidad de proteger, conservar y recuperar ecosistemas mediante la mejora de la calidad ambiental, asegurando la conservación de la biodiversidad (MAE, 2014, p.51).

2.4.1.7 Área protegida de recursos manejados

Un área protegida tiene por objetivo preservar los recursos naturales y sus ecosistemas. El manejo de los recursos en un área protegida implica la evolución de los impactos del turismo y otras actividades humanas, así como la implementación de medidas para minimizar estos impactos. La conservación de la biodiversidad se logra a través de la recuperación de suelos mediante métodos como la incorporación de la cobertura vegetal y la construcción de barreras vivas con plantas de comportamiento herbáceo (Vargas, 2011, p.239).

Según Moreno et al., (pp.152-153) estas áreas son destinadas a proporcionar oportunidades para que el público se recree en el entorno natural. Consiste en promover la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales en estas áreas, se busca equilibrar la recreación con la protección del medio ambiente.

2.5 Monitoreo ecológico

El monitoreo ecológico es una herramienta que permite evaluar la calidad ambiental, incluyendo datos de flora, fauna, agua y otros componentes del ecosistema. Son utilizados para medir el impacto humano en el medio ambiente y diseñar políticas y programas de conservación efectiva (Sibaja y Martínez, 2016: pp.5-6).

También el monitoreo se relaciona a aspectos biológicos y ecológicos dentro de un Área Natural Protegida (ANP) ayuda a evaluar, verificar las condiciones de los ecosistemas y su biodiversidad, para implementar acciones hacia un manejo adaptativo del lugar. Los datos obtenidos mediante las salidas de campo ayudan a estimar la integridad ecológica de una ANP (Salas y Jones, 2019: p.11). El monitoreo se fundamenta de las siguientes características:

- Tiene por objetivo evaluar el estado de los ecosistemas y las especies para identificar posibles amenazas y medidas de conservación (Delgado et al., 2018: p.6).
- Los métodos son utilizados para realizar un censo de especies, la evaluación de calidad de hábitat, la medición de indicadores, salud ambiental y el análisis de recopilación de datos (Zuñiga et al., 2018: pp.27-28).
- La escala del monitoreo abarca diferentes escalas, desde el nivel local hasta el regional o incluso internacional para el manejo sostenible de áreas de conservación de los paisajes para mejorar el uso y el aprovechamiento de los servicios naturales que nos brindan (Viva et al., 2020: pp.241-242).
- Las herramientas tecnológicas ayudan a interpretar imágenes satelitales, el uso de posibles registros en tiempo real y la integración de información para analizar y evaluar el estado de los ecosistemas (Urrego et al., 2018: p.18).
- Identificar una línea base para el monitoreo en un periodo de mediano o largo plazo (Loayza, 2013, p.1).

El monitoreo es necesario para el manejo de los sistemas ecológicos cambiantes que son poco conocidos, este sistema ecológico ayuda al cumplimiento de compromisos ante la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB) (Finegan et al., 2008: p.67).

2.6 Índices de diversidad

Estos índices son herramientas estadísticas que miden la variedad de elementos para evaluar y comparar la diversidad en diferentes contextos, planifica y gestiona los recursos naturales de manera sostenible (Gavilán y Rubio, 2005: p.94).

2.6.1 Índice de Diversidad de Shannon-Weaver

El índice de Shannon Weaver fue utilizado en el año 1949 cuando encontraron individuos en un determinado ecosistema (Barrera y Monroy, 2015: p.18). Este método ayuda en diversos campos para cuantificar la diversidad de especies en un espacio determinado. El índice está compuesto por el número de especies presentes como su abundancia. (Bárceñas, 2017, p.30).

Sus rangos de medición van desde 0.1 a >3.1 en tres interpretaciones, siendo alto, medio o bajo de diversidad (Méndez et al., 2021: p.7). Por tanto, este índice determina la porción de individuos de cada una de las especies presentes en la muestra, para determinar si hay dominancia o hay abundancia. Cuando existe menos dominancia de especies significa que puede ser más diverso esto quiere decir que es una distribución equitativa (Barrera y Monroy, 2015: p.17).

Tabla 2-2: Valores del índice de diversidad de Shannon Wiener

Valores	Significado
0.1-1.5	Diversidad Baja
1.6-3.0	Diversidad Media
>3.1	Diversidad Alta

Fuente: Krebs., 1985

Realizado por: Chimborazo J., 2023

2.6.2 Índice de dominancia de Simpson (δ)

Es un índice utilizado para medir la proporción de especies dominantes en una comunidad biológica (López et al., 2017: p.458). Proporciona información sobre la concentración de especies en una comunidad, ya que los valores altos del índice indican una alta concentración de especies, mientras que los valores bajos indica una distribución más equitativa entre especies (Soler et al., 2012: p.28). Según Campo y Duval, (2014: p.36) al comparar los valores del índice entre diferentes sitios o áreas se pueden determinar la dominancia de especies y la estructura de comunidades biológicas.

Sus rangos de medición son de 0 a 1, siendo 1 mayor diversidad y los números que se acercan al 0 menor diversidad hay en el sitio, hay que tener en cuenta que mientras el índice aumenta a medida que la diversidad disminuye (Campo y Duval, 2014: p.36). El índice de dominancia de Simpson puede ser utilizados para evaluar la efectividad de medidas de conservación y restauración, así como para identificar áreas que requieren protección o gestión específica (Carrión, 2019, p.19).

Tabla 2-3: Valores del índice de dominancia de Simpson

Valores	Significados
0,1-0.33	Diversidad Baja
0.34-0.66	Diversidad Media
>0.66	Diversidad Alta

Fuente: Yáñez, P., 2014

Realizado por: Chimborazo J., 2023

2.6.3 Índice de riqueza específica de Margalef

El índice de riqueza específica de Margalef es un índice que se utiliza para medir la diversidad de especies en una comunidad biológica, calculando la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies (Valdez et al., 2018: p.1677). Si se utiliza S-1 en lugar de S (donde S es el número de especies), el índice de Margalef será igual a cero (0) cuando hay la presencia de una sola especie, lo que significa que se normaliza por el número de especies, y no varía el tamaño de la muestra (Álvarez et al., 2004: p.198).

Tabla 2-4: Rangos de riqueza según el índice Margalef

Rango	Significado
0,1-1,9	Riqueza baja
2-4,9	Riqueza media
>5	Riqueza alta

Fuente: Valdés, V., 2015

2.6.4 Índice de similitud de Sorensen

Es un índice de similitud que se utiliza para evaluar la variación de la composición de especies entre dos comunidades, sin considerar sus abundancias. Este índice se utiliza para comparar la similitud entre dos comunidades biológicas y especialmente se basa en la presencia o ausencia de especies de cada comunidad (Córdoba et al., 2020: p.456).

$$IS = \left(\frac{2c}{a+b} \right) \times 100$$

La fórmula indica IS= similitud de Sorensen, a= pertenece al número de especies de la muestra 1, b= pertenece al número de especies de la muestra 2 y por último c= número de especies en común. El índice de similitud de Sorensen si oscila entre 0 significa que no hay presencia de especies en común entre las dos muestras y en 1 cuando las dos muestras son iguales en su composición de especies (Badii et al., 2008: p.635).

2.6.5 Índice de similitud de Jaccard

El índice de Jaccard es un coeficiente de comunidad que se utiliza para comparar la similitud entre dos comunidades biológicas en función del número de especies que posee cada una y el número de especies comunes que existen entre ellas (El Khattabi, 2019, pp.24-25). Este índice se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$IJ = \left(\frac{c}{a + b - c} \right) \times 100$$

La fórmula indica IJ= índice de similitud de Jaccard, a= número de especies de la muestra 1, b= número de especies de la muestra 2 y finalmente c= número de especies en común de las dos muestras. El índice de Jaccard oscila entre 0 cuando no hay especies en común y 1 cuando hay una similitud entre las dos muestras (Zacarias et al., 2011: p.856).

2.6.6 Dendograma de similitud de Bray Curtis

Es una herramienta utilizada en biología para representar entre diferentes entidades, como especies o sitios de muestreo, en función de su similitud en términos de composición. El dendograma de Bray Curtis se construye a partir de una matriz de similitud, que se calcula a partir de la composición de especies en diferentes muestras (Betanzos, 2019, p.16).

$$d_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^i (X_{ij} - X_{ik})}{\sum_{i=1}^i (X_{ij} + X_{ik})}$$

Para expresar el grado de semejanza de la composición de especies de dos o más muestras ya sean por réplica o por sitio pueden ser utilizados para informar la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos y la conservación de los ecosistemas (Forero, 2017, p.38).

2.7 Índices Biológicos

Los índices biológicos se refieren a herramientas estadísticas que miden la calidad de los ecosistemas y recursos naturales como agua, suelo y vegetación en términos de diversidad y abundancia en especies biológicas (Prat et al., 2009; citados en Ladrera et al., 2013: p.5).

2.7.1 Índice Biológica Monitoring Working Party (BMWP)

El BMWP fue utilizado en el año 1970 en el país de Inglaterra, es considerado un método rápido en la evaluación de la calidad del agua mediante la presencia y abundancia de especies invertebradas (Cordero, 2015, p.23). Este método es un indicador biológico que evalúa la calidad del agua por medio de los macroinvertebrados ya que son bioindicadores. Los grupos que son más sensibles su puntuación es de 10, mientras que los grupos resistentes a la contaminación es de 1, estas evaluaciones se utilizan para calcular una puntuación final de BMWP (Polo et al., 2015: p.47). En el índice BMWP las familias más sensibles pueden estar presentes en este método, es la Perlidae del orden Plecoptera y Oligoneuriidae del orden Ephemeroptera ya que su puntuación es

de 10, mientras que la familia Tubificidae del orden Oligochaeta son tolerantes a la contaminación por ende su puntuación es de 1 (Cordero, 2015, pp.23-24).

2.7.2 *Índice de Average Score Per Taxón (ASPT)*

Es un índice biológico que evalúa la calidad del agua de un ecosistema. Es una versión modificada del sistema de puntuación del BMWP, que ayuda a evaluar la presencia y abundancia de varios taxones en un ecosistema y su tolerancia a las condiciones ambientales (Kaban et al., 2018: p.3). El índice ASPT se calcula como la puntuación media de cada taxón del sistema, se toma en cuenta su abundancia y sensibilidad a la contaminación. También se utilizó en diversos estudios para monitorear y evaluar la calidad del agua en diferentes sistemas acuáticos (Paoletti, 2019, p.5).

2.7.3 *Índice Andean Biotic Index (ABI)*

El índice ABI es un indicador biológico, se basa en el índice BMWP donde se considera la tolerancia de las familias de macroinvertebrados a la contaminación en las áreas andinas, situadas en una altitud entre los 2000 a 4000 msnm (Ríos et al., 2014: p.250). Este método es de tipo cualitativo ya que valora la presencia o ausencia de las familias de macroinvertebrados, su puntuación para evaluar la calidad del agua va desde mayor a 96 siendo máximo y menor a 14 siendo el mínimo (Zurita, 2016, p.8).

El índice ABI es un método sencillo y efectivo en el cálculo, en algunos países como Perú y Ecuador lo transformaron como una herramienta en la utilización de la calidad del agua, este índice es de poca inversión económica (Meneses et al., 2019: p.300). El ABI junto con otros índices biológicos y parámetros físicos, químicos y microbiológicos, pueden ayudar a identificar áreas con mala calidad del agua y sitios que requieren mayor investigación y esfuerzos de conservación (Martínez et al., 2022: p.78).

2.7.4 *Índice Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT)*

El índice EPT es empleado para el control de la salud ambiental de los ecosistemas de agua dulce (Machado et al., 2018: p.155). Este tipo de índice con los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera son muy sensibles a factores como la contaminación por ende son usados como bioindicadores para evidenciar la buena calidad del agua, son empleados en proyectos que monitorean sitios para valorar su sensibilidad en ecosistemas (Bernath et al., 2022: pp.457-458).

Para el análisis del índice es empleado tres grupos que están compuestos por: Ephemeroptera o también llamados moscas de mayo, el segundo es la Plecoptera o también conocidos como moscas

de piedra y el tercero es Trichoptera, estos macroinvertebrados acuáticos nos indica la calidad del agua en el sitio de estudio (Carrera y Fierro, 2018: p.42).

2.8 Calidad del agua

La calidad del agua es un aspecto importante en la gestión de recursos hídricos y la sustentabilidad del medio ambiente. La calidad del agua puede verse afectado por diversos factores, como la contaminación, el uso intensivo del agua, el cambio climático y la gestión inadecuada de los recursos hídricos (García et al., 2021: p.116). El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua es una práctica común en la evaluación de la salud de los ecosistemas acuáticos, ya que estos organismos son sensibles a los cambios de las condiciones del agua (Osejos et al., 2020: p.456).

2.8.1 Propiedades del agua

Las propiedades del agua son determinadas mediante características físicas, químicas y microbiológicas analizados en el laboratorio, con la finalidad de evaluar la calidad de los sistemas acuáticos y determinar su idoneidad para diferentes usos. Estas propiedades son fundamentales para la vida en la tierra y para una amplia gama de propiedades naturales y humanas (Eustaquio, 2019, pp.17-19).

2.9 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Los parámetros ayudan a evaluar la calidad del agua superficial y subterránea, como ríos y acuíferos con el fin de identificar problemas y tomar medidas para su mejora (Gil et al., 2018: p.112).

2.9.1 Parámetros físicos

Son parámetros medibles que detallan su estado físico como la temperatura, turbidez, salinidad, oxígeno disuelto y la conductividad. Son importantes en la calidad del agua, e idoneidad para diversos usos que nos puede brindar este recurso (Peñañiel et al., 2017: p.642).

2.9.1.1 Turbidez

Pertenece a los parámetros físicos del agua que indica la cantidad de sólidos suspendidos en el mismo, como arcilla, arenas y otros materiales. La turbidez afecta a la calidad del agua por que

indica la presencia de agentes contaminantes que perjudica al medio ambiente (Vergara et al., 2023: p.96).

Según López, (2016, pp.15-16) la turbidez puede ser causa por distintos factores como la erosión de los suelos, la contaminación urbana, la agricultura y descomposición de organismos, lo que provoca la disminución de la penetración de la luz solar en los recursos hídricos, la reducción de la capacidad de retención del suelo y la afectación de la vida acuática ya que perjudica la respiración de los organismos y altera su hábitat.

2.9.1.2 *Color*

El color en la calidad del agua es afectado por diversos factores, como la presencia de sólidos disueltos, minerales, microorganismos y otro tipo de contaminante (Chanamé et al., 2016: p.68). También el color del agua puede ser un indicador de la calidad de los sistemas acuáticos (Pabón, 2020, p.9).

En varios estudios se evidencia que la calidad del agua en diferentes sistemas acuáticos y recursos hídricos utiliza parámetros como el color aparente, que se mide en escalas de color Pt/Co (para determinar la profundidad y tonalidad del color del agua) (Mendes et al., 2019: pp.1-2). También el agua pura es incolora y tiene una apariencia azulada en grandes extensiones, cuando el agua posee un color amarillento es por la presencia de ácidos húmicos, el agua tiene un color rojizo cuando contiene hierro y el color del agua es negro al presentar manganeso, por materia orgánica producen espuma en el ecosistema acuático. Para medir el color se realiza en el laboratorio y su unidad de medida es ppm de Pt (Estrada, 2018, p.26).

2.9.1.3 *Sabor y Olor*

Los factores que perjudican el sabor del agua en distintos ecosistemas acuáticos es la contaminación, proliferación masiva de cianobacterias, presencia de nutrientes y la acidificación del agua (Martinez et al., 2023: pp.215-216). La floración de cianobacterias producen cambios en el sabor del agua debido a la producción de metabolitos y la presencia de fósforo y nitrógeno en cantidades elevadas afectando de forma negativa a la calidad de los ecosistemas acuáticos (Lago et al., 2016: p.115).

Mientras que el olor es un indicador primordial en la calidad del agua en los sistemas acuáticos, que puede ser afectado por causas como la presencia de algas y bacterias ocasionando olores desagradables, disminuye la transparencia del agua y del oxígeno (Tomasini et al., 2016: p.72).

2.9.1.4 Temperatura

La temperatura del agua es un parámetro físico importante en la calidad del agua, ya que puede afectar la capacidad de autodepuración de los ecosistemas acuáticos, cambio climático y la actividad humana, como la agricultura, ganadería y el turismo que pueden influir en los cuerpos de agua (Vargas et al., 2022: p.30). Cuando la temperatura aumenta en sistemas acuáticos, puede variar la solubilidad de las sustancias presentes, aumentando los sólidos disueltos y reduciendo los gases. La solubilidad de los gases y sólidos en agua depende de factores como la temperatura, presión y composición química del agua (Villegas, 2019, pp.173-174).

Por ende, la temperatura en ecosistemas acuáticos es un factor determinante para la vida acuática y puede cambiar significativamente en diferentes épocas y localidades, lo que a su vez afecta la calidad del agua y la distribución de especies (Arias et al., 2021: p.2).

2.9.1.5 Potencial de hidrógeno (pH)

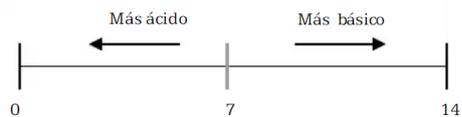


Ilustración 2-1: Escala del pH

Fuente: Sierra C.,2011

El potencial de hidrógeno en los sistemas acuáticos calcula la acidez o alcalinidad del agua. El pH es una medida importante en los organismos acuáticos para su reproducción y la eficacia de los procesos biogeoquímicos. Mide en una escala de 0 a 14 donde 7 es neutro, menores que 7 indican acidez y mayores que 7 indican alcalinidad (Harvyandha et al., 2019: p.519).

La mayoría de aguas naturales se encuentran entre 4 y 9 ya que son ligeramente alcalinas porque contiene carbonatos y bicarbonatos, cuando su pH es muy alcalino o ácido se evidencia desechos industriales y por lo tanto produce contaminación en los sistemas acuáticos, por ende es importante monitorear y mantener un pH dentro de los rangos establecidos para el equilibrio de los ecosistemas acuáticos (Calderón y Orellana, 2015: p.57).

2.9.2 Parámetros químicos

Los parámetros químicos son fundamentales para evaluar la calidad del agua y sus diversos usos, también para monitorear la contaminación y proteger el medio ambiente (Carpio, 2021, p.155).

2.9.2.1 *Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO)*

El DBO son parámetros que cuantifican la cantidad de oxígeno de los microorganismos, en especial de bacterias tanto aeróbicas como anaeróbicas, hongos y plancton, que consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas que se encuentra en los sistemas acuáticos. Cuando los valores del DBO indican una mayor contaminación, se necesita más oxígeno para descomponer la materia orgánica, lo que puede causar el agotamiento del oxígeno disuelto en el agua (Ugaz, 2018, pp.10-11). Los sistemas acuáticos son susceptibles a la contaminación disminuyendo el oxígeno y provocando afectaciones de forma directa a la flora y fauna del lugar (Raffo y Ruiz, 2014: p.75).

En el laboratorio el DBO se establece con una temperatura de 20 °C en un periodo de tiempo de 5 días su unidad de medida es en mg/L. Este parámetro es aplicado a las mediciones de calidad de aguas superficiales y residuales, evalúan plantas de tratamiento de aguas residuales también conocidas como (PTAR) (Salguero, 2017, p.11).

2.9.2.2 *Demanda Química del Oxígeno (DQO)*

El DQO permite estimular la DBO ya que es una medida de la cantidad de oxígeno que permite la degradación de materia orgánica que es utilizada de alimento para las bacterias, si existe mayor presencia de DBO mayor será la contaminación en los ecosistemas acuáticos (Condori y Torre, 2019: p.38). Los parámetros para la aceleración de biodegradación se producen por medio de los microorganismos, mediante la oxidación forzada empleando oxidantes químicos y técnicas estandarizadas (Melendez, 2012, p.22). Según Mayta y Mayta (2017: p.332) cuando hay mayor concentración de DQO en el agua puede producirse la desoxigenación del agua que tenga contacto con ella, por ende, afecta al O₂ en los organismos que se encuentran en el sistema acuático

2.9.2.3 *Salinidad*

La salinidad ayuda a medir las sales disueltas y otras sustancias que perjudican a la calidad del agua, se puede medir utilizando los siguientes equipos, el primero un hidrómetro que mide la gravedad que se puede transforman en salinidad y el segundo un refractómetro que calcula la capacidad de agua para refringir la luz (Fernández, 2012, p.151). También la salinidad calcula o mide el cloro en los sistemas de agua salada en cambio en los sistemas de agua dulce se mide las cantidades totales de sólidos disuelto (Batalla, 2016, p.12).

Según Hernández, (2016, pp.13-14) la presión osmótica aumenta la salinidad y se incrementa, esto quiere decir que las especies acuáticas difieren la presión osmótica ya que cada individuo presenta diferentes rangos de salinidad. Cuando la salinidad es baja afecta a la calidad del agua ya que aumenta la excreción del amonio por ende hay menor crecimiento puesto que la energía es utilizada para la osmorregulación.

2.9.2.4 Nitritos (NO_2^-) y Nitratos (NO_3^-)

Estos compuestos son parte del ciclo del nitrógeno, pueden estar solubles en el agua por lo que se pueden encontrar en ríos y en lechos profundos. El nitrógeno ingrese a los cuerpos de agua a través de las aguas residuales, residuos de animales o por tanques sépticos (Bolaños et al., 2017: p.17).

Para los nitratos la entrada a aguas subterráneas es por procesos naturales de forma directa o indirecta las cuales son precipitación y descomposición de la materia orgánica y para los niveles de nitritos que excedan los 0,75 ppm provoca estrés en los peces y mayor a 5 ppm son tóxicos (Bautista y Ruiz, 2011: p.12). Los nitratos y nitritos ayudan a la eutrofización de los sistemas acuáticos, lo que provoca la proliferación de algas y la disminución del oxígeno en el agua perjudicando la vida acuática (Román, 2015, pp.15-18).

2.9.2.5 Fosfatos

El fosfato procede del fósforo ya que es un mineral del ciclo biogeoquímico, se encuentran como fragmentos dispersos en los sistemas acuáticos (Bolaños et al., 2017: p.18). Son compuestos químicos que se encuentran en los sistemas acuáticos y pueden afectar la calidad del agua. Los fosfatos se pueden originar de fuentes naturales, como la revisión de materia orgánica y actividades humanas como la agricultura (González et al., 2014: p.20).

Según Maza, (2017, p.15) los fosfatos son solubles para el crecimiento y el desarrollo de las plantas, pero si este componente se encuentra en grandes cantidades produce el crecimiento desmedido de algas y macroorganismos causando eutrofización, polución y reduce el movimiento de los sistemas acuáticos.

2.9.2.6 Fósforo

El fósforo es un elemento importante para el crecimiento de las plantas, pero de manera excesiva puede causar problemas como la eutrofización en los sistemas acuáticos (Melgarejo et al., 2023: p.1125). La eutrofización es un proceso en los ecosistemas acuáticos que favorece con nutrientes,

provocando el crecimiento excesivo de plantas acuáticas y algas afectando de manera directa vida acuática (Laughinghouse et al., 2022: p.2). Las actividades humanas como la agricultura, piscicultura y el turismo pueden contribuir a la presencia del fósforo en los sistemas acuáticos, por ende, la gestión de la calidad del agua ayuda a la reducción tanto del fósforo como del nitrógeno para evitar el proceso de la eutrofización (González et al., 2014: p.20).

Este elemento es importante ya que es un parámetro de la calidad del agua y está presente como ortofosfato que es absorbido por las plantas acuáticas y el fitoplancton. Este compuesto depende mucho del pH del medio en que se encuentra ya que puede proceder como sumidero o fuente de nutrientes, actuando como proceso de regulación en los ecosistemas acuáticos (Oroná et al., 2013: p.206).

2.9.3 Parámetros microbiológicos

Los parámetros microbiológicos indican la presencia de microorganismos, quienes evalúan la calidad del agua y su idoneidad para usos específicos, como el consumo humano o fines agrícolas (Chávez et al., 2022: pp.16-17).

2.9.3.1 Levaduras y Mohos

Mohos y levaduras corresponden al reino Fungí, los hongos desempeñan diversas funciones en la cadena alimentaria de los sistemas acuáticos. Los hifomicetos ayudan en la descomposición de hojarasca en los ríos y la quitridios son parásitos que sirven como alimento para los pequeños invertebrados que se encuentran en los lagos (Fernández y Smits, 2021: p.2).

Según Mendoza et al., (2022: p.5) las levaduras son importantes en la calidad del agua, está relacionada con la materia orgánica y el proceso de la eutrofización en los ecosistemas acuáticos. La presencia de levaduras puede ser un indicador de contaminación a causa de materia orgánica y nutrientes, lo que provoca el crecimiento desmedido de algas y la disminución del oxígeno disuelto, afectando de forma negativa a la calidad del agua y la vida acuática (Sánchez et al., 2023: p.2)

Para Hidalgo y Osorio, (2013: p.34) los mohos desempeñan varias funciones en la cadena alimentaria en los sistemas acuáticos. Su formación provoca contaminación por materia orgánica y nutrientes a causa de actividades humanas y factores ambientales (Flores, 2012, p.21), que pueden favorecer la proliferación de mohos en los ambientes acuáticos (Cabello, 2015, p.7).

2.9.3.2 *Aerobios*

Según Moreno et al., (2022: pp. 2-3) los mesófilos aerobios son microorganismos que pueden desarrollarse en presencia de oxígeno y temperaturas moderadas, causando eutrofización que facilita la proliferación de plantas acuáticas en los cuerpos de agua, afectando de manera directa la vida acuática (Moreta, 2008, p.17).

2.9.3.3 *Coliformes fecales*

Los coliformes fecales conocidos como termotolerantes son bacterias que resisten a temperaturas hasta 45 °C, también forman parte de los coliformes totales, estas bacterias son consideradas como bioindicadores de los sistemas acuáticos (Pino et al., 2021: pp.105-106). Se encuentran en sistemas acuáticos y terrestres precisamente en el excremento de animales y seres humanos, la presencia de estas bacterias indica contaminación en los cuerpos de agua y en el medio ambiente (Vergara et al., 2023: p.95).

Para Márquez et al., (2023: p.5) los coliformes pueden ocasionar enfermedades infecciosas en humanos y animales, como también en la calidad del agua y medio ambiente. Por ende, es importante monitorear y controlar la presencia de coliformes fecales en el agua para garantizar su seguridad y sostenibilidad.

2.9.3.4 *Coliformes totales*

Los coliformes totales es un grupo de bacterias, en su mayoría de forma bacilar y gran negativas que incluye la bacteria *Escherichia coli*. Estas bacterias tienen la capacidad de fermentar la lactosa entre los 35 a 37 °C, dando como resultado ácidos y dióxido de carbono en un periodo de tiempo de 24 horas (Galvis y Rivera, 2013: p.34). La presencia de coliformes totales en el agua puede ser evaluada por el recuento de las mismas por cada 100 ml de agua, lo que proporciona información sobre la calidad microbiológica del agua (Rodríguez et al., 2012: p.112).

Según Lorenzo et al., (2023: p.52) la presencia de los coliformes puede variar en función de diversos factores, como la actividad humana y el manejo de los recursos hídricos, para ello es importante el monitoreo y el control para garantizar la sostenibilidad de los cuerpos de agua.

2.9.3.5 *Hongos*

Los hongos son organismos microscópicos que se encuentran en los cuerpos de agua y son encargados de degradar el material vegetal presente en el agua, favoreciendo así a otros organismos que se encuentran en su entorno. Son importantes desde el sitio de vista ecológico y biotecnológico ya que son indicadores de la calidad del agua (Fernández y Smits, 2016: p.110).

Para Francis y Campos, (2023: p.2) los hongos contienen una pared rígida que envuelve al citoplasma y sus paredes contiene quitina, la mayor parte de este tipo de organismos son aerobios (Páramo et al., 2018: p.3). Estos organismos pueden provocar enfermedades como irritación en las mucosas, efectos perjudiciales al ser humano como es la inmunodeficiencia entre otros (Arévalo et al., 2014: p.8). Además, en la acuicultura, la calidad del agua es fundamental para prevenir enfermedades en los peces, se puede obtener un buen control, monitoreo en la calidad del agua y saneamiento.

2.10 Análisis estadísticos para análisis de la biodiversidad

2.10.1 Análisis de Correspondencia Canónica (ACC)

El ACC es un método estadístico utilizado para examinar la relación entre variables categóricas y continuas, permitiéndole visualizar y comparar patrones de variabilidad entre diferentes grupos o categorías. Este análisis busca identificar las variables más relevantes que contribuyen a las diferencias observadas entre los grupos y proporciona una representación gráfica de dichas relaciones (Gutiérrez et al., 2018: p.59).

2.11 Estrategias de manejo para la conservación de ecosistemas acuáticos

2.11.1 Estrategias

Las estrategias son planes de acción diseñados para lograr un objetivo específico. En el contexto de la conservación de ecosistemas acuáticos, las estrategias son enfoques y prácticas que buscan proteger y manejar los sistemas naturales del agua dulce y marinos, incluyendo humedales, ríos, lagos, mares y océanos (Córdova, 2020, p.92). Estas estrategias pueden incluir la identificación y control de especies invasoras, la conservación de especies de interés biológico y ecológico, la implementación de medidas de restauración y rehabilitación de ecosistemas degradados para la conservación de los ecosistemas, entre otras (Oviedo et al., 2012: p.97). El objetivo de estas estrategias es proteger la diversidad biológica, mantener los procesos ecológicos y la riqueza genética en todo el territorio nacional y en otros ecosistemas que han sido transformados por el ser humano (Pérez., 2011: p.96).

2.11.2 Programas

Los programas son conjuntos de actividades y acciones planificadas que se llevan a cabo para alcanzar un objetivo específico (Espinoza y Pachas, 2013: p.102). En el contexto sobre la conservación de ecosistemas acuáticos, los programas pueden referirse a iniciativas coordinadas que abordan desafíos particulares, como la protección de especies en peligro de extinción, la restauración de hábitat degradados, el monitoreo de calidad del agua (Polanía, 2010, p.79), entre otros. Estos programas suelen estar respaldados por recursos financieros, humanos y técnicos y se implementan en un marco temporal, con el fin de lograr resultados (Ministerio de Economía y Finanzas, 2022, p.34) sobre la conservación y manejo sostenible de los sistemas acuáticos

2.11.3 Proyectos

Los proyectos son iniciativas específicas y concretas que buscan resolver problemas o lograr objetivos concretos en un ámbito determinado (Rivas et al., 2017: p.1195). Sobre la conservación de ecosistemas acuáticos, los proyectos pueden referirse a acciones específicas que se llevan a cabo para implementar estrategias y programas de conservación (Arguello et al., 2022: p.1976). Estos proyectos pueden abordar la implementación de medidas de control de especies invasoras, la creación de áreas protegidas, educación ambiental (Gallardo et al., 2019: p.502), entre otros. Suelen tener un tiempo establecido y un presupuesto específico, se implementan a través de un enfoque participativo y colaborativo que involucre a diversas partes interesadas como gobiernos, organizaciones no gubernamentales y comunidades (Saenz, 2012, p.1), entre otros.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación Geográfica

El estudio se realizó en la laguna Patococha, en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, parroquia Pilahuín, a 64.4 km de la ciudad de Riobamba (provincia de Chimborazo) (Paredes et al., 2020: p.753). La laguna Patococha forma parte de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo (RPFCh) que se localiza en la región sierra en los Andes centrales del Ecuador en las provincias de Tungurahua, Chimborazo y Bolívar, cuenta con una extensión de 58560 ha (Basantes, 2018, p.18). La RPFCh se localiza entre las siguientes coordenadas geográficas, latitud ($X = 745767$) y longitud ($Y = 9847570$) Zona Sur 17, Datum WGS 84 y su elevación va desde 4228 msnm hasta los 4246 msnm (Zurita et al., 2021: p.803).

La laguna Patococha, es un tipo de ecosistema acuático léntico, que tiene una extensión total de 1,05 ha, y está formada por tres cuerpos de agua (Acosta, 2013, p.1). El primer cuerpo de agua posee una longitud de 69.81 m de largo y un ancho de 37.34 m, un área de 0,2082 hectáreas y un perímetro de 224.92 m. El segundo cuerpo de agua posee una longitud de 53.68 m de largo y un ancho de 33.82 m, un área de 0.137472 hectáreas y un perímetro de 153.21 m, y el tercer cuerpo de agua posee una longitud de 44.27 m de largo y un ancho de 32.98 m, un área de 0.110024 hectáreas y un perímetro de 121.88 m.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA LAGUNA PATOCOCHA RESERVA DE PRODUCCIÓN DE FAUNA CHIMBORAZO

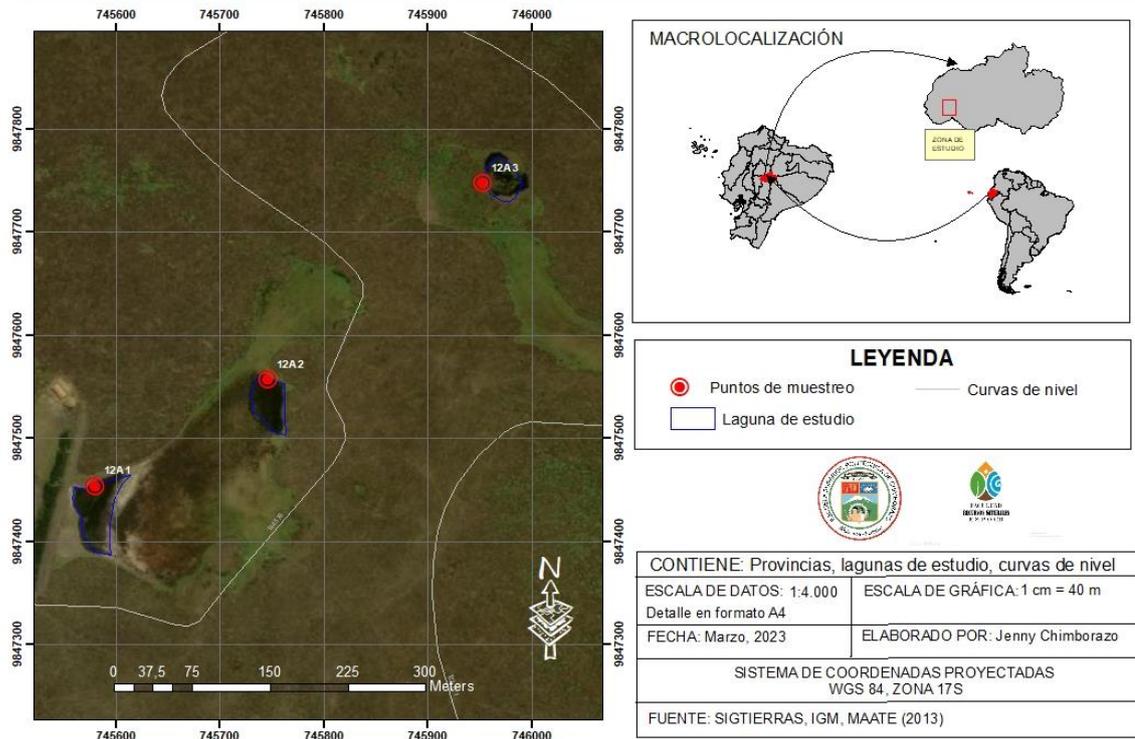


Ilustración 3-2: Ubicación Geográfica de los sitios de muestreo de la laguna Patococha

Fuente: SIG Tierras, IGM, MAATE (2013)

Realizado por: Chimborazo J., 2023

3.2 Metodología

Para este estudio se aplicó dos tipos de investigación observacional y analítica que consiste en observar lo que acontece y registrar los sucesos sin necesidad de inferir en su ambiente natural (Jacha et al., 2019: p.1529).

3.2.1 *Monitorear la condición ambiental de tres sitios de visita de la laguna Patococha*

3.2.1.1 *Identificación de los sitios de muestreo*

En el lugar de estudio se identificó tres sitios de muestreo considerando los criterios a) intervención turística, b) diferentes tipos de hábitat y c) fácil acceso. Los sitios de muestreo identificados fueron ordenados mediante un código alfanumérico establecido según el siguiente orden: 12A1, donde (12) es el código de la laguna en este caso corresponde a la laguna Patococha en la RPFCh, (A) corresponde a la categoría de la laguna y (1) es el número del sitio de muestreo.

Tabla 3-5 Descripción de los tres sitios de muestro de la laguna Patococha

Código	Extensión (ha)	Ubicación	Descripción
Sitio de muestro 12A1	0,2082 hectáreas	X: -1,378133 Y: -78,79151 Z: 4241	El sitio de muestro es de uso turístico, se encuentra rodeado de vegetación tipo herbácea, la forma del sitio es cóncava con una pendiente moderada de 30° a 60°
Sitio de muestro 12A2	0.137472 hectáreas	X: -1,378124 Y: -78,791452 Z: 4241	El sitio de muestro se encuentra rodeado de vegetación herbácea, la forma del sitio de muestro es convexa con una pendiente menor a 10°
Sitio de muestro 12A3	0.110024 hectáreas	X: -1,376725 Y: -78,79015 Z: 4241	La forma del sitio de muestro es escalonada con una pendiente menor a 10°

Realizado por: Chimborazo J., 2023

El muestreo se llevó a cabo dos veces, el primer muestreo se realizó en el mes de marzo del año 2023 y el segundo muestreo se realizó en el mes de julio del año 2023, el tiempo transcurrido de un muestreo a otro fueron de tres meses, ya que el ecosistema fue alterado por la intervención humana y necesita un periodo de tiempo para su recuperación (Terneus et al., 2012: p.39).

3.2.1.2 *Muestreo de agua en campo*

En primera instancia se tomó muestras para la química del agua, para ello se utilizó botellas plásticas de 2L, las cuales fueron previamente lavadas tres veces con el agua de la laguna. Estas botellas se llenaron revisando que no contenga burbujas de aire en la misma (Gagneten et al., 2022: p.63). Después en un frasco esterilizado se procedió a tomar la muestra de agua para determinar parámetros microbiológicos (Forero et al., 2013: p.374) y posteriormente las muestras fueron colocadas en un coolers con hielo hasta transportar al laboratorio (Orta y Pabón, 2020: p.21) de Servicios Ambientales en la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH).

A la par en cada sitio de muestro se midió parámetros físicos del agua utilizando el multiparámetro HACH (HQ40D) con el equipo ya mencionado se midió el pH, temperatura del agua, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y sólidos totales disueltos (Caiza, 2023, p.10). Las sondas fueron calibradas en el laboratorio antes de usar en campo, para tomar las mediciones antes mencionadas las sondas fueron sumergidas en el agua (Cardenas, 2018, pp.20-21).

Para medir el pH se sumergió el electrodo en la muestra durante 1 minuto y se tomó el valor del pH que registró el multiparámetro (Calderón, 2022, p.32). Para medir la temperatura se sumergió la sonda en la muestra y se tomó el valor, después del uso se lavó la sonda con agua destilada para utilizar en los siguientes sitios de muestreo (Yayder, 2019, p.33). Para medir los sólidos totales disueltos se sumergió el electrodo por un minuto y se tomó el valor marcado en el multiparámetro, terminado la medición se lavó la sonda con abundante agua destilada para poder usar en los siguientes sitios (Noguera y Tapia, 2022: p.19). Para medir el oxígeno disuelto se sumergió el electrodo en la laguna durante 1 minuto hasta que el equipo se estabilice y se tomó el valor del DO su unidad de medida es mg / L, después se lavó el electrodo con agua destilada (Ortiz, 2021, p.15).

3.2.1.3 Procesamiento de parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua

- **Parámetros físicos**

Turbidez: para su medición se utilizó el equipo turbidímetro, utilizando el método de nefelométrico 2130 B. (Bonilla, 2015, p.27). Primero se agitó la muestra durante 1 minuto hasta homogeneizar el agua, después se colocó 25 ml de muestra en la celda y se tapó. Finalmente se colocó la muestra en el equipo y se tomó el valor una vez que el equipo se estabilizó (Mamani, 2023, p.40).

Color: para su medición se utilizó el equipo espectrofotómetro HACH DR 5000, se usó el método 2120 – C, el código del parámetro en el fotómetro es 120 color 455 nm (nanómetros) (Delgado et al., 2023: p.127). Primero se procedió a agitar la muestra durante 1 minuto, se colocó en una celda de agua destilada y este va ser el blanco, luego se buscó el código 120 en el fotómetro y se colocó el agua destilada en el fotómetro para que el valor de en cero. Después se colocó la muestra y se tomó el valor. Para seguir con el proceso se intercaló la celda que contiene agua destilada (blanco) y la muestra en el fotómetro (Guerra y Mejía, 2023: p.28).

Salinidad: el equipo que se utilizó para su medición fue el conductímetro, utilizando el método 2520B, primero se sumergió la sonda en el cuerpo de agua que se va a muestrear, luego se pulsó la tecla medición y se esperó unos minutos hasta que se estabilice el equipo, finalmente se tomó el valor y se lavó la sonda con abundante agua destilada, se secó y se guardó el equipo para utilizar en una próxima medición (Guerra y Mejía, 2023: p.27).

- Parámetros químicos

Los nitratos (NO_3^-): se midió utilizando el método de Nitrógeno (Nitrato) 4500 $\text{NO}_3\text{-E}$ modificado al método HACH 8039, ya que los rangos de las medidas son de 0.3 a 30.0 mg/L de NO_3 . Para medir este parámetro se utilizó el equipo llamado espectrofotómetro HACH DR 5000 (Loachamín, 2017, p.29). Se usó celdas de 10 ml para la muestra y el reactivo Nitra Ver 5 se procedió a agitar la muestra para tener una mezcla homogénea y se esperó 5 min. Para el blanco se colocó 25 ml de la muestra obtenida en el campo sin ningún reactivo (Arias y Hinojosa, 2021: p.38).

Finalmente se limpió las celdas para eliminar huellas o impurezas que no alteren el resultado de la muestra, se buscó el código 355 en el espectrofotómetro luego se dio click en cero, se colocó el blanco en el espectrofotómetro se dio click en cero, se procedió a colocar la muestra y se tomó el valor (Guerra y Mejía, 2023: p.29). El valor se registró en mg/L NO_3 (Córdova y Díaz, 2020: p.18).

Los nitritos (NO_2^-): para su medición se utilizó el equipo llamado espectrofotómetro HACH DR 5000 con el método 4500 $\text{NO}_2\text{-B}$ modificado al método Hach 8507, sus rangos de medición va desde 0 a 0,30 mg / L de NO_2 (Guerra y Mejía, 2023: p.28). Se colocó 25 ml de muestra en las celdas sin ningún reactivo para el blanco, luego se agitó la muestra durante un minuto y se colocó en 10 ml de muestra en las celdas, después se utilizó el reactivo Nitra Ver 3 en la muestra, se tapó y se agitó durante 1 minuto y se esperó 20 minutos para su reacción. Finalmente se limpió las celdas para eliminar huellas y que no alteren el resultado, se buscó el código 371 en el fotómetro. Se dio click en cero y se colocó el blanco en el fotómetro, nuevamente se dio click en cero, se colocó la muestra y se tomó los valores (Ramos, 2016, p.41).El valor obtenido será en mg/L NO_2 (Bolaños et al., 2017: p.17).

Los fosfatos y fósforo (PO_4 y PT): se midió con el método de 4500-P-E (Haro y Perales, 2015: p.18), se utilizó los rangos de medición que va desde 0.02 a 2.50 mg / L- PO_4 . El equipo que se empleó fue el espectrofotómetro HACH DR 5000. Se utilizó celdas de muestra de 10 ml y el reactivo Phos Ver 3 se procedió a agitar la muestra para tener una mezcla homogénea y se esperó 2 min para su reacción. Se realizó el blanco utilizando 25 ml de muestra obtenida sin ningún reactivo. Por último, se limpió las celdas para eliminar las impurezas que se encuentren, para no alterar su valor. Para medir los fosfatos se utilizó el código 490- PO_4^{3-} en el espectrofotómetro y para el fósforo se empleó el código 490- P. Para seguir con la medición se intercalo la celda del blanco con la muestra de fosfatos o fósforos (Guerra y Mejía, 2023: pp.29-30).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): se utilizó el método 5210 B. Se empleó una bomba de vacío, frasco de winkler y 2 botellas de 1L (Córdova, 2018, pp.37-38). Como primer paso se preparó

2L de agua de difusión, para ello se colocó en una botella de 2L agua destilada y se incorporó 1 ml de cada uno de los siguientes reactivos: CaCl₂, Mg SO₄; Fe CL₃ y 2 ml de tampón (Buffer) por cada litro de agua destilada, se utilizó una pipeta de 1ml (Lara y López, 2020: p.32). Después en la bomba de vacío se colocó agua destilada con los nutrientes durante 1 hora para que se sature el oxígeno (Ancalle y Ledesma, 2020: p.35).

Posteriormente se agitó la muestra durante un minuto, luego se añadió 50% de muestra y 50% de agua de difusión, se utilizó una probeta de 1L, se agitó la probeta para combinar la muestra y el agua de difusión formando una mezcla homogénea y se colocó en 2 frascos de winkler etiquetados por muestra (Guaman, 2021, p.27). Después se midió el oxígeno utilizando el multiparámetro HACH, se introdujo la sonda en la muestra, se esperó unos minutos que se estabilice, se tomó los datos obtenidos (Campaña et al., 2017: p.306). Por último, se incubó las muestras en un período de tiempo de 5 días, se midió nuevamente el oxígeno y se tomó los valores obtenidos (Gallegos, 2013, p.203).

Para la medición de la Demanda química de oxígeno (DQO): se utilizó el quipo llamado espectrofotómetro HACH DR5000, se empleó el código 5220 D (Guerra y Mejía, 2023: p.30). Lo primero que se realizó fue prepara el blanco (agua desionizada) para calibrar el espectrofotómetro, una vez obtenido el blanco se agitó la muestra de cada sitio de muestreo durante un minuto, con ayuda de una pipeta se tomó 2 ml de muestra, que se colocó en el vial y se agitó la muestra (Luna et al., 2014: p.16). Luego en un vaso de precipitación se invirtió la muestra y se llevó a la estufa a una temperatura de 150 ° C por un periodo de tiempo de 2 horas, después que trascurrió el tiempo se dejó reposar por 1 hora hasta que se encuentre en temperatura ambiente (Montalvo, 2020, p.19). Por último, en el espectrofotómetro se colocó la muestra y se registró los valores obtenidos de cada sitio de muestreo (Huanca, 2015, pp.38-39).

- Parámetros microbiológicos

Para los coliformes fecales y totales se utilizó la técnica de membrana 9222, mediante una placa petrifilm (Urrutia, 2022, p.27) se utilizó de la siguiente manera: se agitó suavemente la muestra obtenida durante 1 minuto, se utilizó una pipeta de 1 ml se tomó la muestra y se colocó en el petrifilm (placa). Se levanto la película superior y se homogenizó la muestra en la placa, que se colocó en la incubadora MEMMERT modelo BE500 a 30° C (Echeveria y Parco, 2011: p.45), por un periodo de tiempo de 24 horas y se tomó apuntes del valor obtenido, luego se volvió a tomar el valor después de 48 h (Costa, 2021, p.37).

Los aerobios: se utilizó una incubadora Memmert modelo BE500 y placas Petrifilm. Con una pipeta esterilizada se colocó 1 ml de muestra en la placa, cuidadosamente se levantó la película

superior y se colocó la muestra lentamente se bajó la película para homogenizar la muestra en las placas Petrifilm se colocó un etiquetado. Luego se llevó a la incubadora MEMMERT por 120 horas a una temperatura de 30° C. La primera revisión se realizó luego de 24 horas, se tomó la placa y se contó las bacterias aerobias que se encuentran en celdas de color rojizo y se registró los datos obtenidos en UFC/100 ml (Alonso y Poveda, 2008: p.85).

La segunda revisión se realizó luego de 4 días, cuando hubo presencia de varias bacterias aerobias, se escogió una submuestra y se contó las bacterias que se encuentran en una celda y se multiplicó por 20 de esta forma se obtuvo el valor total de las bacterias aerobias. Por último, las placas fueron colocadas en fundas ziploc y se conservó en un congelador a 5° C (Guerra y Mejía, 2023: p.33).

Los mohos, hongos y levaduras: se utilizó placas Petrifilm para recuento de mohos y levaduras, el equipo que se utilizó fue la incubadora marca Memmert modelo INB 400, lo primero que se realizó fue limpiar el sitio donde se va a trabajar con las muestras, luego con una pipeta destilada se colocó 1 ml de muestra en la placa Petrifilm, después se codificó la placa y se envió a la estufa a una temperatura de 30° C en un periodo de tiempo de 120 horas (López y Zurita, 2020: pp.41-42). El primer conteo se registró después de 24 horas, se contabilizó los hongos, mohos y levaduras presentes en la placa (Guerra y Mejía, 2023: pp.32-33).

Si existen muchos mohos, hongos o levaduras se estimó su valor, para ello se tomó una submuestra, y se contó los mohos, hongos o levaduras que están presentes en la celda y se multiplicó por 20 para así obtener el número total presente en la muestra. Se registró los datos obtenidos en UFC/100 ml, finalmente las placas fueron colocadas en fundas ziploc en el congelador a una temperatura de 5° C una vez contadas las placas (Moreno y Velarde, 2016: pp.58-59).

3.2.1.4 Análisis de criterios de calidad del agua para uso: preservación de la vida acuática y silvestre

Se realizó un análisis respecto a los criterios de calidad para el uso de preservación de la vida acuática y silvestre contenida en el documento del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) contenido en el Acuerdo Ministerial 097 y registro oficial 387 (MAATE, 2015). En la siguiente tabla se resume los criterios de calidad y límites permitidos a la norma considerada para efecto de este análisis.

Tabla 3-6: Criterios de la calidad del agua según TULSMA (Anexo 1-libro VI) para la preservación de la vida acuática y silvestre

TULSMA (Anexo 1- libro VI)							
CF	pH	OD	DQO	DBO5	Nitrógeno amoniacal	Nitratos	Nitritos
(si hay contaminación)	(6.5 – 9)	% (>80)	mg/l (40)	mg/l (20)	(ausencia)	mg/l (13)	mg/l (0.2)

*CF: Coliformes fecales, *OD: Oxígeno disuelto, *DQO: Demanda química de oxígeno, *BD05: Demanda biológica de oxígeno

3.2.2 *Analizar la biodiversidad de las comunidades de macroinvertebrados de tres sitios de visita de la laguna Patococha*

3.2.2.1 *Colecta de macroinvertebrados en campo*

Se colectaron muestras de macroinvertebrados empleando dos técnicas:

- Técnica de colecta manual, una técnica que consiste en buscar organismos sobre o debajo de las piedras, troncos caídos o en restos de vegetación (Ministerio Nacional del Ambiente, 2014; citado en Luciani, 2022, p.35). Una vez encontrados los macroinvertebrados se recolectó cuidadosamente con pinzas entomológicas, para poder despegar estos organismos que se encontraban adheridos en restos de vegetación, con la finalidad de obtener su forma o morfología en buen estado. Posteriormente, se colocó a los organismos que tienen estructuras iguales o similares en tubos polipropileno de 10 ml con su respectivo etiquetado (Machado et al., 2018: p.157).
- Técnica de la patada, se realizó en la orilla de la laguna Patococha, se utilizó una red de tipo D que tiene una malla de 250 μm , que se sujetó a un marco metálico de 0,15 m por 0,15 m y un asa de 1,9 m de largo (Rincón et al., 2021: p.18). Esta técnica consistió en patear suavemente el sustrato a contracorriente con la ayuda de un vadeador, luego se sumergió la red en el agua durante 5 minutos en cada sitio de muestreo en un tramo de aproximadamente 10 a 20 m (Molocho, 2019, p.31), luego se cubrió 3 sitios con diferentes tipos de hábitat como sustrato de lechos, macrófitas y partes de vegetación terrestre que se encuentran sumergidas en agua (Darrigran et al., 2007: p.17). Para la recolección de los macroinvertebrados se utilizó un vadeador para poder introducirse a la orilla de la laguna y poder adquirir mayor variedad de macroinvertebrados (Hernández, 2017, p.81).

Los macroinvertebrados encontrados se colocó en cubetas de plástico de 4L con su respectiva tapa para que esté sellada la cubeta y etiquetada con el número del sitio que corresponde al muestreo de la laguna (Carrera y Fierro, 2001; citado en Bonilla, 2013, pp.49-50). Finalmente se colocó

hielo alrededor de las cubetas y se procede a transportar al laboratorio (López, 2016, p.31) de Servicios Ambientales en la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) (ver tabla 2-3).

Tabla 3-7: Técnicas de colecta empleadas en los tres sitios de la laguna Patococha

Técnica de colecta manual en la laguna Patococha	Técnica de la red de patada en la laguna Patococha
	

Realizado por: Chimborazo J., 2023

3.2.2.2 *Procesamiento de macroinvertebrados en laboratorio*

El procesamiento de muestras de macroinvertebrados consistió en lavar, utilizando un tamiz de 500 µm con el grifo abierto, previniendo el contacto directo con la muestra y evitando que se lastimen los organismos, este procedimiento se llevó a cabo con la finalidad de poder separar los organismos de los sedimentos hasta tener una muestra visible (Salvatierra, 2012, p. 39).

Una vez lavada la muestra se procedió a colocar porciones pequeñas en bandejas plásticas blancas etiquetadas, para picar los macroinvertebrados se utilizó pinzas entomológicas (Jaramillo y Villamar, 2022: p.36), en la bandeja se agregó agua para poder separar y visualizar los organismos que se encuentran en la muestra, para ello se utilizó lámparas y lupas (Ramírez, 2010, p.43). A los organismos se clasificaron primero por su diversidad y abundancia, después por su forma, orden o familia en hieleras con agua (Pilaguano, 2020, p.21), la hieleras fueron etiquetadas según el número del sitio de muestreo. Después los macroinvertebrados fueron colocados en tubos plásticos de polipropileno de 10 ml con alcohol al 96% para su conservación (Carvacho, 2012, p.12) con su correspondiente etiquetado.



Ilustración 3-3: Procesamiento de macroinvertebrados en el laboratorio de Servicios Ambientales en la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH)

Realizado por: Chimborazo J., 2023

3.2.2.3 *Identificación de macroinvertebrados*

Para identificar los macroinvertebrados se utilizó un microscopio (Leica DM LS2) usando objetivos de 25x, 40x, y 100x, con un micrómetro ocular ya calibrado (Salvatierra, 2014, p.4) y un microscopio estereoscópico Leica EZ4D, con oculares de 10x, compuesta por una cámara CMOS de 3 megapíxeles (Mpx) (Vasco, 2015, p.20). Estos organismos fueron identificados según su clase, orden y familia mediante la aplicación de diferentes claves taxonómicas Roldán (1988), Pennak (1978) y Merrit y Cummins (1996) (Sánchez, 2008, p.23).

3.2.2.4 *Análisis de biodiversidad de macroinvertebrados*

Se analizó la diversidad alfa y beta. Dentro de la diversidad alfa se calculó el índice de Shannon-Weaver (H'), la diversidad de Simpson ($1-\lambda'$), la riqueza de Margalef (d) (Valderrama, 2021, pp.19-21), mientras que, dentro de la diversidad beta se calcularon los índices de Sorensen, Jaccard y Bray Curtis (Rosas et al., 2014; citados en Barrera y Monroy, 2015: p.14) como se describe a continuación:

- *Índice de Shannon-Weaver (H')*

Para este índice lo primero que se realizó fue elaborar una base de datos utilizando el software Excel, después como resultado se obtuvo el valor total de los individuos a través del conteo de individuos indica el grado de diversidad encontrado en cada sitio (Raup, 1988; citado en Maigua, 2018, p.13), está compuesta por tres estructuras la riqueza, uniformidad y abundancia que ayuda a determinar la calidad ambiental (Metcalf, 1989; citado en Jaico, 2011, p.10), luego se calculó el valor de P_i (señala la proporción de cada familia), finalmente se reemplazó en la fórmula que consiste en

multiplicar el valor P_i por el logaritmo natural (Narváez, 2018, p.38), se utilizó en todas las familias y como resultado indica el índice de diversidad.

$$\bar{H} = -\sum \left(\frac{n_i}{n}\right) \times \ln \left(\frac{n_i}{n}\right)$$

Dónde:

n_i = número de individuos de la especie i

n = número total de individuos de la muestra

\ln = logaritmo natural

- *Diversidad de Simpson ($1-\lambda'$)*

Para calcular el valor de la diversidad, se sumó el número de individuos identificados de cada sitio de muestreo (Torbellino et al., 2017: p.11), con el total de individuos se obtuvo el valor de la proporción (P_i), mediante ese valor se reemplazó en la fórmula que consiste en el valor P_i al cuadrado de cada valor de la familia, una vez adquirido los valores se procedió a obtener una suma total, como resultado indica el índice de la diversidad (Campo y Duval, 2014: p.32).

$$S = 1 / \sum (n_i(n_i - 1) / N(N - 1))$$

Donde

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

N = número total de individuos de la muestra

S = número total de especies en la muestra

Uno de los aspectos más importantes en este índice es comparar dos muestras, para determinar cuál de las dos muestras tiene mayor diversidad (Briceño, 2018; citado en Ulfe, 2019, p.33).

- *Riqueza de Margalef (D_{Mg})*

Para calcular la riqueza de Margalef se contó el número de familias presentes (Gaytan, 2020, p.25), después se reemplazó en la fórmula, se restó el número de familias menos 1 y se dividió al logaritmo natural del número total de individuos para obtener su valor (Mercado y Escalante, 2023: p.101).

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\log n N}$$

Dónde

S= # total de especies

N= # total de individuos

Log= logaritmo natural (base 10)

Se utilizó S-1 dando resultado D_{Mg} igual a 0 solo se trabaja con una sola especie (Pizan, 2018, p.39).

- *Índice de Sorensen (I_S)*

Este índice se calculó dividiendo el número de especies compartidas entre dos muestras por el número total de especies presentes en ambas muestras. El índice de Sorensen varían entre 0 y 1, 0 indicando que no existe especies compartidas entre las dos muestras y 1 indica que las dos muestras tienen la misma composición de especies (Vázquez et al., 2011: p.45). Este índice se utilizó para comparar la similitud de la composición de especies entre distintos hábitats acuáticos (Barrera y Monroy, 2015: p.19).

$$I_S = \left(\frac{2c}{a+b} \right) \times 100$$

Dónde

a= # de especies encontradas en la muestra a

b= # de especies encontradas en la muestra b

2c= especies en común (Patiño, 2015, p.28).

- *Índice de Jaccard (I_J)*

Para el cálculo del índice de Jaccard, se dividió el número de especies compartidas entre dos muestras por el número total de especies en ambas muestras, quiere decir que el número de especies compartidas entre las dos muestras se dividió por la unión de las especies que se encuentra en las dos muestras (Alcalde, 2015, p.32). El índice varió entre 0 y 1, cero indicó que no existe especies compartidas entre las comunidades y uno indicó que las dos muestras tienen la misma composición de especies (Moreno, 2001; citados en Moreno y Alzate, 2021: pp.27-28)

$$I_J = \left(\frac{c}{a+b+c} \right) \times 100$$

a= # de especies encontradas en la muestra a
 b= # de especies encontradas en la muestra b
 c= especies en común de la muestra a y b (Zambrano, 2018, p.19).

- *Dendograma de similitud de Bray Curtis*

El índice de Bray Curtis se utilizó para expresar el grado de semejanza en la composición de especies en dos o más muestras. Consiste en sumar todos los valores más bajos para especies en común y el número total de especies en común entre las dos muestras (Betanzos, 2019, p.16).

$$d_{jk} = \sum_{i=1}^i (X_{ij} - X_{ik}) / \sum_{i=1}^i (X_{ij} + X_{ik})$$

Donde

X_{ij} = es la cantidad de especie i en la muestra j

X_{ik} = es la cantidad de especies de la muestra i en la muestra k (Mora et al., 2013: p.129).

3.2.2.5 Análisis de calidad de agua usando macroinvertebrados

Se emplearon los índices de Shannon- Weaver según Wihm & Doris, 1968 y Staub et al, 1970, BMWP/Col, ASPT, ABI y EPT, para determinar la calidad del agua, se describen a continuación:

- *Índice de Shannon- Weaver según Wihm & Doris, 1968 y Staub et al, 1970*

Este índice de Shannon-W busca a través del conteo total de individuos indicar el grado de diversidad encontrado en cada sitio, compuesta por tres estructuras que es la riqueza, uniformidad y abundancia que ayuda a determinar la calidad ambiental (Pascal et al., 2021: pp.48-49).

Tabla 3-8: Calidad de agua basado en el índice de diversidad de Shannon-W según Wihm & Doris, 1968 y Staub et al, 1970

Wilhm & Dorris, 1968		Staub et al, 1970	
H'	Condición	H'	Condición
> 3	Agua limpia	3.0 – 4.5	Contaminación débil
1 – 3	Contaminación moderada	2.0 – 3.0	Contaminación ligera
< 1	Contaminación severa	1.0 – 2.0	Contaminación moderada
		0.0 – 1.0	Contaminación severa

Fuente: Segnini S., 2014

- *Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col)*

Es un índice biótico que se basa en la presencia y abundancia de macroinvertebrados acuáticos que son utilizados como bioindicadores de la calidad del agua en ríos, lagos, lagunas y arroyos entre otros. El puntaje va de 1 a 10 conforme con su tolerancia a la contaminación, el 10 es el más sensible y el 1 el más tolerante (Roldán, 2003; citados en Meneses et al., 2019: p.302). Los puntajes de las familias presentes dan como resultado el valor del índice que permite ubicar la calidad del agua mediante una escala de cinco categorías (Forero et al., 2014: p.244).

Tabla 3-9: Puntajes de las familias de macroinvertebrados acuáticos para el índice BMWP/Col

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

Fuente: Roldán, 2016

Tabla 3-10: Clasificación de la calidad del agua y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP Col (modificado de Roldán 2003, en Álvarez 2006).

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>150,101-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde

III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
VI	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Roldan G., 2022

- *Andean Biological Index / Índice Biológico Andino (ABI)*

El ABI es un método que utilizó la misma lógica que el índice BMWP. Para cada familia se le asignó una puntuación (según la revisión de la literatura realizada previamente) y la suma total es la puntuación del ABI. Se dividió este valor por el número total de taxones encontrados en un sitio. El puntaje va de 1 a 10 conforme con su tolerancia a la contaminación (Ríos et al., 2014: pp.251-253). Los puntajes de cada familia permitieron ubicar la calidad del agua mediante una escala de cinco categorías (ver tabla 5-3).

Tabla 3-11: Rangos de calidad de agua de acuerdo al índice ABI

Clase	Calidad	Valoración del ABI	Color
I	Muy Bueno	>98	Azul
II	Bueno	61-97	Verde
III	Moderado	36-60	Amarillo
IV	Malo	16-35	Naranja
V	Pésimo	<15	Rojo

Fuente: Ríos- Touma et al., 2014

Tabla 3-12: Puntuación órdenes y familias de macroinvertebrados acuáticos en el índice ABI

Orden	Familia	Puntaje ABI	Orden	Familia	Puntaje ABI
Turbellaria		5	Trichoptera	Helicopsychidae	10
Hirudinea		3		Calamoceratidae	10
Oligochaeta		1		Odontoceridae	10
Gasteropoda	Ancylidae	6		Leptoceridae	8
	Physidae	3		Polycentropodidae	8
	Hydrobiidae	3		Hydroptilidae	6
	Limnaeidae	3		Xiphocentronidae	8
	Planorbidae	3		Hydrobiosidae	8
Bivalvia	Sphaeriidae	3		Glossosomatidae	7
Amphipoda	Hyalellidae	6		Hydropsychidae	5
Ostracoda		3		Anomalopsychidae	10
Hydracarina		4		Philopotamidae	8
Ephemeroptera	Baetidae	4		Limnephilidae	7
	Leptophlebiidae	10	Diptera	Blepharoceridae	10
	Leptohephidae	7		Simuliidae	5
	Oligoneuridae	10		Tabanidae	4

Orden	Familia	Puntaje ABI	Orden	Familia	Puntaje ABI
Odonata	Aeshnidae	6		Tipulidae	5
	Gomphidae	8		Limoniidae	4
	Libellulidae	6		Ceratopogonidae	4
	Coenagrionidae	6		Dixidae	4
	Calopterygidae	8		Psychodidae	3
	Polythoridae	10		Dolichopodidae	4
Plecoptera	Perlidae	10		Stratiomyidae	4
	Gripopterygidae	10		Empididae	4
Lepidoptera	Pyrilidae	4		Chironomidae	2
Coleoptera	Ptilodactylidae	5		Culicidae	2
	Lampyridae	5		Muscidae	2
	Psephenidae	5		Ephydriidae	2
	Scirtidae (Helodidae)	5		Athericidae	10
	Staphylinidae	3		Syrphidae	1
	Elmidae	5		Heteroptera	Veliidae
	Dryopidae	5	Gerridae		5
	Gyrinidae	3	Corixidae		5
	Dytiscidae	3	Notonectidae		5
	Hydrophilidae	3	Belostomatidae		4
	Hydraenidae	5	Naucoridae		5

Fuente: Rios- Touma et al., 2014

Realizado por: Chimborazo J, 2023

- *Índice Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera (EPT)*

Para obtener el índice EPT se procedió a elaborar una base de datos en el software Excel, con todos los individuos encontrados en los sitios de muestreo se procedió a identificar los siguientes órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (Rak et al., 2017: p.38). Una vez ya identificadas las familias con sus respectivos órdenes se asignó valores según el índice EPT, luego se dividió el número total de individuos de cada orden y el resultado final se realizó en porcentaje para establecer la calidad de agua, según los rangos establecidos por Carrera y Fierro (2018: p.42).

Tabla 3-13: Índice Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera (EPT)
para determinar la calidad del agua

Valor del EPT	Significado
75%-100%	Muy Buena
25%-49%	Regular
0%-24%	Mala

Fuente: Carrera y Fierro., 2001

Realizado por: Chimborazo J, 2023

- *Average Score per-Taxón / Puntaje Promedio por Taxón (ASPT)*

El índice de Puntaje Promedio por Taxón se utilizó para evaluar la calidad del agua, se basó en la diversidad y la abundancia de macroinvertebrados acuáticos. Este índice asignó un puntaje a cada taxón de macroinvertebrados en función a su tolerancia a la contaminación y después se calculó un puntaje promedio para todos los taxones presentes en la muestra (Arango et al., 2008; citados en Mora y Tamay, 2022: p.25). Un ASPT más alto indica mejor calidad del agua ya que son sensibles a la contaminación, mientras que el ASPT bajo tiene una peor calidad del agua ya que toleran la contaminación (Rincón et al., 2021: p.22).

Tabla 3-14: Clasificación de la calidad del agua según ASPT

Clase	Calidad	Valor del ASPT	Significado	Color
I	Buena	>9-10 >8-9	Muy limpias No contaminadas	Blue
II	Aceptable	>6,5-8	Ligeramente, se evidencia contaminación.	Green
III	Dudosa	>4,5-6,5	Moderadamente contaminadas.	Yellow
IV	Crítica	>3-4,5	Muy contaminadas	Orange
V	Muy crítica	1-3	Fuertemente contaminadas-crítica	Red

Fuente: Roldan G., 2003, en Cadena J., 2014

Realizado por: Chimborazo J., 2023

3.2.2.6 *Análisis estadístico entre macroinvertebrados, parámetros de agua y desechos*

- Análisis de correspondencia canónica (ACC) entre macroinvertebrados y parámetros físicos, químicos y microbiológicos

El análisis de correspondencia canónica entre macroinvertebrados y parámetros físicos, químicos y microbiológicos buscan establecer relaciones estadísticas entre estos conjuntos de datos para entender mejor la dinámica de los ecosistemas acuáticos (La Matta, 2020, p.56). Estos tipos de análisis pueden ayudar a identificar patrones de comportamiento de los macroinvertebrados en función de las condiciones ambientales, lo cual es útil para monitorear la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos (Rincón et al., 2021: pp.17-18).

- Análisis de correspondencia canónica (ACC) entre macroinvertebrados y desechos

Para el análisis de correspondencia canónica entre macroinvertebrados y desechos, se necesita recopilar información sobre la cantidad y composición de desechos en ecosistemas acuáticos y luego correlacionarlas con los datos de macroinvertebrados recolectados. Esto podría permitir identificar patrones de comportamiento de los macroinvertebrados en función de la presencia de desechos y así inferir la influencia de estos en la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos (Forero et al., 2014: p.237).

3.2.3 Formular medidas de manejo ambiental para conservar y aprovechar la laguna Patococha

3.2.3.1 Identificación del objeto de conservación de la laguna Patococha

Como primer paso, se llevó a cabo la identificación del objeto de conservación, sea este un área, especie o ecosistema, que se basó en características o valores que queremos conservar y que sean de suma importancia para la biodiversidad. Para determinar este objeto de conservación, se justificó la razón de su selección el cual estuvo respaldado por fuentes científicas en base a su importancia, a su vez este tuvo que dar respuesta a la interrogante de ¿Por qué lo elegimos?, y además de describir cuales fueron todos los elementos que intervinieron en su elección, esto basado en la metodología del PCA, (Granizo et al., 2006: p. 15).

3.2.3.2 Identificación de las amenazas generadas dentro de la laguna

- Amenazas directas o presiones

Las amenazas directas fueron establecidas por medio de una observación real y visible en las visitas a campo, a partir de ello se procedió a realizar una tabla con cada una de las presiones identificadas sobre el objeto de conservación, en cada uno de los sitios de estudio. Cabe recalcar que las presiones fueron establecidas en base a su origen siendo estas de tipo natural y antrópico, teniendo en cuenta el grado de daño que tienen o ejercen sobre el objeto de estudio, sea este directo o indirecto, a partir de ello se procedió a marcar las presiones más representativas de cada sitio, para obtener las presiones globales identificadas sobre el área de estudio.

- Amenazas indirectas o fuentes de presión

Como primer paso, se partió identificando las fuentes de presión de cada una de las amenazas directas identificadas en cada sitio de estudio, conociendo de forma directa que las fuentes de presión por lo general fueron causadas por prácticas poco o nada sostenibles, sin planificación ejercida sobre los recursos naturales presentes en el área de estudio, lo cual afectó de forma directa al objeto de conservación, como segundo paso una vez identificadas las fuentes, se procedió a elaborar una lista de amenazas indirectas de cada presión, a partir de ello se marcó las amenazas indirectas más relevantes por cada sitio, para obtener las fuentes de presión globales que inciden sobre el objeto de conservación.

3.2.3.3 Identificación de las oportunidades y estrategias para conservar la laguna

A partir de la identificación del objeto de conservación, presiones y fuentes de presión determinados con las visitas en campo, se procedió a establecer una lista de oportunidades que se basaron en la participación de la comunidad que es esencial para el éxito de las medidas establecidas, de financiamiento, que fue primordial para las estrategias de conservación establecidas en un periodo de largo plazo, y de asociación que buscó la colaboración con organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que se enfocan en la conservación medioambiental. Estas oportunidades fueron establecidas con el fin de disminuir y eliminar las fuentes de presión y amenazas directas dentro del objeto, para así mejorar su funcionalidad y establecer un cambio de comportamiento hacia una producción sostenible y conservación del ecosistema.

3.2.3.4 Análisis de amenazas del objetivo de conservación

La representación gráfica del análisis de amenazas se enfocó en realizar un flujograma que estableció como base, al objeto de conservación, a partir de ello se colocó las amenazas directas e indirectas identificadas en el sitio de estudio, y de igual forma se adjuntaron las oportunidades identificadas con el objetivo de establecer medidas de manejo que minimicen o reduzcan las presiones o fuentes de presión sobre el objeto de conservación. Para ello se emplearon figuras geométricas con distintos colores y tamaños que ayudaron a entender de forma visible el análisis de amenazas, a continuación, se presenta la representación gráfica del análisis sobre el objeto de conservación.



Ilustración 3-4: Identificación de amenazas directas e indirectas del objetivo de conservación

Fuente: Romero S, 2020

3.2.3.5 Propuesta de manejo ambiental para el objetivo de conservación

A partir del flujograma elaborado en base al análisis de amenazas, se estableció el objetivo de manejo que fue la condición deseada a la cual se quiere llegar o cumplir, en un lapso de 7-8 años (largo plazo), en base a las amenazas directas se estableció las estrategias o programas, que mejor se acoplaron a las presiones identificadas en los sitios de estudio, para lo cual fue indispensable identificar el resultado que cada una de las estrategias busca generar sobre cada una de las presiones, las cuales fueron establecidas en base a su efectividad y alcance dentro del objeto de conservación. Para su representación se empleó un flujograma que incluye la identificación de lineamientos del objetivo, resultados y estrategias.

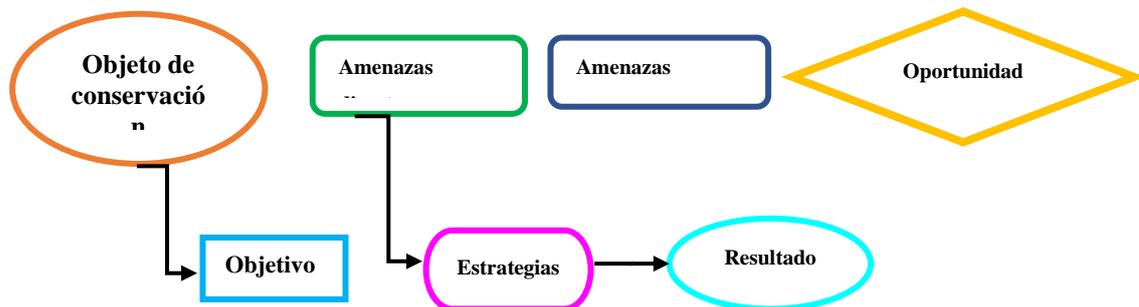


Ilustración 3-5: Representación de la propuesta de manejo ambiental del objetivo de conservación.

Fuente: Romero S, 2020

Tras consolidar el flujograma del análisis de amenazas y la propuesta de manejo ambiental, se procedió a elaborar la matriz de planificación del programa. Esta matriz incluirá el nombre del programa, así como sus objetivos generales y específicos, junto con los proyectos propuestos para la gestión del objetivo de conservación.

A partir de la matriz elaborada, se procedió a la planificación detallada de cada uno de los proyectos. Esta matriz incluía el nombre del programa, los proyectos y sus respectivos componentes. Este proceso permitió perfilar las estrategias propuestas para el manejo y conservación del objeto de conservación. El perfilamiento de las estrategias abarcó aspectos como

el nombre, la justificación, la localización, los objetivos generales y específicos, las metas, la duración del proyecto, los beneficiarios, la matriz de marco lógico (que comprendía objetivos, indicadores verificables, fuentes y medios de verificación, supuestos), las actividades, el cronograma y el presupuesto de cada una de las estrategias.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Monitoreo de la condición ambiental de tres sitios de visita de la laguna Patococha

4.1.1 Muestras de 17 de marzo del 2023

4.1.1.1 Datos generales

En el sitio de muestreo 12A1 se evidenció la presencia de macrófitas por toda el área de estudio, en cuanto a la flora del lugar, se observaron plantas autóctonas como la paja de páramo *Calamagrostis intermedia* (J. Presl.), chuquiragua (*Chuquiraga jussieui*), árbol de papel (*Polylepis sp.*) que forman un sendero. Los impactos que se evidenció fueron la contaminación por desechos orgánicos como restos de mazorca y desechos inorgánicos como fundas, vasos de plásticos, palillos de chupetes y tela, en cuanto a los desechos flotantes se encontró madera con pintura. También se evidenció geomembrana ubicada en el sitio de muestreo, lo que provoca que el nivel del agua disminuya y en su alrededor se origina espuma de color café; por último, la zona se encontraba degradación por falta de conservación y mantenimiento.

En el sitio de muestreo 12A2 está rodeada por pendientes, por ende, se llena el agua en mayor o menor nivel dependiendo de las épocas del año, tomando en cuenta que el muestreo se realizó en el mes de marzo y se observó un nivel bajo de agua. Finalmente, no se encontró desechos orgánicos e inorgánicos ni desechos flotantes, solo restos fecales de conejos (*Oryctolagus cuniculus*).

En el sitio de muestreo 12A3 se pudo observar que la laguna se encuentra rodeada de almohadillas de páramo (*Azorella pedunculata*) y árboles de papel (*Polylepis sp.*). Se evidenciaron restos fecales de conejo y de lobos de páramo, ya que la utilizan como bebedero; hubo la presencia de macrófitas en estado de descomposición en la laguna Patococha. Por último, no se encontró desechos orgánicos e inorgánicos ya que el sitio de muestreo es poco visible por turistas.

Tabla 4-15: Sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Sitio del muestreo 12A1	Sitio del muestreo 12A2	Sitio del muestreo 12A3
 A photograph showing a shallow, brownish lagoon with a large amount of floating aquatic vegetation and debris. The water is murky, and the surrounding area appears to be a grassy or marshy plain.	 A photograph of a lagoon surrounded by dense, green forested hills. The water is dark and still, reflecting the surrounding landscape. The foreground shows some sparse vegetation.	 A photograph of a lagoon in a high-altitude, mountainous area. The water is dark and surrounded by rocky terrain and sparse, low-lying vegetation. The background shows steep, forested hills under a blue sky with some clouds.

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.1.1.2 Análisis de la calidad del agua

Los resultados de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha, reflejan valores similares en cuanto al pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto. Además, es importante mencionar que en los tres sitios de muestreo no reflejan la presencia de coliformes fecales ni hongos. En el sitio 12A2 hay presencia de coliformes totales y en los tres sitios de muestreo se identificaron levaduras.

En referencia a la calidad del agua según las coliformes fecales de los tres sitios de muestreo, los rangos establecidos son normales ya que está conforme con las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Para el DBO del sitio de muestreo 12A2 el valor es 2.23, significa que no presenta contaminantes y por ende la calidad del agua es excelente, mientras que en los sitios de muestreo 12A1 y 12A3 los valores son: 3.52 y 3.74 respectivamente, lo cual significa que son aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica y, por lo tanto, su calidad de agua es buena. Para el oxígeno disuelto saturado del sitio de muestreo 12A1 el valor es 101.2 lo que significa que es supersaturado, mientras que en el sitio de muestreo 12A2 el valor de 93.7 significa que el oxígeno que se encuentra en el cuerpo de agua es excelente para la vida acuática y en el sitio de muestreo 12A3 el valor de 38.4 significa que su oxígeno es pobre implica la vida acuática en este cuerpo de agua. Para el nitrógeno amoniacal supera los límites máximos permitidos ya que según la norma debe ser ausente. En la siguiente tabla se muestran los resultados de los datos de los tres sitios de muestreo.

Tabla 4-16: Parámetros y resultados del análisis de agua de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Parámetros	Unidades	12A1	12A2	12A3
pH-probe	Ph	6.89	6.97	5.56
Temperatura	°C	16.1	14.9	11.2
Conductividad eléctrica	µS/cm	58.2	73.5	65.3
Sólidos totales disueltos	mg/L	27.9	35.2	30.8
Turbidez	NTU	6.82	1.77	1.63
Oxígeno disuelto	mg/L	5.96	5.67	2.53
Oxígeno disuelto saturado	%	101.2	93.7	38.4
Color	mg/L	117	85	211
DQO	mg/L	14	20	52
BDO5	mg/L	3.52	2.23	3.74
Fosfatos	mg/L	0.1	0.1	0.09
Fósforo total	mg/L	0.04	0.03	0.03
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.27	0.33	0.38
Nitritos	mg/L	0.001	0.008	0.003
Nitratos	mg/L	1.7	1.1	0.2
Salinidad		0.031	0.04	0.036
Coliformes totales	UFC/100 ml	0	6	0
Coliformes fecales	UFC/100 ml	0	0	0
Aerobios	UFC	1300	1260	1180
Hongos	UFC	0	0	0
Mohos	UFC	0	0	2
Levaduras	UFC	5	12	136

4.1.1.3 Criterios de permisibilidad para el agua

Los criterios de calidad contenidos en el TULSMA (Anexo 1-libro VI) para la preservación de la vida acuática y silvestre se evidenció que los sitios de muestreo 12A1, 12A2 y 12A3 de la laguna Patococha cumplen con los 7 de los 8 criterios establecidos puesto que la presencia de nitrógeno amoniacal supera los límites máximos permitidos. Por otra parte, el sitio de muestreo 12A3 cumple con 6 de los 8 criterios, debido a que el DQO y el nitrógeno amoniacal superan el límite permitido (ver tabla 4-16).

Tabla 4-17: Criterios de la calidad del agua según TULSMA (Anexo 1-libro VI) para la preservación de la vida acuática y silvestre de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

TULSMA (Anexo 1- libro VI)								
Sitio	CF (si hay contaminación)	pH (6.5 – 9)	OD % (>80)	DQO mg/l (40)	DBO5 mg/l (20)	Nitrógeno amoniacal (ausencia)	Nitratos mg/l (13)	Nitritos mg/l (0.2)
12A1	0	6.89	101.2	14	3.52	0.27	1.7	0.001
12A2	0	6.97	93.7	20	2.23	0.33	1.1	0.008
12A3	0	5.56	38.4	52	3.74	0.38	0.2	0.003

*CF: Coliformes fecales, *OD: Oxígeno disuelto, *DQO: Demanda química de oxígeno, *BD05: Demanda biológica de oxígeno

4.1.2 Muestras de 14 de marzo del 2023

4.1.2.1 Datos generales

En el sitio de muestreo 12A1 se evidenció impactos como la contaminación por desechos orgánicos generados como cáscaras de mandarina y desechos inorgánicos como fundas plásticas y papel higiénico, también se encontró escombros de construcción en el sendero. Respecto a los desechos flotantes se observó botellas plásticas. Existe la presencia de geomembrana en la laguna para la disminución del agua, además, se pudo percibir un tipo de olor a vegetal en estado de descomposición.

En el sitio de muestreo 12A2, no se evidenció desechos orgánicos, inorgánicos ni materia flotante, solo una gran cantidad de restos fecales de animales como conejos. En esta laguna se puede realizar diversas actividades de recreación como deporte y fotografías del paisaje.

En el sitio de muestreo 12A3, no se evidenció ningún tipo de desechos orgánicos, inorgánicos ni material flotante, en virtud de que el sitio de muestreo es poco visible por los turistas. Se evidenció restos fecales de animales que habitan en el lugar.

Tabla 4-18: Sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Sitio del muestreo 12A1	Sitio del muestreo 12A2	Sitio del muestreo 12A3
		

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.1.2.2 Análisis de la calidad del agua

Los resultados de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha reflejan valores similares en cuanto al pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto. Además, es importante mencionar que en los tres sitios de muestreo no reflejan la presencia de coliformes totales, fecales ni hongos.

En referencia a la calidad del agua según los coliformes fecales de los tres sitios de muestreo los rangos establecidos son normales ya que está conforme con las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Para el DBO de los tres sitios de muestreo indican que no presenta contaminantes, por ende, la calidad del agua es excelente. Para el oxígeno disuelto saturado del sitio de muestre 12A1 el valor es 108.3 que significa que es supersaturado, mientras que en el sitio de muestreo 12A2 el valor es 85.8 significa que el oxígeno que se encuentra en el cuerpo de agua es adecuado para la vida acuática y el sitio de muestreo 12A3 el valor es 91.6 significa que su oxígeno es excelente para el desarrollo de los organismos. En la siguiente tabla se muestran los resultados de los datos de los tres sitios de muestreo:

Tabla 4-19: Parámetros y resultados del análisis de agua de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Parámetros	Unidades	12A1	12A2	12A3
pH-probe	Ph	8	7.05	7.06
Temperatura	°C	8.3	8	6.6
Conductividad eléctrica	μS/cm	58.4	68.4	47.5
Sólidos totales disueltos	mg/L	27.3	32	22.4
Turbidez	NTU	3.68	2.41	1.42
Oxígeno disuelto	mg/L	7.66	6.13	6.74
Oxígeno disuelto saturado	%	108.3	85.8	91.6
Color	mg/L	86	67	120
DQO	mg/L	11	28	26
BDO5	mg/L	1.78	1.24	2.23
Fosfatos	mg/L	0.05	0.15	0.08
Fósforo total	mg/L	0.01	0.05	0.03
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.25	0.23	0.44
Nitritos	mg/L	0.006	0.007	0.004
Nitratos	mg/L	3.3	2.7	1.4
Salinidad		0.04	0.042	0.034
Coliformes totales	UFC/100 ml	0	0	0
Coliformes fecales	UFC/100 ml	0	0	0

Aerobios	UFC	460	360	480
Hongos	UFC	0	0	0
Mohos	UFC	1	0	2
Levaduras	UFC	0	18	6

4.1.2.3 Criterios de permisibilidad para el agua

Los criterios de calidad contenidos en el TULSMA (Anexo 1-libro VI) para la preservación de la vida acuática y silvestre se evidenció que los tres sitios de muestreo cumplen con los 7 de los 8 criterios, la presencia de nitrógeno amoniacal supera los límites máximos permitidos (ver tabla 4-20).

Tabla 4-20: Criterios de la calidad del agua según TULSMA (Anexo 1-libro VI) para la preservación de la vida acuática y silvestre de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

TULSMA (Anexo 1- libro VI)								
Sitio	CF (si hay contaminación)	pH (6.5 – 9)	OD % (>80)	DQO mg/l (40)	DBO5 mg/l (20)	Nitrógeno amoniacal (ausencia)	Nitratos mg/l (13)	Nitritos mg/l (0.2)
12A1	0	8	108.3	11	1.78	0.25	3.3	0.006
12A2	0	7.05	85.8	28	1.24	0.23	2.7	0.007
12A3	0	7.06	91.6	26	2.23	0.44	1.4	0.004

*CF: Coliformes fecales, *OD: Oxígeno disuelto, *DQO: Demanda química de oxígeno, *BD05: Demanda biológica de oxígeno

4.2 Análisis de la biodiversidad de las comunidades de macroinvertebrados de tres sitios de visita de la laguna Patococha

4.2.1 Muestras de 17 de marzo del 2023

4.2.1.1 Registro de macroinvertebrados

En el sitio de muestro 12A1, se registró un total de 2081 individuos de macroinvertebrados, los cuales están formados por los órdenes Himenoptera, Diptera, Coleoptera, Hemiptera, Amphipoda, Tricladida, Rhynchobdellida y Haplotaxidae. El orden que presenta mayor porcentaje de individuos fue Coleoptera con un 22%. Por otra parte, la familia que presenta mayor número de individuos fue Hyalellidae con 1846, seguido de la familia Dugesiididae con 159.

Tabla 4-21: Registro de macroinvertebrados encontrados en el sitio de muestreo 12A1 de la laguna Patococha (muestreo 1)

Clase	Orden	Familia	# Ind	% Familia	Orden con mayor #	% Orden
Insecta	Himenoptera	Braconidae	1	0%	1	11%
	Diptera	Chironomidae	25	1%	1	11%
	Coleoptera	Coccinellidae	1	0%	2	22%
		Staphylinidae	1	0%		
	Hemiptera	Saldidae	1	0%	1	11%
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	1846	89%	1	11%
Turbellaria	Tricladida	Dugesidae	159	8%	1	11%
Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	23	1%	1	11%
Oligochaeta	Haplotaxidae	Tubificidae	24	1%	1	11%
Total			2081	100%	9	100%

Realizado por: Chimborazo J., 2023

En el sitio 12A2, se registró un total de 328 individuos de macroinvertebrados, forman parte de los órdenes Diptera, Coleoptera, Hemiptera, Amphipoda, Tricladida, Rhynchobdellida, Sphaeriida y Crassiclitellata. El orden que tiene mayor porcentaje de especies es Diptera con un 30% y la familia con mayor número de individuos es Hyaellidae con 226, seguido de Dytiscidae con 46.

Tabla 4-22: Registro de macroinvertebrados encontrados en el sitio de muestreo 12A2 de la laguna Patococha (muestreo 1)

Clase	Orden	Familia	# Ind.	% Familia	Orden con mayor #	% Orden
Insecta	Diptera	Chironomidae	39	12%	3	30%
		Chironomidae larva	1	0%		
		Limoniidae	1	0%		
	Coleoptera	Dytiscidae	46	14%	1	10%
	Hemiptera	Cicadellidae	1	0%	1	10%
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	226	69%	1	10%
Turbellaria	Tricladida	Dugesidae	7	2%	1	10%
Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	3	1%	1	10%
Bilvalvia	Sphaeriida	Sphaeriidae	2	1%	1	10%
Oligochaeta	Crassiclitellata	Lumbricidae	2	1%	1	10%
Total			328	100%	10	100%

Realizado por: Chimborazo J., 2023

En el sitio 12A3, se registró un total de 678 individuos de macroinvertebrados acuáticos, que están constituidos los siguientes órdenes Amphipoda, Coleoptera, Rhynchobdellida y Sphaeriida. Los órdenes más representativos son los 4 ya mencionados anteriormente con un 25% y la familia con mayor número de individuos es Hyalellidae con 604 y Dytiscidae con 43.

Tabla 4-23: Registro de macroinvertebrados encontrados en el sitio de muestreo 12A3 de la laguna Patococha (muestreo 1)

Clase	Orden	Familia	# Ind.	% Familia	Orden con mayor #	% Orden
Malacostraca	Amphipoda	Hyalellidae	604	89%	1	25%
Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	43	6%	1	25%
Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	23	3%	1	25%
Bilvalvia	Sphaeriida	Sphaeriidae	8	1%	1	25%
Total			678	100%	4	100%

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.2 Índices de biodiversidad de macroinvertebrados

4.2.2.1 Índice de Diversidad de Shannon-Weaver

Según los resultados obtenidos en Shannon-Weaver, se determinó que los sitios de muestreo 12A1, 12A2 y 12A3, con un valor de $H' = 0.47$, $H' = 1.01$ y $H' = 0.45$ respectivamente, indicaron de acuerdo con Yáñez (2014, p.149) una diversidad de macroinvertebrados “bajo”, al encontrarse entre los rangos de 0.1- 1.5.

Tabla 4-24: Cálculo del índice de Shannon-Weaver de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Familia	12A1	Pi	Pi*ln(Pi)	12A2	Pi	Pi*ln(Pi)	12A3	Pi	Pi*ln(Pi)
Braconidae	1	0.00	0.00						
Chironomidae	25	0.01	-0.05	40	0.12	-0.26			
Cicadellidae				1	0.00	-0.02			
Coccinellidae	1	0.00	0.00						
Dugesidae	159	0.08	-0.20	7	0.02	-0.08			
Dytiscidae				46	0.14	-0.28	43	0.06	-0.17
Glossiphoniidae	23	0.01	-0.05	3	0.01	-0.04	23	0.03	-0.11
Hyalellidae	1846	0.89	-0.11	226	0.69	-0.26	604	0.89	-0.10
Limoniidae				1	0.00	-0.02			
Lumbricidae				2	0.01	-0.03			

Saldidae	1	0.00	0.00						
Sphaeriidae				2	0.01	-0.03	8	0.01	-0.05
Staphylinidae	1	0.00	0.00						
Tubificidae	24	0.01	-0.05						
Total	2081	1.00	0.47	328	1	1.01	678	1	0.45

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.2.2 Índice de dominancia de Simpson (δ)

Según los resultados obtenidos a partir del índice Simpson, los sitios de muestreo 12A1 y 12A3 con valores de $D=0.21$ y $D=0.20$ respectivamente, presentan una dominancia “baja”, a comparación con el sitio de muestreo 12A2 que con un valor de $D=0.49$ indica una dominancia “media” (Yáñez, 2014, p.146).

Tabla 4-25: Cálculo del índice de Simpson de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Familia	12A1	Pi	Pi ²	12A2	Pi	Pi ²	12A3	Pi	Pi ²
Braconidae	1	0.00	0.00						
Chironomidae	25	0.01	0.00	40	0.12	0.01			
Cicadellidae				1	0.00	0.00			
Coccinellidae	1	0.00	0.00						
Dugesidae	159	0.08	0.01	7	0.02	0.00			
Dytiscidae				46	0.14	0.02	43	0.06	0.00
Glossiphoniidae	23	0.01	0.00	3	0.01	0.00	23	0.03	0.00
Hyaellidae	1846	0.89	0.79	226	0.69	0.47	604	0.89	0.79
Limoniidae				1	0.00	0.00			
Lumbricidae				2	0.01	0.00			
Saldidae	1	0.00	0.00						
Sphaeriidae				2	0.01	0.00	8	0.01	0.00
Staphylinidae	1	0.00	0.00						
Tubificidae	24	0.01	0.00						
Total 1-D	2081	1	0.21	328	1	0.49	678	1	0.20

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.2.3 Índice de riqueza específica de Margalef

Por medio del análisis del índice de Margalef se determinó que en los sitios de muestreo 12A1, 12A2, y 12A3, según lo establecido por Yáñez (2014, p.145) posee una riqueza de macroinvertebrados “baja”, al encontrarse entre los rangos de 0.1 a 1.9.

Tabla 4-26: Cálculo del índice de Margalef de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Familia	12A1	12A2	12A3
Braconidae	1		
Chironomidae	25	40	
Cicadellidae		1	
Coccinellidae	1		
Dugesidae	159	7	
Dytiscidae		46	43
Glossiphoniidae	23	3	23
Hyalellidae	1846	226	604
Limoniidae		1	
Lumbricidae		2	
Saldidae	1		
Sphaeriidae		2	8
Staphylinidae	1		
Tubificidae	24		
S (# familias)	9	9	4
N (# total de ind.)	2081	328	678
DMg= S-1/ln(N)	1.05	1.38	0.46

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.2.4 Índice de similitud de Sorensen y Jaccard

Los índices Sorensen y Jaccard, determinaron que los sitios de muestreo con mayor similitud de familias encontradas fueron 12A2 y 12A3 con un valor de 61.54% para Sorensen y 44.44% para Jaccard respectivamente, estableciendo así que el mayor número de familias tenían similitud entre estos sitios, debido a que comparten características entre hábitats. Por otro lado, los sitios de muestreo con menor similitud son 12A1 y 12A3 con un 30.77% para Sorensen y 18.18% para Jaccard.

Tabla 4-27: Cálculo del índice Sorensen y Jaccard de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Familia	12A1	12A2	12A3	Presencia de sp en los 3 sitios			Similitud de sp entre sitios		
				Sp 1	Sp 2	Sp 3	12A1 y 12A2	12A1 y 12A3	12A2 y 12A3
Braconidae	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Chironomidae	25	40	0	1	1	0	1	0	0
Cicadellidae	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Coccinellidae	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Dugesidae	159	7	0	1	1	0	1	0	0
Dytiscidae	0	46	43	0	1	1	0	0	1

Glossiphoniidae	23	3	23	1	1	1	1	1	1
Hyaellidae	1846	226	604	1	1	1	1	1	1
Limoniidae	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Lumbricidae	0	2	0	0	1	0	0	0	0
Saldidae	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Sphaeriidae	0	2	8	0	1	1	0	0	1
Staphylinidae	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Tubificidae	24	0	0	1	0	0	0	0	0
Número de sp presentes por sitio				9	9	4			
Número de sp en común							4	2	4
Índice de Sorensen							44.44	30.77	61.54
Índice de Jaccard							28.57	18.18	44.44

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.2.5 Prueba de similitud de Bray Curtis

La prueba de similitud Bray-Curtis, determinó que los sitios de muestreo 12A2 y 12A3 tuvieron una mayor similitud siendo esta 54% de similitud de macroinvertebrados entre ambos sitios.

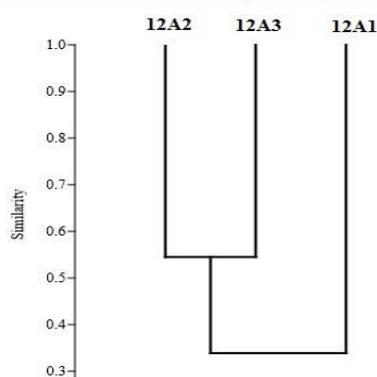


Ilustración 4-6: Dendrograma de similitud del Bray-Curtis (muestreo 1)

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.2.6 Índices de calidad de agua de Shannon-Weaver según Wihm & Doris, 1968 y Staub et al, 1970

De los resultados obtenidos en el índice Shannon-Weaver y a través de la matriz de interpretación de Wilhm y Dorris (1968) y Staub et al., (1970), se determinó que los sitios de muestreo 12A1 y 12A3 poseen una calidad de agua “**severa**”, mientras que el sitio 12A2 posee una calidad de agua “**moderada**”.

Tabla 4-28: Índice de calidad de agua de Shannon-Weaver según Wilhm & Dorris, 1968 y Staub et al., 1970 de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Sitio	Riqueza	Abundancia	D. Shannon	Diversidad	Calidad basada en Wilhm & Dorris (1968)	Calidad basada en Staub et al., (1970)
12A1	9	2081	0.47	Baja	Contaminación severa	Contaminación severa
12A2	9	328	1.01		Contaminación moderada	Contaminación moderada
12A3	4	678	0.45		Contaminación severa	Contaminación severa

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.2.7 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col)

El índice BMWP/Col para los tres sitios de muestreo 12A1, 12A2 y 12A3, con valores de 33, 35 y 23 respectivamente, se determinó una calidad de agua “**crítica**”, lo que significa que el agua se encontró “muy contaminada”, esto se fundamenta por la presencia de familias como Chironomidae, Glossiphoniidae, y Tubificidae, los cuales según Vargas (2018, pp.9-11) son muy tolerantes a la contaminación por materia orgánica.

Tabla 4-29: Cálculo del índice BMWP/Col de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Familia	Puntuación	12A1	BMWP/Col	12A2	BMWP/Col	12A3	BMWP/Col
Braconidae	0	1	0				
Chironomidae	2	25	2	40	2		
Cicadellidae	0			1	0		
Coccinellidae	0	1	0				
Dugesidae	6	159	6	7	6		
Dytiscidae	9			46	9	43	9
Glossiphoniidae	3	23	3	3	3	23	3
Hyaellidae	7	1846	7	226	7	604	7
Limoniidae	4			1	4		
Lumbricidae	0			2	0		
Saldidae	8	1	8				
Sphaeriidae	4			2	4	8	4
Staphylinidae	6	1	6				
Tubificidae	1	24	1				
Total		2081	33	328	35	678	23

Realizado por: Chimborazo J., 2023

Tabla 4-30: Calidad de agua según el valor del índice BMWP/Col de los tres sitios de muestreo de laguna Patococha (muestreo 1)

Sitio	Puntaje de BMWP/Col	Calidad	Significado
12A1	33	Crítica	Aguas muy contaminadas
12A2	35		
12A3	23		

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.2.8 Índice Average Score Per Taxón o Puntuación Promedio por Taxa (ASPT)

Por medio del cálculo ASPT siendo este complementario al BMWP/Col, se determinó que la calidad de agua en los sitios de muestreo 12A1 con 3.67 y 12A2 con 3.89, fue “**crítica**” lo que significa que son “aguas muy contaminadas”; mientras que, el sitio de muestreo 12A3 con 5.75, se determinó una calidad “**dudosa**”, lo que significa “agua moderadamente contaminada”, debido a la presencia de familias como Dytiscidae ya que es poco tolerante a la contaminación (Roldan et al., 2022: p.570).

Tabla 4-31: Cálculo del índice ASPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Familia	Puntuación	12A1	ASPT	12A2	ASPT	12A3	ASPT
Braconidae	0	1	0				
Chironomidae	2	25	2	40	2		
Cicadellidae	0			1	0		
Coccinellidae	0	1	0				
Dugesidae	6	159	6	7	6		
Dytiscidae	9			46	9	43	9
Glossiphoniidae	3	23	3	3	3	23	3
Hyaellidae	7	1846	7	226	7	604	7
Limoniidae	4			1	4		
Lumbricidae	0			2	0		
Saldidae	8	1	8				
Sphaeriidae	4			2	4	8	4
Staphylinidae	6	1	6				
Tubificidae	1	24	1				
# Taxón		9		9		4	
Total			33		35		23
Total (ASPT)			3.67		3.89		5.75

Realizado por: Chimborazo J., 2023

Tabla 4-32: Calidad de agua según el valor del índice ASPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Sitio	Puntaje de ASPT	Calidad	Significado
12A1	3.67	Crítica	Aguas muy contaminadas
12A2	3.89		
12A3	5.75	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.2.9 Índice Andean Biotic Index- Índice Biológico Andino (ABI)

Por medio del índice ABI se determinó que los sitios de muestreo 12A1 y 12A2 con un valor de 20 y 27 respectivamente, presentan una calidad de agua “**malo**” lo que significa que son “aguas muy contaminadas-críticas”, y en base al sitio de muestreo 12A3, donde se obtuvo un valor de 15 presenta una calidad de agua “**pésima**”, lo que significa que son “aguas severamente contaminadas”. Esto se fundamenta por la presencia de familias como Chironomidae, Dugesiiidae, Staphylinidae y Glossiphoniidae ya que según Vargas (2018, pp.9-11), estas familias son altamente tolerantes a la contaminación.

Tabla 4-33: Cálculo del índice ABI de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Familia	Puntuación	12A1	ABI	12A2	ABI	12A3	ABI
Braconidae	0	1	0				
Chironomidae	2	25	2	40	2		
Cicadellidae	0			1	0		
Coccinellidae	0	1	0				
Dugesiiidae	5	159	5	7	5		
Dytiscidae	3			46	3	43	3
Glossiphoniidae	3	23	3	3	3	23	3
Hyalellidae	6	1846	6	226	6	604	6
Limoniidae	4			1	4		
Lumbricidae	1			2	1		
Saldidae	0	1	0				
Sphaeriidae	3			2	3	8	3
Staphylinidae	3	1	3				
Tubificidae	1	24	1				
Total		2081	20	328	27	678	15

Realizado por: Chimborazo J., 2023

Tabla 4-34: Calidad de agua según el valor del índice ABI de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Sitio	Puntaje de ABI	Calidad	Significado
12A1	20	Malo	Aguas muy contaminadas, críticas
12A2	27		
12A3	15	Pésimo	Aguas severamente contaminadas

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.2.10 Índice Ephemeroptera, Plcóptera y Trichoptera (EPT)

Por medio del índice EPT, los tres sitios de muestreo determinaron una calidad del agua “**mala**” con un valor de 0, debido a que no hubo presencia de ejemplares de ninguno de los 3 órdenes (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera).

Tabla 4-35: Cálculo del índice EPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Familia	12A1	EPT	12A2	EPT	12A3	EPT
Braconidae	1	0				
Chironomidae	25	0	40	0		
Cicadellidae			1	0		
Coccinellidae	1	0				
Dugesidae	159	0	7	0		
Dytiscidae			46	0	43	0
Glossiphoniidae	23	0	3	0	23	0
Hyalellidae	1846	0	226	0	604	0
Limoniidae			1	0		
Lumbricidae			2	0		
Saldidae	1	0				
Sphaeriidae			2	0	8	0
Staphylinidae	1	0				
Tubificidae	24	0				
Total	2081	0	328	0	678	0
Total, EPT		0%		0%		0%

Realizado por: Chimborazo J., 2023

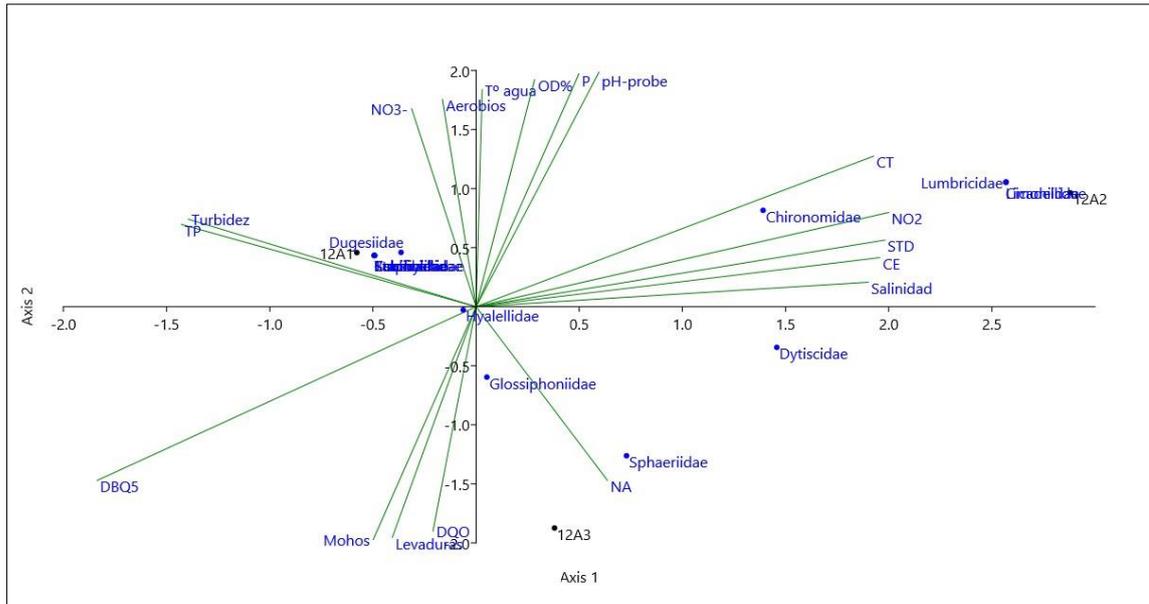
Tabla 4-36: Calidad de agua según el valor del índice EPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 1)

Sitio	Índice de EPT	Rango
12A1	0%	Mala
12A2	0%	
12A3	0%	

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.2.11 Análisis de correspondencia canónica (ACC) entre parámetros físico, químicos y microbiológicos y macroinvertebrados

Según los resultados obtenidos en el ACC se determinó que los ejes 1 y 2 arrojaron un nivel de confiabilidad del 100%. Por otra parte, se determinó que las familias que caracterizan al sitio de muestreo 12A1 fueron Dugesidae y Tubificidae ya que se encuentran cerca del sitio muestreado. Esto se justifica con el número de individuos presentes siendo 159 para Dugesidae y 24 para Tubificidae. Para el sitio 12A2 las familias que caracterizan este sitio fueron Chironomidae, Cicadellidae, Limoniidae y Lumbricidae. En cuanto al sitio de muestreo 12A3, está caracterizado por la presencia de la familia Glossiphoniidae con 23 individuos y Sphaeriidae con 8 individuos, finalmente, en cuanto al análisis de asociación entre parámetros físicos, químicos, microbiológicos y macroinvertebrados se determinó la CE, NO_2^- , DBO y los CT estaban más asociadas a la presencia de las familias Glossiphoniidae, Hyalellidae y Dugesidae y Chironomidae.



OD%= oxígeno disuelto saturado; T° agua=temperatura del agua; EC=Conductividad eléctrica; STD=sólidos totales disueltos; NO₂=nitritos; NO₃⁻=nitratos; P=fosforo; TP=fosforo total; NA=nitrógeno amoniacal; DQO=demanda química del oxígeno; DBOQ5=demanda bioquímica del oxígeno; CT=coliformes totales.

Ilustración 4-7: Análisis de correspondencia canónica entre parámetros del agua y macroinvertebrados (muestreo 1)

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.3 Muestreo de 14 de julio del 2023

4.2.3.1 Registro de macroinvertebrados

En el sitio de muestreo 12A1, se registró un total de 610 individuos de macroinvertebrados, de los siguientes órdenes Diptera, Heteroptera, Coleoptera, Amphipoda, Tricladida, Rhynchobdellida y Crassicitellata. Los órdenes con mayor número de individuos son los 7 órdenes anteriormente enumerados con un porcentaje del 14% y la familia que más individuos tiene es la Hyalellidae con 421 y la familia Dugesiidae con 156.

Tabla 4-37: Registro de macroinvertebrados encontrados en el sitio de muestreo 12A1 de la laguna Patococha (muestreo 2)

Clase	Orden	Familia	# Ind.	% Familia	Orden con mayor #	% Orden
Insecta	Diptera	Chironomidae	19	3%	1	14%
	Heteroptera	Corixidae	1	0%	1	14%
	Coleoptera	Dytiscidae	1	0%	1	14%

Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	421	69%	1	14%
Turbellaria	Tricladida	Dugesidae	156	26%	1	14%
Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	7	1%	1	14%
Oligochaeta	Crassiclitellata	Lumbricidae	5	1%	1	14%
Total			610	100%	7	100%

Realizado por: Chimborazo J., 2023

En el sitio de muestreo 12A2, se registró un total de 1005 individuos de macroinvertebrados, los órdenes que se encuentran en este sitio de muestreo son Diptera, Heteroptera, Coleoptera, Amphipoda, Tricladida, Rhynchobdellida, Crassiclitellata y Crassiclitellata. El orden más representativo es la Coleoptera con un porcentaje del 22% y la familia que tiene más individuos es Chironomidae con 456, seguido de la familia Dytiscidae con 445.

Tabla 4-38: Registro de macroinvertebrados encontrados en el sitio de muestreo 12A2 de la laguna Patococha (muestreo 2)

Clase	Orden	Familia	# Ind.	% Familia	Orden con mayor #	% Orden
Insecta	Diptera	Chironomidae	456	45%	1	11%
	Heteroptera	Corixidae	1	0%	1	11%
	Coleoptera	Dytiscidae	445	44%	2	22%
		Elmidae	14	1%		
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	43	4%	1	11%
Turbellaria	Tricladida	Dugesidae	1	0%	1	11%
Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	8	1%	1	11%
Oligochaeta	Crassiclitellata	Lumbricidae	28	3%	1	11%
Bilvalvia	Sphaeriida	Sphaeriidae	9	1%	1	11%
Total			1005	100%	9	100%

Realizado por: Chimborazo J., 2023

En el sitio de muestreo 12A3, se registró un total de 1282 individuos de macroinvertebrados, con los siguientes órdenes Diptera, Coleoptera, Lepidoptera, Amphipoda, Crassiclitellata, Arhynchobdellida, Rhynchobdellida y Sphaeriida. Los 8 órdenes mencionados anteriormente tienen un porcentaje del 13% y la familia que tiene mayor número de individuos de macroinvertebrados es Hyaellidae con un 1204.

Tabla 4-39: Registro de macroinvertebrados encontrados en el sitio de muestreo 12A3 de la laguna Patococha (muestreo 2)

Clase	Orden	Familia	# Ind.	% Familia	Orden con mayor #	% Orden
Insecta	Diptera	Chironomidae	15	1%	1	13%
	Coleoptera	Dytiscidae	29	2%	1	13%
	Lepidoptera	Noctuidae	1	0%	1	13%
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	1204	94%	1	13%
Oligochaeta	Crassiclitellata	Lumbricidae	2	0%	1	13%
	Arhynchobdellida	Erpobdellidae	1	0%	1	13%
Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	16	1%	1	13%
Bilvalvia	Sphaeriida	Sphaeriidae	14	1%	1	13%
Total			1282	100%	8	100%

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.4 Índices de biodiversidad de macroinvertebrados

4.2.4.1 Índice de Diversidad de Shannon-Weaver

Los resultados obtenidos en el sitio de muestreo 12A1, 12A2 y 12A3 con un valor de $H' = 0.82$, $H' = 1.11$ y $H' = 0.32$ respectivamente, presentan una diversidad “bajo”, esto de acuerdo con Yáñez (2014, p.149) se debe a que se encuentran entre los rangos 0.1 a 1.5.

Tabla 4-40: Cálculo del índice Shannon-Weaver de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Familia	12A1	Pi	Pi*ln(Pi)	12A2	Pi	Pi*ln(Pi)	12A3	Pi	Pi*ln(Pi)
Chironomidae	19	0.03	-0.11	456	0.45	-0.36	15	0.01	-0.05
Corixidae	1	0.00	-0.01	1	0.00	-0.01			
Dugesidae	156	0.26	-0.35	14	0.01	-0.06			
Dytiscidae	1	0.00	-0.01	43	0.04	-0.13	29	0.02	-0.09
Elmidae				1	0.00	-0.01			
Erpobdellidae							1	0.00	-0.01
Glossiphoniidae	7	0.01	-0.05	8	0.01	-0.04	16	0.01	-0.05
Hyaellidae	421	0.69	-0.26	445	0.44	-0.36	1204	0.94	-0.06
Lumbricidae	5	0.01	-0.04	28	0.03	-0.10	2	0.00	-0.01
Noctuidae							1	0.00	-0.01
Sphaeriidae				9	0.01	-0.04	14	0.01	-0.05
Total	610	1	0.82	1005	1	1.11	1282	1	0.32

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.4.2 Índice de dominancia de Simpson (δ)

Según los resultados obtenidos a partir del índice Simpson, los sitios de muestreo 12A1 y 12A2 con valores de $D=0.46$ y $D=0.60$ respectivamente, presentan una dominancia “**media**”, a comparación con el sitio de muestreo 12A3 que con un valor de $D=0.12$ indica una dominancia “**baja**” (Yáñez, 2014, p.146).

Tabla 4-41: Cálculo del índice Simpson de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Familia	12A1	Pi	Pi ²	12A2	Pi	Pi ²	12A3	Pi	Pi ²
Chironomidae	19	0.03	0.00	456	0.45	0.21	15	0.01	0.00
Corixidae	1	0.00	0.00	1	0.00	0.00			
Dugesidae	156	0.26	0.07	14	0.01	0.00			
Dytiscidae	1	0.00	0.00	43	0.04	0.00	29	0.02	0.00
Elmidae				1	0.00	0.00			
Erpobdellidae							1	0.00	0.00
Glossiphoniidae	7	0.01	0.00	8	0.01	0.00	16	0.01	0.00
Hyalellidae	421	0.69	0.48	445	0.44	0.20	1204	0.94	0.88
Lumbricidae	5	0.01	0.00	28	0.03	0.00	2	0.00	0.00
Noctuidae							1	0.00	0.00
Sphaeriidae				9	0.01	0.00	14	0.01	0.00
Total 1-D	610	1	0.46	1005	1	0.60	1282	1	0.12

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.4.3 Índice de riqueza específica de Margalef

Por medio del análisis del índice Margalef se determinó que en los sitios de muestreo 12A1, 12A2, y 12A3, según lo establecido por Yáñez (2014, p.145) posee una riqueza de macroinvertebrados “**baja**”, al encontrarse entre los rangos de 0.1 a 1.9.

Tabla 4-42: Cálculo del índice Margalef de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Familia	12A1	12A2	12A3
Chironomidae	19	456	15
Corixidae	1	1	
Dugesidae	156	14	
Dytiscidae	1	43	29
Elmidae		1	
Erpobdellidae			1
Glossiphoniidae	7	8	16

Hyaellidae	421	445	1204
Lumbricidae	5	28	2
Noctuidae			1
Sphaeriidae		9	14
S(# familias)	7	9	8
N(# total de ind.)	610	1005	1282
DMg= S-1/ln(N)	0.94	1.16	0.98

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.4.4 Índice de similitud de Sorensen y Jaccard

El cálculo de los índices Sorensen y Jaccard, determinaron que los sitios de muestreo con mayor similitud de familias encontradas fueron 12A1 y 12A2 con un valor de 87.50% para Sorensen y 77.78% para Jaccard. Por otro lado, los sitios de muestreo con menor similitud son 12A1 y 12A3, con un 66.67% para Sorensen y 50% para Jaccard.

Tabla 4-43: Cálculo del índice Sorensen y Jaccard de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Familia	12A1	12A2	12A3	Presencia de sp en los 3 sitios			Similitud de sp entre sitios		
				Sp 1	Sp 2	Sp 3	12A1 y 12A2	12A1 y 12A3	12A2 y 12A3
Chironomidae	19	456	15	1	1	1	1	1	1
Corixidae	1	1	0	1	1	0	1	0	0
Dugesiiidae	156	14	0	1	1	0	1	0	0
Dytiscidae	1	43	29	1	1	1	1	1	1
Elmidae	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Erpobdellidae	0	0	1	0	0	1	0	0	0
Glossiphoniidae	7	8	16	1	1	1	1	1	1
Hyaellidae	421	445	1204	1	1	1	1	1	1
Lumbricidae	5	28	2	1	1	1	1	1	1
Noctuidae	0	0	1	0	0	1	0	0	0
Sphaeriidae	0	9	14	0	1	1	0	0	1
Número de sp presentes por sitio				7	9	8			
Número de sp en común							7	5	6
Índice de Sorensen							87.50	66.67	70.59
Índice de Jaccard							77.78	50.00	54.55

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.4.5 Prueba de similitud de Bray Curtis

La prueba de similitud Bray-Curtis, determinó que, los sitios de muestreo 12A1 y 12A2 tuvieron una mayor similitud en base al número de familias encontradas, siendo 58% de similitud de macroinvertebrados.

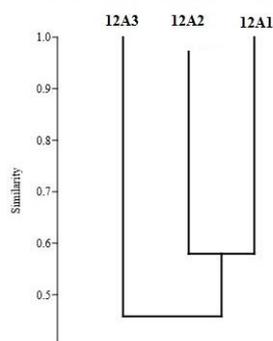


Ilustración 4-8: Dendrograma de similitud del Bray-Curtis (muestreo 2)

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.4.6 Índices de calidad del agua de Shannon-Weaver según Wihm & Doris, 1968 y Staub et al, 1970

De los resultados obtenidos en el índice Shannon-Weaver y a través de la matriz de interpretación de Wilhm y Dorris (1968) y Staub et al., (1970), se determinó que los sitios de muestreo 12A1 y 12A3 poseen una calidad de agua “**severa**”, mientras que el sitio de muestreo 12A2 posee una calidad de agua “**moderada**”.

Tabla 4-44: Índice de calidad de agua de Shannon-Weaver según Wilhm & Dorris, 1968 y Staub et al., 1970 de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Sitio	Riqueza	Abundancia	D. Shannon	Diversidad	Calidad basada en Wilhm y Dorris (1968)	Calidad basada en Staub et al., (1970)
12A1	7	610	0.82	Baja	Contaminación severa	Contaminación severa
12A2	9	1005	1.11		Contaminación moderada	Contaminación moderada
12A3	8	1282	0.32		Contaminación severa	Contaminación severa

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.4.7 Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col)

Según los resultados obtenidos en el índice BMWP/Col, se determinó que los sitios de muestreo 12A1 y 12A3 con valores de 34 y 25 respectivamente, posee una calidad de agua “**crítica**” lo que significa que el agua se encontró “muy contaminada”, debido a la presencia de familias como Chironomidae, Glossiphoniidae y Tubificidae. Por otro lado, el sitio de muestreo 12A2 con 44

respectivamente, se determinó una calidad de agua **“dudosa”**, lo que significa que el agua se encontró “moderadamente contaminada”, debido a la presencia de familias como Dytiscidae, Corixidae, e Hyalellidae (Vargas, 2018, pp.9-11).

Tabla 4-45: Cálculo del índice BMWP/Col de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Familia	Puntuación	12A1	BMWP/Col	12A2	BMWP/Col	12A3	BMWP/Col
Chironomidae	2	19	2	456	2	15	2
Corixidae	7	1	7	1	7		
Dugesidae	6	156	6	14	6		
Dytiscidae	9	1	9	43	9	29	9
Elmidae	6			1	6		
Erpobdellidae	0					1	0
Glossiphoniidae	3	7	3	8	3	16	3
Hyalellidae	7	421	7	445	7	1204	7
Lumbricidae	0	5	0	28	0	2	0
Noctuidae	0					1	0
Sphaeriidae	4			9	4	14	4
Total		610	34	1005	44	1282	25

Realizado por: Chimborazo J., 2023

Tabla 4-46: Calidad de agua según el valor del índice de BMWP/Col de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Sitio	Puntaje de BMWP/Col	Calidad	Significado
12A1	34	Crítica	Aguas muy contaminadas
12A2	44	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas
12A3	25	Crítica	Aguas muy contaminadas

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.4.8 Índice Average Score Per Taxón o Puntuación Promedio por Taxa (ASPT)

Por medio del cálculo ASPT siendo este complementario al BMWP/Col, se determinó que la calidad de agua en los sitios de muestreo 12A1 con 4.86 y 12A2 con 4.89, fue **“dudosa”** lo que significa que son “aguas moderadamente contaminadas”; mientras que, el sitio de muestreo 12A3 con 3.13 posee una calidad **“crítica”** lo que significa que son “aguas muy contaminadas” (Roldan et al., 2022: p.570).

Tabla 4-47: Cálculo del índice ASPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Familia	Puntuación	12A1	ASPT	12A2	ASPT	12A3	ASPT
Chironomidae	2	19	2	456	2	15	2
Corixidae	7	1	7	1	7		
Dugesidae	6	156	6	14	6		
Dytiscidae	9	1	9	43	9	29	9
Elmidae	6			1	6		
Erpobdellidae	0					1	0
Glossiphoniidae	3	7	3	8	3	16	3
Hyaellidae	7	421	7	445	7	1204	7
Lumbricidae	0	5	0	28	0	2	0
Noctuidae	0					1	0
Sphaeriidae	4			9	4	14	4
# Taxón		7		9		8	
Total			34		44		25
Total (ASPT)			4.86		4.89		3.13

Realizado por: Chimborazo J., 2023

Tabla 4-48: Calidad de agua según el valor del índice ASPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Sitio	Puntaje de ASPT	Calidad	Significado
12A1	4.86	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas
12A2	4.89		
12A3	3.13	Crítica	Aguas muy contaminadas

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.4.9 Índice Andean Biotic Index- Índice Biológico Andino (ABI)

Por medio del índice ABI se determinó que los sitios de muestreo 12A1, 12A2, y 12A3 con un valor de 25, 33 y 21 respectivamente, presentan una calidad de agua “**malo**”, lo que significa que son “aguas muy contaminadas-críticas”. Esto se fundamenta por la presencia de familias como Chironomidae, Lumbricidae y Glossiphoniidae ya que según Vargas (2018, pp.9-11) estas familias son altamente tolerantes a la contaminación.

Tabla 4-49: Cálculo del índice ABI de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Familia	Puntuación	12A1	ABI	12A2	ABI	12A3	ABI
Chironomidae	2	19	2	456	2	15	2
Corixidae	5	1	5	1	5		
Dugesidae	5	156	5	14	5		
Dytiscidae	3	1	3	43	3	29	3
Elmidae	5			1	5		
Erpobdellidae	3					1	3
Glossiphoniidae	3	7	3	8	3	16	3
Hyalellidae	6	421	6	445	6	1204	6
Lumbricidae	1	5	1	28	1	2	1
Noctuidae	0					1	0
Sphaeriidae	3			9	3	14	3
Total		610	25	1005	33	1282	21

Realizado por: Chimborazo J., 2023

Tabla 4-50: Calidad de agua según el valor del índice ABI de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Sitio	Puntaje de ABI	Calidad	Significado
12A1	25	Malo	Aguas muy contaminadas, críticas
12A2	33		
12A3	21		

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.4.10 Índice Ephemeroptera, Plcóptera y Trichoptera (EPT)

Por medio del índice EPT, los tres sitios de muestreo determinaron una calidad del agua “**mala**” con un valor de 0, debido a que no hubo presencia de ejemplares de ninguno de los 3 órdenes (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera).

Tabla 4-51: Cálculo del índice EPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha

Familia	12A1	EPT	12A2	EPT	12A3	EPT
Chironomidae	19	0	456	0	15	0
Corixidae	1	0	1	0		
Dugesidae	156	0	14	0		
Dytiscidae	1	0	43	0	29	0
Elmidae			1	0		
Erpobdellidae					1	0

Glossiphoniidae	7	0	8	0	16	0
Hyaellidae	421	0	445	0	1204	0
Lumbricidae	5	0	28	0	2	0
Noctuidae					1	0
Sphaeriidae			9	0	14	0
Total	610	0	1005	0	1282	0
Total		0%		0%		0%

Realizado por: Chimborazo J., 2023

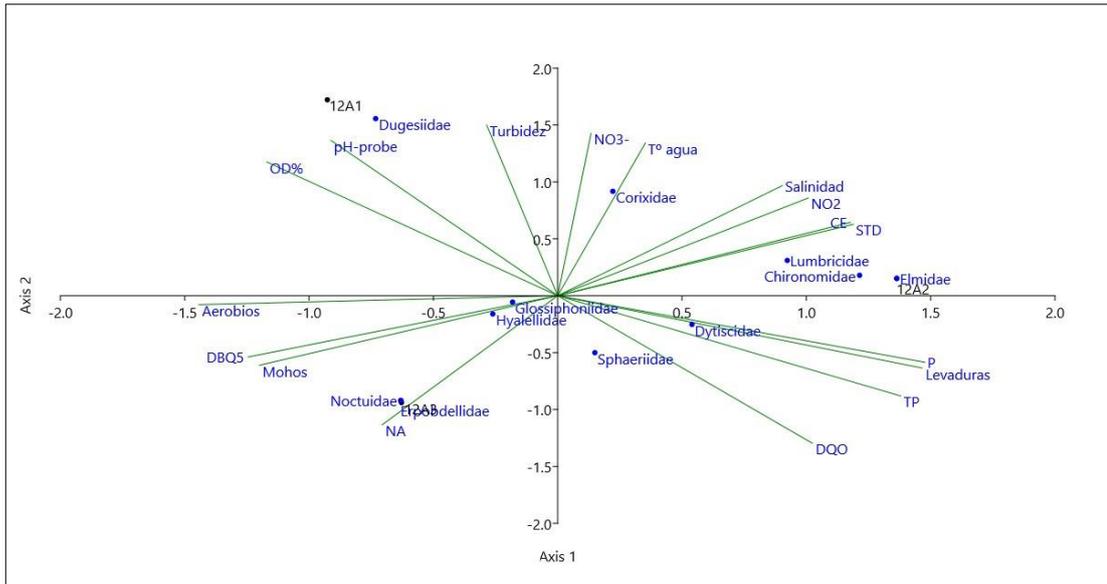
Tabla 4-52: Calidad de agua según el valor del índice EPT de los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha (muestreo 2)

Sitio	Índice de EPT	Rango
12A1	0%	Mala
12A2	0%	
12A3	0%	

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.4.11 Análisis de correspondencia canónica (ACC) entre parámetros físico, químicos y microbiológicos y macroinvertebrados

Según los resultados obtenidos en el ACC se determinó que los ejes 1 y 2 arrojan un nivel de confiabilidad del 100%. Por otra parte, se determinó que las familias que caracterizan al sitio de muestreo 12A1 fueron Dugesidae, con 156 individuos, esto se debió al estar más cerca del sitio muestreado indicando que su mayor densidad indica una mayor relación. Para el sitio de muestreo 12A2 las familias que presentan más cercanía fueron Chironomidae con 456 individuos, Dytiscidae con 43 individuos y Lumbricidae con 28 individuos, indicando las familias que mayor densidad tuvieron en este sitio. En cuanto al sitio de muestreo 12A3 está caracterizado por la presencia de la familia Hyalellidae con 1204 individuos y de forma fuertemente estrecha y Glossiphoniidae con 16 individuos, finalmente, en cuanto al mayor efecto de los parámetros sobre las familias se indica que la CE, STD, NO₂⁻ y la DBO, posee mayor relación sobre las familias identificadas. Por otro lado, se indicó la relación individual de parámetros con familias, siendo estas la familia Dugesidae con el pH, Corixidae con la T° del agua, Lumbricidae con CE y STD, Dytiscidae con levaduras, Sphaeriidae con la DQO, Noctuidae con NA y finalmente las familias Glossiphoniidae e Hyalellidae con DBO5 y mohos, en su mayoría estos se vieron relacionados con parámetros que incidieron en una calidad de agua contaminada por materia orgánica, siendo estas Dugesidae, Lumbricidae y Glossiphoniidae. Y por otro lado las familias como Corixidae, Dytiscidae e Hyalellidae se relacionaron con variables que incidieron con valores aceptables o permisibles para una calidad de agua aceptable.



OD%= oxígeno disuelto saturado; Tª agua=temperatura del agua; EC=Conductividad eléctrica; STD=sólidos totales disueltos; NO₂=nitritos; NO₃⁻=nitratos; P=fosforo; TP=fosforo total; NA=nitrógeno amoniacal; DQO=demanda química del oxígeno; DBOQ5=demanda bioquímica del oxígeno; CT=coliformes totales.

Ilustración 4-9: Análisis de correspondencia canónica entre parámetros del agua y macroinvertebrados (muestreo 2)

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.5 *Formulación de medidas de manejo ambiental para conservar y aprovechar la laguna Patococha*

4.2.5.1 *Identificación del objetivo de conservación de la laguna Patococha*

La laguna Patococha, (objeto de conservación), es un ecosistema capaz de contener un sinnúmero de especies tanto acuáticas (macroinvertebrados, micrófitos, algas) como terrestres (aves, mamíferos), siendo este un sitio clave para el avistamiento de aves como los gligles, (Salazar, 2013, p.1). La laguna es fuente de abastecimiento de agua para actividades agropecuarias del sector de Pilahuín, es usado también como abrevadero para especies locales como lobo de páramo, conejos y venados y a su vez este objeto es utilizado como generador de ingresos económicos para la comunidad, por medio del uso de un bote empleado en actividades recreativas por turistas y la población local, debido a esto es indispensable establecer medidas de aprovechamiento y conservación sustentables, asegurando la protección y preservación de todos los elementos de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de la laguna y sus alrededores.

4.2.5.2 Identificación de las amenazas directas e indirectas en los sitios de muestreo

Tabla 4-53: Amenazas directas e indirectas de cada sitio de muestreo de la laguna

Sitio	Amenazas directas-presiones	Amenazas indirectas-fuentes de presión
12A1	Contaminación del agua y el paisaje por la presencia de fecas de animales autóctonos del área.	Uso biológico (traslado de los animales hacia el cuerpo de agua, el cual es usado como abrevadero, dejando sus desechos fecales a su paso, los cuales son escurridos hacia el cuerpo de agua alterando su calidad).
	Contaminación del agua y borde de la laguna por desechos de origen orgánico (cáscaras de frutas) e inorgánicos (fundas de snacks, botellas)	Uso recreativo (generado por acciones como la navegación, y visitas de turistas-población local al mirador).
		Escasez de tachos de basura en sitios de visita por parte de turistas y pobladores locales.
	Alteración paisajística y ambiental por la presencia de una geomembrana.	Uso recreativo (implementado con el objetivo de impermeabilizar la zona, para llevar a cabo la navegación en bote).
	Alteración de la condición del agua por la presencia de espuma de origen antrópico.	Escasos programas de educación ambiental en base a la conservación e importancia de cuidar los recursos naturales, debido a que desechan los desperdicios en el cuerpo de agua y la falta de mantenimiento de la geomembrana implantada.
Pérdida de la biodiversidad acuática por el acelerado proceso de eutrofización.	Uso recreativo (debido a la presencia de turistas y población local al arrojar desechos los cuales aportan al incremento de N lo cual acelera la eutrofización, y de igual forma la presencia de fecas por medio de lluvias, estas son arrastradas hacia la laguna aportando a la presencia excesiva de N.)	
12A2	Contaminación del agua y el paisaje por la presencia de fecas de animales locales (lobo, conejo, venado).	Generado por la presencia de fecas de animales como el lobo, conejo, venado, las cuales descienden de las grandes altitudes para buscar alimento o agua y estas son transportadas al agua por medio de la escorrentía).
		Deficiencia en el control y monitoreo del área.
	Alteración de la calidad del agua por el proceso de eutrofización.	Escorrentía de las fecas de animales y desechamiento de basura a la laguna.
12A3	Contaminación del agua y el paisaje por la presencia de fecas de animales locales (lobo, conejo, venado).	Generado por la presencia de animales en el cuerpo de agua o a sus alrededores, los cuales al presentarse lluvias estas son escurridas hacia la laguna.
		Deficiencia en el control y monitoreo del área.
	Alteración de la calidad de agua por la descomposición de macrófitas	Escorrentía de las fecas de animales, lo cual aportan a la acumulación de nitrógeno lo cual acelera la degradación de macrófitas.

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.5.3 Análisis de amenazas del objetivo de conservación

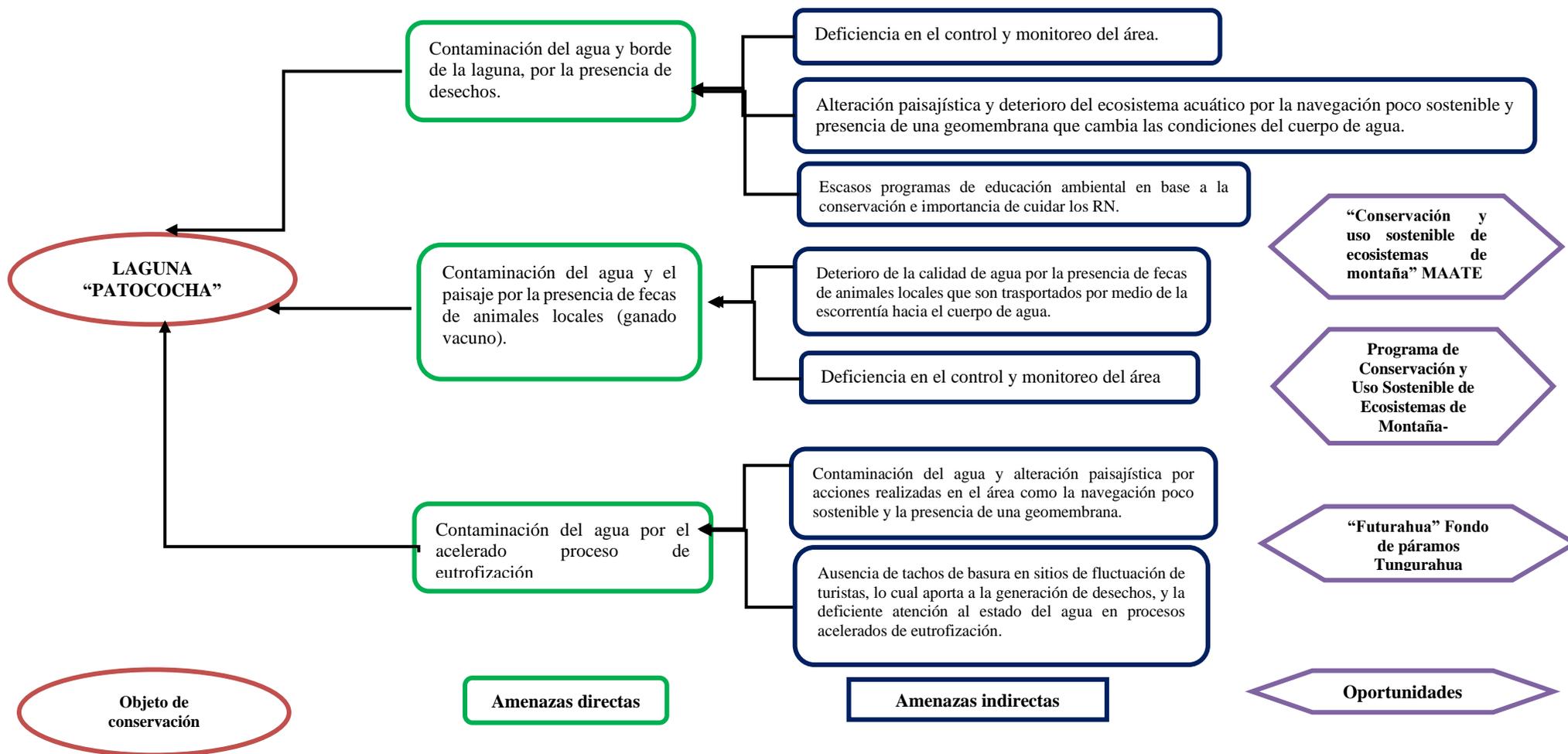


Ilustración 4-10: Identificación de amenazas directas e indirectas

Realizado por: Chimborazo J.,2023

4.2.5.4 *Objetivo, estrategia y resultados para el objeto de conservación*

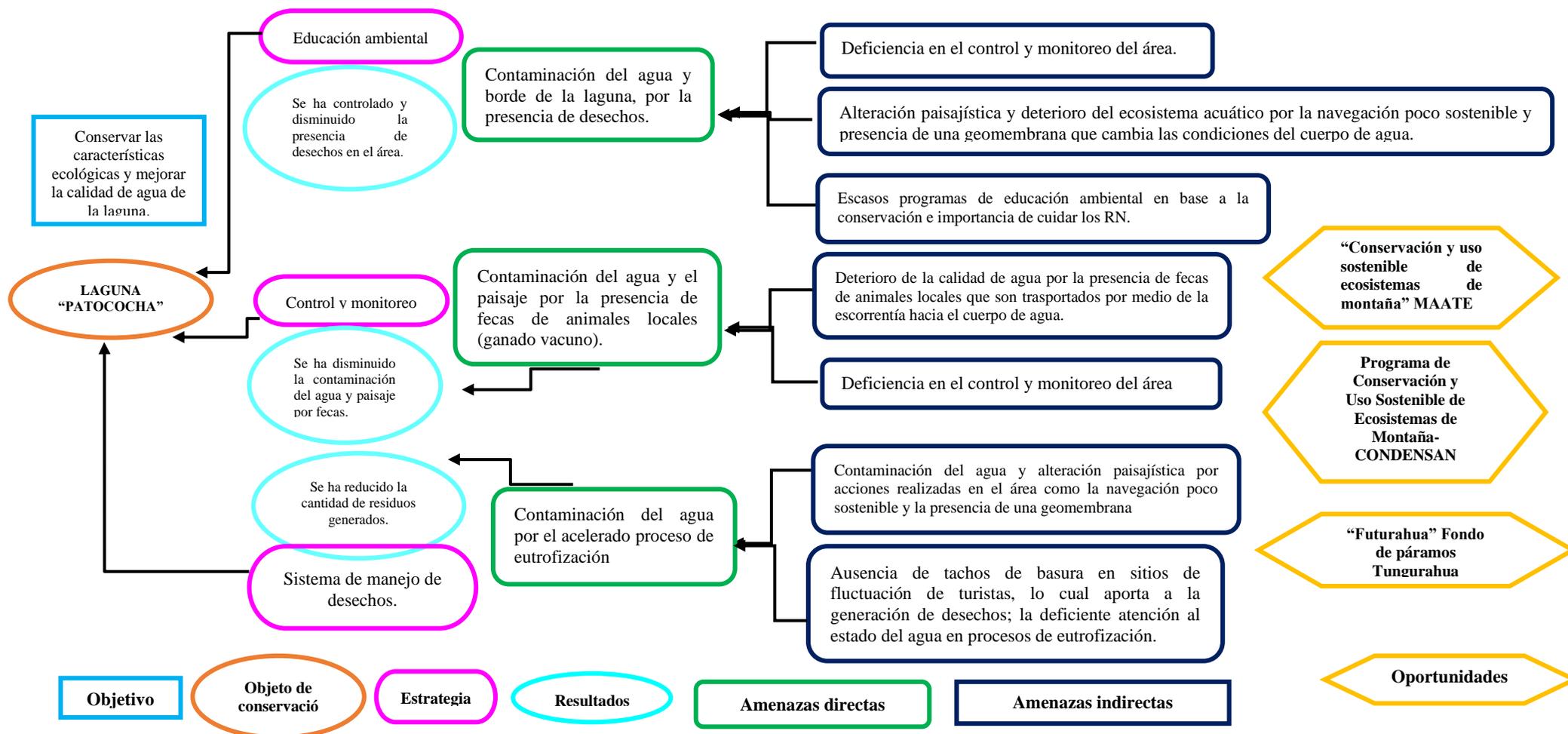


Ilustración 4-11: Estructuración de lineamientos de conservación

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.5.5 Matriz de planificación

Tabla 4-54: Matriz de planificación del programa en base al objeto de conservación

Programa: “Manejo ambiental para la conservación y aprovechamiento de la laguna Patococha”		
Objetivo general del programa	Objetivos específicos del programa	Proyectos
Mejorar la condición de la laguna, por medio de acciones sostenibles y sustentables para optimizar la funcionalidad del ecosistema y que contribuya al desarrollo del bienestar humano.	<p>Objetivo 1</p> <p>Implementar una educación y participación ambiental más sostenible y eficiente con los turistas y la población local en base a la importancia y cuidado de los recursos naturales del área.</p>	Educación ambiental para concientizar y enseñar a la población a interactuar con el medio de forma sostenible y responsable, con el fin de preservar y recuperar cuerpos de agua.
	<p>Objetivo 2</p> <p>Determinar el estado en el que se encuentra el cuerpo de agua y los recursos naturales, y establecer las causas y posibles soluciones para mejorar su gestión.</p>	Control y monitoreo en la laguna Patococha. Mecanismo por el cual se verificará y detectará las situaciones, inconformidades y daños sobre el ecosistema.
	<p>Objetivo 3</p> <p>Reducir y controlar el impacto ambiental generado por la presencia de desechos que alteren la calidad del agua y sus recursos naturales.</p>	Sistema de manejo de desechos. Permite reducir y controlar los residuos que generan contaminación y cambios en el estado natural de los RN.

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.5.6 *Matriz de planificación de los proyectos*

Tabla 4-55: Matriz de planificación de los proyectos en base al objeto de conservación

Programa	Proyectos	Componentes del proyecto
<p>“Manejo ambiental para la conservación y aprovechamiento de la laguna Patococha”</p>	<p>1. Educación ambiental para la población y turistas.</p>	<p>1.1. Diagnóstico situacional del estado en el que se encuentra la laguna y sus alrededores. 1.2. Diseño de estrategias de educación ambiental dirigido a la población y turistas. 1.3. Implementación del proceso de educación ambiental 1.4. Monitoreo y evaluación</p>
	<p>2. Control y monitoreo de la laguna Patococha</p>	<p>2.1. Diagnóstico situacional de la laguna Patococha. 2.2. Diseño de estrategias para el control y monitoreo. 2.3. Implementación del proceso de control y monitoreo. 2.4. Monitoreo, evaluación y aplicación de medidas correctivas</p>
	<p>3. Sistema de manejo de desechos y mantenimiento de la laguna y sus alrededores.</p>	<p>3.1. Diagnóstico situacional del estado laguna y sus recursos naturales 3.2. Diseño de estrategias para la implementación de un sistema de manejo de desechos y la reducción de macrófitas en descomposición. 3.3. Implementación del proceso del manejo de desechos y mantenimiento de la laguna y sus alrededores. 3.4. Monitoreo, evaluación y medidas correctivas.</p>

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.2.5.7 *Perfilamiento de las estrategias propuestas para la conservación y aprovechamiento de la laguna*

1. Nombre del proyecto: Educación ambiental dirigida a pobladores locales y turistas de la laguna Patococha.

a) Justificación

Debido a la escasez de información y conocimiento que la población tiene en lo referente a la conservación de los recursos naturales, es fundamental establecer campañas, diálogos e interacción directa con los involucrados, para dar a conocer la importancia que tiene conservar, respetar y aprovechar nuestros recursos de la mejor forma. Por ende, el objetivo de este proyecto se basa en fomentar la participación de los involucrados que serán clave para determinar los problemas ambientales que se generan en la zona y así de forma conjunta establecer soluciones a estos problemas de forma sustentable, amigable y económicamente viable para el desarrollo de la sociedad.

b) Localización geográfica: El presente proyecto, se llevará a cabo en la comunidad del sector Pilahuín.

c) Objetivos

Objetivo General

- Concientizar a la población local y turistas de las afecciones que generan una mala gestión de los RN, por medio de diálogos, talleres y campañas, que aporten a la disminución de amenazas que se generan en el cuerpo de agua y sus alrededores, para fomentar su conservación.

Objetivos Específicos

- Elaborar un diagnóstico del estado situacional sobre la importancia de conservar la laguna Patococha y sus recursos naturales.
- Diseñar estrategias de educación ambiental dirigido a la población y turistas, para la conservación y aprovechamiento de la laguna.
- Implementar los procesos de educación ambiental diseñado para la conservación y aprovechamiento de la laguna.
- Monitorear y evaluar las estrategias instauradas para determinar el alcance.

d) Metas

- Al finalizar el primer trimestre, se ha elaborado el diagnóstico de la situación actual de la laguna y sus recursos.
- Al finalizar el segundo trimestre, se ha diseñado 3 estrategias de educación ambiental en base a la conservación y aprovechamiento de la laguna y sus recursos.
- Al finalizar el tercer trimestre se ha implementado las estrategias de educación ambiental en un 90%.
- Al finalizar el cuarto trimestre, se ha monitoreado la eficiencia de la estrategia.

e) Duración del proyecto: El proyecto tendrá una duración de 1 año calendario.

f) Beneficiarios: Los beneficiarios directos serán los pobladores locales, turistas, guardaparques, comunidades. Los beneficiarios indirectos serán los GAD's, MAATE.

g) Matriz de marco lógico

Tabla 4-56: Marco lógico de la estrategia 1

Nombre del proyecto	Educación ambiental dirigida a pobladores locales y turistas de la laguna Patococha.		
Duración	1 año		
Objetivos	Indicadores verificables objetivamente	Fuentes y medios de verificación	Supuestos
Fin Reducir el número de presiones y fuentes de presión generadas por acciones antrópicas y mejorar el estado de los RN.	Al final del año se ha capacitado al 80% de la población en base al cuidado y conservación de la laguna.	Visitas a campo Fotografías Registro de asistencia-participación. Registro de desechos	Contribución económica y técnica del 90% de las entidades participantes. Participación activa de 85% de los actores involucrados.
Propósito Incrementar la conciencia ambiental en la población y turistas, para gestionar de forma correcta y sustentable los RN.	Al finalizar el año de ejecución ha mejorado la calidad del agua en un 80% , por la reducción de actividades antrópicas.	Visitas a campo Fotografías Informe técnico Registro de residuos Análisis de químicos	Trabajo en equipo al al 90% de todos los actores involucrados. Reducción de desechos al 90% en los tres sitios.

Componentes			
1. Diagnóstico situacional de la laguna Patococha	Al finalizar el primer trimestre del año 1 se ha realizado el diagnóstico situacional en un 90%.	Visitas a campo Entrevistas, encuestas, con pobladores, turistas y guardaparques Informe técnico Fotografías	Contribución económica del 85% por apoyo de las entidades gubernamentales. Participación de actores al 80%.
2. Diseño de estrategias de educación ambiental dirigido a la población y turistas.	Al finalizar el segundo trimestre del año 1 se ha diseñado las 3 estrategias.	Fotografías Registros (análisis de amenazas) Informe técnico de diseño de estrategias.	Se trabajará de forma conjunta al 85% entre técnicos, turistas y los pobladores locales.
3. Implementación del proceso de educación ambiental	Al finalizar el tercer trimestre del año 1 se ha concientizado a un 90% de los involucrados.	Registro de asistencia Fotografías Registro de salidas Informe de las estrategias elaboradas	Las estrategias implementadas en el período sean 80% eficientes, para cada una de la amenazas identificadas.
4. Monitoreo y evaluación	Al concluir el cuarto trimestre del año 1, se cuenta con un informe técnico de la evaluación de las estrategias.	Informe técnico del monitoreo Registro de actividades Análisis de datos Fotografías Diagnóstico del estado del área .	La calidad de agua mejoró en un 80% en los tres sitios de visita. No se evidenció presencia de desechos en el área .

Realizado por: Chimborazo J., 2023

h) Actividades, cronograma y presupuesto de la estrategia

Tabla 4-57: Cronograma de actividades y presupuesto de la estrategia 1

Actividades	Cronograma				Presupuesto
	Trim. I	Trim. II	Trim. III	Trim. IV	
1.1. Contratar a un ingeniero en RNR, para la capacitación	x				9600.00
1.2. Mapeo del territorio para evidenciar el estado de la laguna y sus alrededores.	x				100.00
1.3. Identificación de actores clave	x				50.00

1.4. Realizar talleres de diagnóstico con la comunidad.	x				150.00
1.5. Estructura del informe en base al estado de la laguna.	x	x			200.00
2.1. Estructuración de las estrategias de educación ambiental.		x			300.00
2.2. Adquisición de materiales para el taller y ejecución de estrategias.		x	x		300.00
2.3. Convocatoria a las comunidades para socializar las estrategias.		x	x		200.00
3.1. Salidas a campo para implementar las estrategias.			x		400.00
3.2. Valoración de servicios ecosistémicos del área.			x		100.00
3.3. Senda ecológica con los involucrados para identificar los recursos			x		200.00
3.4. Taller de aprovechamiento de la laguna y los recursos naturales.			x		150.00
4.1. Adquisición de materiales para el monitoreo del área.			x	x	200.00
4.2. Control del área (4 veces al año)	x	x	x	x	1600.00
4.3. Elaboración final del estado de la laguna y sus alrededores.				x	200.00
4.4. Difusión de resultados con la comunidad y entidades relacionadas.				x	200.00
Total					13950.00

Realizado por: Chimborazo J., 2023

1. **Nombre del proyecto:** Control y monitoreo de la laguna Patococha

a) **Justificación**

El proyecto se aplica con el fin de evaluar la calidad del agua y el estado de los recursos naturales de la zona de estudio, para identificar las causas o afecciones que se presentan y así establecer las posibles soluciones que eliminen y disminuyan tanto las presiones como fuentes de presión, para conservar y recuperar las zonas en las cuales las afecciones se hacen presentes, alterando el equilibrio del ecosistema.

b) Localización geográfica

El presente proyecto, se lo aplicará en el área de estudio, es decir la laguna Patococha, sector Pilahuín, en los tres sitios de visita y en cada uno de sus alrededores.

c) Objetivos

Objetivo general

- Controlar y monitorear el área de estudio, por medio de visitas y observación directa del lugar, para establecer el estado del cuerpo de agua, sus alrededores y disminuir así las presiones.

Objetivos Específicos

- Elaborar un diagnóstico del estado de la laguna y sus alrededores para conocer su estado actual
- Diseñar las estrategias para el control, y monitoreo del objeto de conservación y sus alrededores
- Establecer y aplicar las medidas de manejo, corrección y restauración para mejorar el estado del objeto de conservación
- Implementar los procesos de control y monitoreo sobre la laguna y sus alrededores

d) Metas

- Al final del primer trimestre del año 1 se ha elaborado el diagnóstico de la situación actual de la laguna Patococha
- Al finalizar el segundo trimestre del año 1 se ha diseñado al 100% tres estrategias de control y monitoreo
- Al finalizar el tercer trimestre del año 1 se han establecido un 90% las medidas de corrección y restauración para mejorar el estado del objeto de conservación.
- Al finalizar el cuarto trimestre del año 1 se han implementado en un 80% estrategias de control y monitoreo.

e) Duración del proyecto: El proyecto tendrá una duración de 1 años calendario.

f) **Beneficiarios:** Los beneficiarios directos serán los pobladores locales, turistas, guardaparques, comunidades, técnicos de la zona, que visiten la laguna y sus alrededores. Los beneficiarios indirectos serán los GAD`s, MAATE.

g) **Matriz de marco lógico**

Tabla 4-58: Marco lógico de la estrategia 2

Nombre del proyecto	Control y monitoreo de la laguna Patococha y sus alrededores.		
Duración	1 años		
Objetivos	Indicadores verificables objetivamente	Fuentes y medios de verificación	Supuestos
Fin Contribuir a la conservación, manejo y aprovechamiento sostenible de la laguna y los recursos naturales.	La presencia de fecas de animales locales ha reducido en un 90% al primer año de aplicación de la estrategia.	Visitas a campo Fotografías Análisis de amenazas (informe técnico)	La Reserva de Producción de Fauna Chimborazo contribuirá de forma económica y técnica para el control y monitoreo del área en el transcurso de la duración del proyecto.
Propósito Manejar, controlar e incluso eliminar las actividades de origen antrópico y natural que están afectando al estado natural del ecosistema.	La calidad del agua ha mejorado en un 90% debido a la reducción de fecas de animales.	Visitas a campo Fotografías Informe técnico del control y resultados del proyecto.	Trabajo en equipo al 100% de todos los actores involucrados.
Componentes 1. Diagnóstico situacional de la laguna Patococha	Al terminar el primer trimestre del año 1, se cuenta con un diagnóstico de la situación actual de los 3 sitios de muestreo de la laguna Patococha	Visitas a campo Entrevistas con pobladores, turistas y guardaparques Informe técnico	Apoyo económico de un 70% y técnico 90% de las entidades de apoyo CONDENSAN y Fondo de Páramos Tungurahua.
2. Diseño de estrategias para el control y monitoreo.	Al finalizar el segundo trimestre del año 1 se ha diseñado 3 estrategias de control y monitoreo.	Visitas a campo Fotografías Registros Informe técnico de diseño de estrategias.	Se trabajará de forma conjunta al 100% entre técnicos, turistas y los pobladores locales.
3. Establecer medidas de manejo correctivas del objeto de estudio	Al concluir el tercer trimestre del año 1, se cuenta con un informe	Registro de asistencia Registro fotográfico	Todas las entidades y actores involucrados

	técnico del análisis de conformidades y sus acciones correctivas.	Registro de salidas Informe de los talleres	hayan participado al 100%.
4. Implementación de estrategias de control y monitoreo en la laguna.	Al concluir el año 1 la presencia de desechos ha reducido al 90%, y se cuenta con un informe técnico de la implementación y evaluación de las medidas.	Informe técnico del monitoreo Registro de actividades (visitas, encuestas, observación) Fotografías	Asistencia participativa al 100% de toda la población, turistas y técnicos. La calidad del agua mejoró al 99% en los tres sitios de visita.

Realizado por: Chimborazo J., 2023

h) Actividades, cronograma y presupuesto de la estrategia

Tabla 4-59: Cronograma de actividades y presupuesto de la estrategia 2

Actividades	Cronograma				Presupuesto
	Trim. I	Trim. II	Trim. III	Trim. IV	
1.6. Contratar a un equipo técnico en control y monitoreo.	x				9800.00
1.7. Mapeo del área	x				50.00
1.8. Salidas a campo para recopilación de información	x				150.00
1.9. Analizar la información obtenida en campo.	x				50.00
1.10. Realizar un informe técnico del diagnóstico situacional de la laguna.	x	x			250.00
2.1. Contratar a un técnico (experiencia en evaluación y restauración de ecosistemas)		x			9800.00
2.2. Elaboración de 3 estrategias de control y monitoreo para aplicarse en el área.		x			200.00
2.3. Adquisición de materiales para el monitoreo y control de las estrategias.		x			500.00
2.4. Taller de socialización de las estrategias con la comunidad.		x			100.00
3.1. Realizar un análisis de no conformidades y sus causas.			x		250.00
3.2. Diseño de un plan de acción para resolver el problema.			x		300.00

3.3. Aplicación de acciones correctivas			x		150.00
3.4. Informe técnico del resultado de medidas correctivas.			x		100.00
4.1. Mapeo del sitio para implementar las estrategias en sitios apropiados.			x	x	50.00
4.2. Socialización de las estrategias a implementarse con ayuda de la comunidad.	x	x	x	x	100.00
4.3. Salidas a campo para la ejecución de estrategias.				x	150.00
4.4. Determinar rutas prioritarias para recorridos de vigilancia				x	50.00
4.5. Implementar los tachos de basura en los sitios clave				x	100.00
4.6. Realizar 2 talleres de capacitación y vigilancia con guardaparques.				x	250.00
4.7. Dotación de combustible para la vigilancia				x	400.00
4.8. Recolección de reportes mensuales del estado del área.				x	200.00
4.9. Elaboración del informe final.				x	300.00
4.10 Difusión de resultados.				x	1000.00
Total					24 300. 00

Realizado por: Chimborazo J., 2023

1 Nombre del proyecto: Sistema de manejo de desechos y mantenimiento de la laguna y sus alrededores

a) Justificación

El proyecto se enfoca en establecer acciones por medio de la gestión adecuada de los residuos, sean sólidos o líquidos generados sobre el área de estudio, por parte de las personas locales o turistas que lo visitan. Por medio de este proyecto se pretende disminuir la presencia de desechos sólidos orgánicos e inorgánicos, al igual que el material flotante, que al descomponerse en el agua, liberan sustancias como el N y F que aceleran la descomposición de macrófitas, dando paso a la contaminación y cambio en la calidad del cuerpo de agua, de igual forma este proyecto busca establecer medidas que ayuden a la eliminación de macrófitas en descomposición por medio de actividades de recolección manual, con el fin de aportar a la conservación y aprovechamiento sostenible de la laguna y sus RN.

b) Localización geográfica

El presente proyecto, se lo aplicará en los tres sitios de visita de la laguna Patocochoa, tomando en cuenta el trayecto de cada uno de sus senderos.

c) **Objetivos**

Objetivo General

- Gestionar los residuos, al igual que macrófitas en descomposición encontrados en el área, por medio de la recolección, tratamiento, y reutilización, para disminuir el impacto que estos materiales generan al cuerpo de agua y sus alrededores.

Objetivos Específicos

- Elaborar un diagnóstico del estado situación de la laguna Patococha
- Diseñar las estrategias de un sistema de manejo de desechos y la reducción de macrófitas en descomposición.
- Implementar los procesos de manejo de desechos de la laguna y sus alrededores.
- Monitorear y evaluar las actividades ejecutadas e identificar medidas correctivas en caso de ser necesarias.

d) **Metas**

- Al finalizar el primer trimestre del año 1 se ha elaborado el diagnóstico de la situación actual en base a desechos presentes en la laguna y sus alrededores.
- Al finalizar el segundo trimestre del año 1 se ha diseñado 3 estrategias de gestión de residuos de la laguna y sus alrededores.
- Al finalizar el tercer trimestre del año 1 se ha implementado en un 95% las 3 estrategias elaboradas sobre el objeto de conservación.
- Al finalizar el cuarto trimestre del año 1 se ha monitoreado las estrategias y se ha identificado medidas correctivas al 90% sobre el objeto de conservación y sus alrededores.

e) **Duración del proyecto:** El proyecto tendrá una duración de cuatro años calendario.

f) **Beneficiarios:** Los beneficiarios directos serán los pobladores locales, turistas, guardaparques, comunidades, técnicos de la zona, que visitan la laguna y sus alrededores. Los beneficiarios indirectos serán los GAD`s, MAATE.

g) **Matriz de marco lógico**

Tabla 4-60: Marco lógico de la estrategia 3

Nombre del proyecto	Sistema de manejo de desechos y mantenimiento de la laguna y sus alrededores.		
Duración	1 años		
Objetivos	Indicadores verificables objetivamente	Fuentes y medios de verificación	Supuestos
<p>Fin Reducir el impacto generado por la presencia de desechos y mejorar la calidad de agua con la reducción de macrófitas en descomposición.</p>	<p>Al concluir el año 1 se ha reducido los desechos al 95% sobre la laguna y sus alrededores.</p>	<p>Visitas a campo Fotografías Monitoreo Informe técnico por la presencia de desechos. Porcentaje de macrófitas presentes.</p>	<p>La Reserva de Producción de Fauna Chimborazo contribuirá de forma económica y técnica para el monitoreo continuo de la presencia de desechos.</p> <p>Las entidades participantes aporten con el 85% con el equipo y herramientas para la aplicación de las estrategias.</p>
<p>Propósito Preparar a la comunidad a gestionar los desechos de forma correcta y sostenible con el fin de mejorar el estado de los RN.</p>	<p>Al finalizar el año 1 la comunidad ha sido instruida acerca del sistema de gestión, a implantarse sobre el objeto de conservación.</p> <p>Al finalizar el año 1 se ha reducido en un 85% la descomposición de macrófitas.</p>	<p>Visitas a campo Fotografías Informe técnico de capacitación . Registro de asistencia Análisis de datos</p>	<p>La proliferación de macrófitas en descomposición se reduzca al 90%.</p> <p>La participación de los involucrados sea de un 80%.</p>
<p>Componentes</p> <p>1. Diagnóstico situacional de la laguna Patococha.</p>	<p>Al finalizar el primer trimestre año 1 se ha realizado el diagnóstico de la laguna.</p>	<p>Visitas a campo Fotografías Informe técnico</p>	<p>Apoyo económico de un 96% de las entidades de apoyo CONDENSAN y Fondo de Páramos Tungurahua.</p>
<p>2. Diseño de estrategias para la implementación de un sistema de manejo de desechos.</p>	<p>Al finalizar el segundo trimestre del año 1 se ha elaborado 3 estrategias en base al sistema de gestión de desechos.</p>	<p>Visitas a campo Fotografías Registros de participación Informe técnico de diseño de estrategias.</p>	<p>Se trabajará de forma conjunta al 80% entre técnicos, turistas y los pobladores locales.</p>

3. Implementación del proceso del manejo de desechos de la laguna y sus alrededores.	Al cabo del tercer trimestre del año 1 se ha ejecutado al 95% las estrategias en el área de estudio.	Registro de asistencia Fotografías Registro de salidas Informe de ejecución .	Participación activa y colaboración por todos los participantes al 80%.
4. Monitoreo, evaluación y medidas correctivas	Al finalizar el cuarto trimestre del año 1 se ha evaluado el 85% de las estrategias. Al finalizar el primer año, la calidad del agua y estado de los RN, ha mejorado al 90 %.	Informe técnico del monitoreo Registro de actividades (visitas, encuestas, evaluación, observación) Análisis de datos Fotografías Reportes de recorridos y vigilancia	Asistencia participativa al 90% de toda la población, turistas y técnicos. Disponibilidad presupuestaria al 95% por todas las entidades.

Realizado por: Chimborazo J., 2023

h) Actividades, cronograma y presupuesto de la estrategia

Tabla 4-61: Cronograma de actividades y presupuesto de la estrategia 3

Actividades	Cronograma				Presupuesto
	Trim. I	Trim. II	Trim. III	Trim. IV	
1.1 Contratar a un equipo técnico en gestión ambiental.	x				21600.00
1.2 Mapeo del área de estudio para identificar puntos con mayor frecuencia de desechos.	x				100.00
1.3 Levantamiento de información acerca de desechos encontrados en el área.	x				200.00
1.4 Identificación del estado de eutrofización del cuerpo de agua.	x				100.00
1.5 Informe técnico del estado actual de la laguna y sus alrededores	x	x			100.00
2.1 Contratar al equipo encargado de diseñar el sistema de gestión (planificadores territoriales e ingenieros RNR).		x			21600.00
2.2 Evaluación de la información adquirida y caracterización de los lugares a intervenir.		x			50.00

2.3 Estructurar las estrategias de gestión de residuos a implementarse.		x			300.00
2.4 Selección de métodos de recolección de residuos		x			50.00
2.5 Selección del tratamiento de acuerdo con los residuos identificados.		x			50.00
2.6 Adquisición de materiales e insumos para la aplicación y talleres.		x			1000.00
2.7 Taller de socialización de las estrategias a implementarse con la comunidad local.		x	x		100.00
3.1 Contratar a un equipo técnico encargado en la ejecución (planificador territorial, ecólogo)				x	21600.00
3.2 Mapeo de involucrados.	x	x	x		100.00
3.3 Taller de instrucción acerca de las actividades a realizarse.		x	x		100.00
3.4 Salidas a campo para establecer las estrategias en los puntos designados.				x	150.00
3.5 Aplicación de tachos de basura en los puntos identificados.				x	200.00
3.6 Establecer señaléticas con la ubicación de tachos, formas de depositar residuos, avisos de advertencia en base a una mala gestión de residuos.				x	500.00
3.7 Dotación de combustible para la recolección de desechos.				x	1000.00
3.8 Realizar una limpieza manual de macrófitas en descomposición.				x	2000.00
3.9 Realizar un informe trimestral de los desechos obtenidos.				x	400.00
4.1 Salidas a campo para visualizar el estado del agua y sus alrededores.				x	350.00
4.2 Análisis del agua para determinar su calidad.				x	1600.00
4.3 Elaboración del informe final del proyecto.				x	200.00
4.4 Difusión de resultados.				x	200.00
Total					73650.00

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.3 Pregunta de investigación

¿La calidad de agua de la laguna Patococha es afectada por la presencia de desechos sólidos arrojados por visitantes y la población local?

- Análisis de correspondencia canónica (ACC) entre desechos y macroinvertebrados (muestreo 1)

Por medio del análisis de correspondencia canónica, se pudo determinar que existe relación entre el material flotante y la presencia de macroinvertebrados de la familia Hyalellidae y Staphylinidae en el sitio 12A1 del primer muestreo, siendo este el sitio con mayor presencia de material flotante (2.58 lb), tomando en cuenta que las dos familias son tolerantes a la contaminación por materia orgánica, esta relación indica que la abundancia y presencia de estos se ve influenciado por el material flotante encontrado en el sitio, lo cual afecta la calidad del agua, dando paso a cambios en su condición, permitiendo así la adaptación de estas familias.

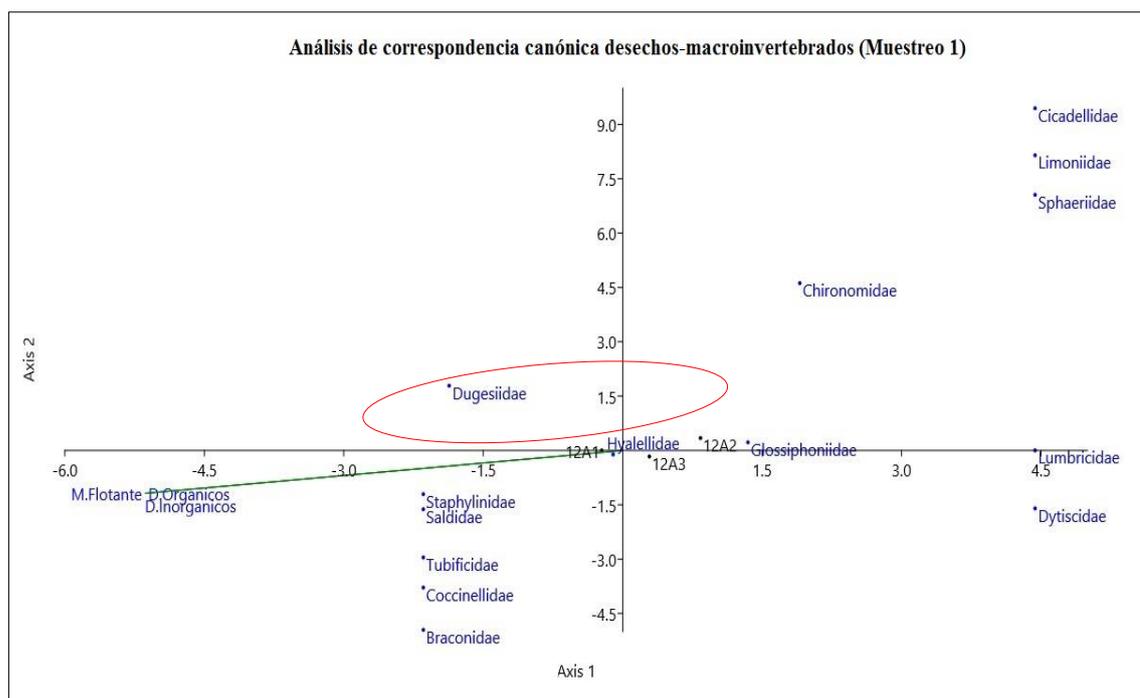


Ilustración 4-12: ACC desechos-macroinvertebrados (muestreo 1)

Realizado por: Chimborazo J., 2023

- Análisis de correspondencia canónica (ACC) entre desechos y macroinvertebrados (muestreo 2)

En el segundo muestreo se evidenció la relación que posee el material flotante con la familia Glossiphoniidae y Dugesiidae en el sitio de muestreo 12A1, siendo estas familias altamente tolerantes a la contaminación por materia orgánica, se determina que la calidad del agua en cierta forma se ve afectada por la presencia de material flotante (0.10 lb), lo cual se ve respaldado por la presencia de estas familias, y la abundancia de la Dugesiidae con 159 individuos encontrados en este sitio.

En ambos muestreos se encontró una relación entre familias (Hyalellidae, Staphylinidae, Glossiphoniidae y Dugesiidae) y el material flotante, lo cual indica que de cierta forma la calidad del agua se ve influenciado por la presencia de materia flotante, que es generada por acciones antrópicas, respaldado así por la presencia de familias altamente tolerantes a la contaminación por materia orgánica. Recalcando que la relación que existe entre ambas variables se ve afectado por la cantidad de material flotante, tal es el caso del primer muestreo en el cual se encontró mayor cantidad de este contaminante, y la presencia de familias tolerantes a contaminación también incremento, a diferencia del segundo muestreo en el mismo sitio que al presentar menor cantidad de materia flotante, las familias disminuyeron.

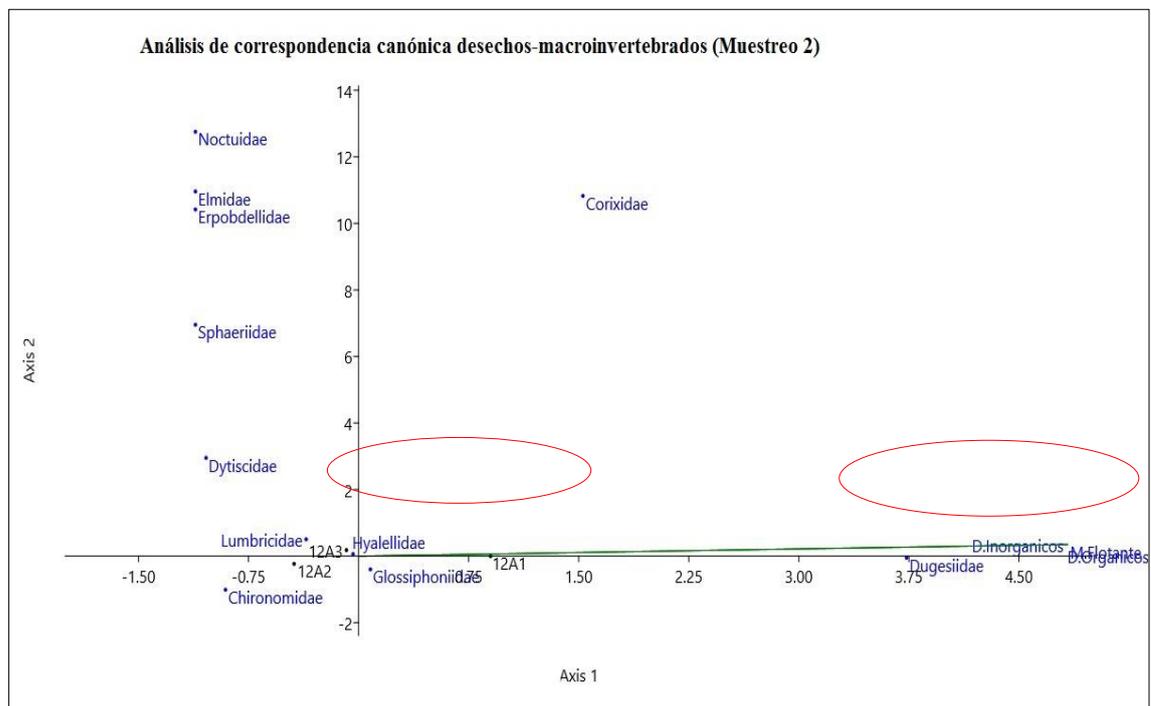


Ilustración 4-13: ACC desechos-macroinvertebrados (muestreo 2)

Realizado por: Chimborazo J., 2023

4.4 Discusión

De los resultados en el primer monitoreo, se evidenció un total de 3087 individuos, pertenecientes a 14 familias, cuyo orden con mayor densidad de individuos fueron Coleóptera con 21%, Díptera y Hemíptera con 14% cada uno, en cuanto a familias más representativas se evidenció a Hyalellidae con 87%, seguida de Dugesidae con 5% y Dytiscidae con 3%. En el segundo monitoreo se identificó un total de 2087 individuos, en donde el orden con mayor porcentaje de individuos fue Coleóptera con 18%, con respecto a las familias se encontró a Hyalellidae con 58%, seguido de Chironomidae con 17% y Dytiscidae con 16%, lo cual según Castillo y Huamantínco (2020 p. 63), establece que estas familias se encuentran en ambientes con grandes cambios geológicos, siendo estos capaces de adaptarse a diversos medios. Un ejemplo de estas adaptaciones es la familia Chironomidae que es conocida por su amplia adaptabilidad según su origen prístino que está presente en ambientes altamente contaminados. Una de las causas según Oviedo y Reinoso, (2018, p.104), es su tipo de hemoglobina que además de conferirles el color rojo, les ayuda a adaptarse con facilidad a medios donde la carencia de oxígeno prevalece. La presencia de las familias como Chironomidae, Dugesidae coincide con un estudio realizado en Perú, donde estas familias se ven influenciados por la presencia de macrófitas, que el autor indica proporcionan una fuente de alimento para estos organismos acuáticos, (Castillo y Huamantínco, 2020 p. 64).

En referencia a la calidad del agua en el primero y segundo monitoreo se determinó que las coliformes fecales de los tres sitios de muestreo está dentro de los rangos establecidos conforme con las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS). El DBO de los sitios de muestreo 12A1 y 12A3 con 3.52 y 3.74 respectivamente, significa que son aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica por tanto su calidad de agua es buena. Para el oxígeno disuelto saturado del sitio de muestreo 12A3 el valor es 38.4% significa que su oxígeno es pobre ya que su porcentaje establecido es <60%, para el sitio 12A2 el valor es 93.7% significa que su oxígeno es excelente ya que su porcentaje va desde 90 - 100%. Para el pH los tres sitios de muestreo se encuentran entre los rangos 5.56 a 6.97 respectivamente, significa que el agua es ácida y lleva ácidos libres o sales ácidas, según Spellma, (2014), esto indica aguas ácidas con presencia de sales ácidas.

Por su parte, en el segundo monitoreo se determinó que el DBO de los tres sitios de muestreo no presenta contaminantes, por ende, la calidad del agua es excelente, según Conagua, (2016), el agua en base a este parámetro va desde buena calidad a excelente, indicando ausencia de contaminación y bajo contenido de materia orgánica. Para el oxígeno disuelto saturado del sitio

de muestra 12A1 el valor es 108.3 lo que significa que es supersaturado, para el sitio 12A2 el valor es 85.8 y el sitio 12A3 el valor es 91.6 significa que el oxígeno que se encuentra en el cuerpo de agua es adecuado y excelente para la vida acuática.

Los criterios de calidad contenidos en el TULSMA (Anexo 1-libro VI) para la preservación de la vida acuática y silvestre reflejan que en el primer monitoreo los sitios de muestreo 12A1 y 12A2 de la laguna Patococha cumplen con los 7 de los 8 criterios establecidos puesto que la presencia de nitrógeno amoniacal supera los límites máximos permitidos. Por otra parte, el sitio de muestreo 12A3 cumple con 6 de los 8 criterios. El DQO y el nitrógeno amoniacal superan el límite permitido, mientras que en el segundo monitoreo se observa que los tres sitios de muestreo cumplen con los 7 de los 8 criterios, la presencia de nitrógeno amoniacal supera los límites máximos permitidos, según Silva (2018, p.63), cuando detectan altos niveles de nitrógeno amoniacal en el agua, indica la presencia de materia orgánica en descomposición, lo que se a su vez sugiere un entorno con bajo contenido de oxígeno.

En base a los índices de diversidad alfa, el índice de diversidad Shannon-Weaver presentan una diversidad baja para los tres sitios de muestreo en los dos monitoreos, debido a que presentan valores entre 0.1 a 1.5 como lo indica Yáñez (2014, p.146). En cuanto al índice de dominancia Simpson en el primer (12A1 y 12A3) y en el segundo monitoreo los tres sitios de muestreo presentan una dominancia baja ya que se encuentran entre los valores 0.1 a 0.33. Por otro lado, el índice de Margalef indica riqueza baja para los tres sitios de muestreo en los dos monitoreos, debido a que presentan valores por debajo del rango 1.9 (Yáñez, 2014, p.146).

En cuanto a los índices beta, Sorensen y Jaccard indican que la mayor similitud de especies fueron entre los puntos 12A2 y 12A3 con 61.54% en Sorensen y 44.44% en Jaccard, para el primer muestreo y en cuanto al segundo muestreo, los puntos con mayor similitud fueron 12A1 y 12A2 con 87.50% para Sorensen y 77.78% para Jaccard esto se debe a la compartición de características ambientales, ecológicas o geográficas del área.

Con respecto a los índices bióticos, el BMWP/Col en el primer (tres sitios de muestreo) y segundo monitoreo (sitio 12A1 y 12A3) se refleja una calidad de agua “crítica” lo que significa que el agua se encontró “muy contaminada”, mientras que en el segundo monitoreo el sitio 12A2 presenta una calidad de agua “dudosa”, lo que significa que el agua se encontró “moderadamente contaminada” (Vargas, 2018, pp.9-11). Para el índice ASPT en el primer (12A1 y 12A2) y segundo monitoreo (12A3) se determinó una calidad de agua “crítica” lo que significa que son “aguas muy contaminadas”, En cuanto al índice ABI en el primer (12A1 y 12A2) y segundo monitoreo (12A1,

12A2 y 12A3), se refleja una calidad de agua “malo”, lo que significa que son “aguas muy contaminadas-críticas” según lo indica, Rios-Touma et al., (2014, p.257). Por otro lado, según el índice ETP, con valores de 0% en los dos monitoreos los tres sitios de muestreos, presentan una calidad de agua “mala”, debido a la ausencia de las familias de los tres órdenes de EPT. Según Martínez et al.,(2014, p.8), su ausencia se debe a las características ambientales como la temperatura, sustrato y altitud no son las más apropiadas para la adaptación de estas familias. A través del análisis de presiones y fuentes de presión se identificó que la presencia de fecas de animales locales, el proceso acelerado de la eutrofización y la descomposición de macrófitas son las presiones más relevantes en el área de estudio. Según Guadarrama et al., (2016, p. 3), la eutrofización y descomposición de macrófitas se debe al crecimiento y descomposición de plantas acuáticas que agotan el oxígeno, provoca la pérdida de macroinvertebrados y flora acuática nativa, al igual que incrementa los niveles de turbidez, debido a la presencia del material suspendido sobre el cuerpo de agua, dejando como resultado bajas tasas de diversidad de macroinvertebrados y cambios en el estado del agua, para lo cual es importante y necesario establecer medidas de manejo y conservación para el cuerpo de agua y sus alrededores.

Para analizar las presiones del área se establecieron 3 estrategias de conservación y aprovechamiento enfocadas al control y monitoreo de la laguna Patococha, sistemas de manejo de desechos y mantenimiento de la laguna y sus alrededores, educación ambiental para la población y turistas. Según la guía de monitoreo ecológico de la WWF, (World Wildlife Foundation, 2004, p.4), establece que el control y monitoreo es una de las medidas más efectivas para detener la pérdida de los recursos, debido a que permite determinar la ocurrencia, tamaño, dirección e importancia de los cambios sobre el objeto de conservación, por otra parte implementar un sistema de manejo de desechos, permiten actuar de forma directa sobre la incidencia de desechos en el área de estudio, (SINAC 2015, p.5), y finalmente la educación ambiental contribuye a aumentar la concientización de los pobladores locales sobre alguna temática o problemas ambientales con el fin de transmitir conocimientos y enseñanzas a la ciudadanía (Martínez, 2010, p.100).

Finalmente se indica que la implementación de los programas tendrá una duración de 2 años calendario, (primer programa “educación ambiental“ con 1 año de duración, segundo programa “control y monitoreo” y tercer programa “sistema de manejo de desechos” con 1 años de duración, y se requiere de un presupuesto total de \$111900.00, para lo cual es necesario que la implementación se lleva a cabo de forma breve, con el fin de reducir las acciones antrópicas y mejorar la condición del agua y sus recursos de forma sostenible y aprovechable por la población local y turistas del área.

CONCLUSIONES

Los tres sitios de muestreo de la laguna Patococha registraron un total de 3087 y 2897 individuos en el primer y segundo monitoreo respectivamente. De los análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos se determinó que las coliformes fecales está dentro de los rangos establecidos conforme con las directrices de la OMS. El DBO en el primer (12A1, 12A2 y 12A3) y segundo monitoreo (12A2) no presenta contaminantes por ende la calidad del agua es excelente mientras que el oxígeno disuelto saturado en el primer (12A1) y segundo monitoreo (12A1) reflejó una supersaturación y finalmente el nitrógeno amoniacal en los dos monitoreos superan los límites máximos permitidos ya que según la norma debe ser ausente.

A través del análisis del TULSMA (Anexo 1-libro VI) para la preservación de la vida acuática y silvestre se evidenció que en el primer monitoreo los sitios de muestreo 12A1 y 12A2 de la laguna Patococha cumplen con los 7 de los 8 criterios establecidos puesto que la presencia de nitrógeno amoniacal supera los límites máximos permitidos. Por otra parte, el sitio de muestreo 12A3 cumple con 6 de los 8 criterios. El DQO y el nitrógeno amoniacal superan el límite permitido, mientras que en el segundo monitoreo los tres sitios de muestreo cumplen con 7 de los 8 criterios, la presencia de nitrógeno amoniacal supera los límites máximos permitidos.

Según los resultados para la diversidad alfa los tres sitios de muestreo del primero y segundo monitoreo presentan una diversidad “baja” (índice Shannon-W), así también en el primer (12A1, 12A2 y 12A3) y segundo (12A3) monitoreo presentan una dominancia baja, (índice Simpson) y los dos monitoreos los tres sitios de muestreo presentan una riqueza “baja” (índice de Margalef). Para la diversidad beta en el primer monitoreo los sitios de muestreo 12A2 y 12A3 presentan una similitud de 61.54% y 44.44% según Sorensen y Jaccard respectivamente, mientras que, en el segundo monitoreo los sitios de muestreo 12A1 y 12A3 presentan una similitud de 87.50% (Sorensen) y 77.78% (Jaccard).

De los índices calculados para determinar la calidad del agua según el índice BMWP/Col el primer (12A1, 12A2 y 12A3) y segundo monitoreo (12A1 y 12A3) presenta una calidad de agua “crítica”, Para el índice ASPT en el primer (12A1 y 12A2) y segundo monitoreo (12A3) se determinó una calidad de agua “crítica” lo que significa que son “aguas muy contaminadas”. En cuanto al índice ABI en el primer (12A1 y 12A2) y segundo monitoreo (12A1, 12A2 y 12A3), se refleja una calidad de agua “mala”, lo que significa que son “aguas muy contaminadas-críticas”. Por otro lado, según el índice ETP, con valores de 0% (dos monitoreos) los tres sitios de muestreos,

presentan una calidad de agua “mala”, debido a la ausencia de las familias de los tres órdenes de EPT.

Se establecieron tres proyectos 1) Educación ambiental para la población y turistas que actúan de forma directa sobre las presiones a la laguna Patococha con 1 año de duración, 2) Control y monitoreo de la laguna Patococha y 3) Sistema de manejo de desechos y mantenimiento de la laguna y sus alrededores con 1 año de duración. Estos proyectos requieren de un costo total de \$111900.00 y un tiempo de 2 años para su implementación, cuya eficacia se verá estrechamente relacionada con la integración holística y participativa de los actores directos e indirectos, que promuevan la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales desde un punto de vista más sostenible.

RECOMENDACIONES

Considerando la importancia de la preservación de los cuerpos de agua altoandinos, es indispensable fomentar más estudios debido a la escasez de información, para eso se recomienda seguir con los monitoreos, para obtener más información en cuanto a los datos analizados y a su vez permitir una evaluación más precisa de la calidad del agua y los factores que inciden en su cambio.

De acuerdo con los parámetros establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, se recomienda revisar y actualizar regularmente estos valores, debido a que su permisibilidad es alta, con el fin de garantizar la protección del medio ambiente y la salud humana y animal.

Se recomienda implementar más sitios de muestreo en la laguna Patococha con el objetivo de obtener información para los distintos análisis que se pueden realizar con el fin de proporcionar una visión más completa de la calidad del agua a lo largo del tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACOSTA, T.** El sistema lacustre del parque Nacional Llanganates y su importancia como atractivo natural turístico en la Provincia de Tungurahua durante el período enero- julio 2009 [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2013. pp.1-39. Disponible en: <http://redi.uta.edu.ec/handle/123456789/4483>.
2. **AGUIRRE, J.** Propuesta de diseño de rutas turísticas acuáticas o marino-fluviales en la Reserva de Producción Faunística Manglares El Salado [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2015. pp. 1-244. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/30303/D101035.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. **AGUIRRE, Z.** Sistema nacional de áreas protegidas del Ecuador [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. 2014. pp.1-62. Disponible en: <https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/snap-del-ecuador-2014-za.pdf>
4. **ALBÁN, R. & GUALLICHICO, E.** Evaluación y variabilidad de grupos taxómicos a nivel familiar en las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca del Río Guayllabamba [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2019. pp. 1-161. Disponible en: <file:///C:/Users/Profesional%20FC/Documents/CD%2010205.pdf>
5. **ALCALDE, S.** Diversidad de macroinvertebrados acuáticos indicadores de calidad de agua y su relación con los parámetros físicos y químicos en las Lagunas "El Toro" y "Los Ángeles" de la Provincia de Santiago de Chuco, La Libertad, enero - agosto 2014 [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. 2015. pp. 1-59. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14414/10950>
6. **ALONSO, L. & POVEDA, J.** Estudio comparativo en técnicas de recuento rápido en el mercado y placas petrifilm TM 3M TM para el análisis de alimentos. [en línea] (Trabajo de titulación). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. 2008. pp. 4-213. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8238/tesis230.pdf?sequence>.

7. **ANCALLE, C. & LEDESMA, W.** Caracterización de las aguas residuales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yauli - Huancavelica. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú. 2020 pp. 16-143. Disponible en: <https://repositorio.unh.edu.pe/items/f6029b85-d92b-4a6a-bcbc-eea124aea4c9>.
8. **ANDINO, P. et al.** Cartilla de identificación de macroinvertebrados acuáticos: Guía para el monitoreo participativo. [en línea], 2017, p.1-43. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/342248615>.
9. **ANGARITA, H. et al.** Modificación del hábitat para los peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia. [en línea], 2021, pp. 5-432. ISBN 9789585183032. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/351253575>
10. **ARAMAYO, V. et al.** Respuestas del bentos marino frente a el Niño costero 2017 en la plataforma continental de Perú central (Callao, 12°S). *Boletín Instituto del Mar del Perú* [en línea], 2022, 36(2), pp. 477-478. ISSN 0458-7766. Disponible en: <https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.349>
11. **ARANA, L.** Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa como socioecosistema desde una metodología socioecológica. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas* [en línea], 2022, 25(49), pp. 313-319. ISSN 1561-0888. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/21446/18269>
12. **ARÉVALO, E. et al.** Aproximación a la presencia de SPD y microorganismos en agua embotellada. *Tecnología y Ciencias del Agua* [en línea], 2014, 2, pp. 5-18. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n2/v5n2a1.pdf>
13. **ARGUELLO, C. et al.** Estrategias para la conservación de áreas protegidas Metodología Marisco. [en línea], 2022, 7(2), p. 1976. Disponible en: <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>.

14. **ARIAS, C. & HINOJOSA, M.** Diseño de un modelo de gestión ambiental basado en la teoría ecológica de los sistemas de Bronfenbrenner para la conservación del recurso hídrico del bosque protector Umbría en la Parroquia Aloasí [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2021. p.38. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19932/1/UPS%20-%20TTS306.pdf>
15. **ARIAS, J. et al.** Distribución espacial y aspectos ecológicos de *Neostrengeria macropa* (Decapoda: Pseudothelphusidae) en la sabana de Bogotá, Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad* [en línea], 2021, 92 (2021), p.2. ISSN 20078706. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v92/2007-8706-rmbiodiv-92-e923438.pdf>
16. **AROCENA, R. et al.** La autodepuración en arroyos de planicie puede interrumpirse por el ingreso de desechos vitivinícolas según el biomonitoreo con macroinvertebrados. *Hidrobiológica* [en línea], 2016, 26(3), p. 384. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v26n3/0188-8897-hbio-26-03-00383.pdf>
17. **BADII, M. et al.** Patrones de asociación de especies y sustentabilidad. *International Journal of Good Conscience* [en línea], 2008, 3(1), p.635. ISSN 1870-557X. Disponible en: <http://www.spentamexico.org/v3-n1/3%281%29%20632-660.pdf>
18. **BAQUE, R. et al.** Calidad de agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI* [en línea], 2016, 9(20), pp. 112-113. ISSN 2528-7737. Disponible en: <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/357/309>
19. **BARRASA, S.** De montaña, milpa y cañaveral. Transformaciones percibidas de los paisajes en la costa de Chiapas. *Investigaciones Geográficas* [en línea], 2017, (México) pp. 96-97. ISSN 0188-4611. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n93/2448-7279-igeo-93-00007.pdf>
20. **BARRETO, S. et al.** Dinámica espacio temporal de ocurrencia de incendios en zonas con diferentes tipos de manejo en el noroeste de la Amazonia: ¿Barrera efectiva?. *Facultad De Ciencias Basicas* [en línea], 2017, 13(1), p. 21. ISSN 1900-4699. Disponible en: <http://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb%0AVol>

21. **BASANTES, C.** Propuesta de un modelo de gestión aplicando los lineamientos del PMI (Project Management Institute) en proyectos de turismo comunitario dentro de la reserva de producción faunística Chimborazo, 2018. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. 2018. p. 18. Disponible en: <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/23098/1/Basantes%20Carrillo%2c%20Cristina%20Alexandra.pdf>
22. **BASELGA, A. & GÓMEZ, C.** Diversidad alfa, beta y gamma: ¿cómo medimos diferencias entre comunidades biológicas?. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)* [en línea], 2019, 26, p. 40. ISSN 2340-0021. Disponible en: <file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/6413-Texto%20del%20art%20C3%ADculo-32993-1-10-20191206.pdf>
23. **BAUTISTA, J. & RUIZ, J.** Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. *Fuente* [en línea], 2011, 3(8), p. 12. ISSN 2007 - 0713. Disponible en: <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/2.pdf>
24. **BAZÁN, D.** Determinación de la calidad del agua de los humedales de Eten utilizando macroinvertebrados odonata, coleóptera, díptera y hemíptera durante septiembre 2019 – abril 2020 [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Lambayeque, Chiclayo, Perú. 2020. p. 10. Disponible en: https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/339/1/Tesis_Guarniz_y_Meoño.pdf.
25. **BERNATH, M. et al.** Diversity and community structure of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera in Kolli hills of the Eastern Ghats, India. *Association for Advancement of Entomology* [en línea], 2022, 47(4), pp. 457-458. ISSN 03779335. Disponible en: <https://www.entomon.in/index.php/Entomon/article/view/802/404>
26. **BETANZOS, R..** Distribución y abundancia de microorganismos marinos en el Golfo de México, identificados mediante citometría de flujo. [en línea] (Maestría) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. 2019. p. 16. Disponible en: https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2509/1/tesis_Arce_Valdés_Luis_Rodrigo_05_oct_2018.pdf.
27. **BOLAÑOS, J. et al.** 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* [en línea], 2017, 30(4), p. 17. ISSN 0379-3982. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>

28. **BONILLA, C.** Diagnóstico, planeación y diseño de un sistema de gestión de calidad bajo la NTC–ISO/IEC 17025 para los parámetros fisicoquímicos de turbidez, cloro residual, alcalinidad y dureza en el laboratorio de control de calidad del agua potable de Empoobando E.S.P. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Nariño. 2015. p. 27. Disponible en: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf%0Ahttps://hdl.handle.net/20.500.12380/245180%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12>.
29. **BONILLA, E.** Efectos contaminantes del uso y manejo de agroquímicos en la calidad del agua del Estero Marañón del Cantón Pueblo Viejo. Plan de manejo ambiental. Año 2012. [en línea], (Maestría) Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador. 2013. pp. 49-50. Disponible en: <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/1699>.
30. **BUENO, G. & BIS, L.** Pertencimento, identidades, patrimônio natural e conservação da paisagem: o caso do monumento natural de Serra das Torres, Espírito Santo/Brasil. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales* [en línea] 2023, 16(9), p. 17617 ISSN 1988-7833. Disponible en: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/1615/1508>
31. **CABELLO, J.** Análisis de la proliferación de microorganismos y posibles tratamientos antimicrobianos naturales o alternativos en aislamientos de origen vegetal [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica de Catalunya. 2015. p. 7. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/77888>.
32. **CABRAL, J. et al.** El salmón como conexión entre ecosistemas acuáticos y terrestres: un estudio analítico. *Contribuciones a las Ciencias Sociales* [en línea], 2023, 16(7), pp. 5479-5484. ISSN 1988-7833. Disponible en: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/1153/708>
33. **CABRAL, V. et al.** La Reserva de Biosfera Parque Atlántico Mar Chiquito: diagnóstico socioambiental desde la opinión de la comunidad local. *Estudios Socioterritoriales* [en línea], 2022, pp. 2-4. ISSN 1853-4392. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/207472/CONICET_Digital_Nro.98be6c13-d5e9-41e8-997d-38e2ca66dc30_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y

34. **CAIZA, B.** Factibilidad de aprovechamiento de la fuente de agua del río Pachijal para el abastecimiento de agua potable en la parroquia de Nanegalito-Choco Andino [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional. 2023. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23807/1/CD%2013098.pdf>
35. **CALDERÓN, C. & ORELLANA, V.** Control de la calidad del agua potable que se distribuye en los campus: central, hospitalidad, Balzay, Paraíso, Yanuncay y las granjas de Irquis y Romeral pertenecientes a la Universidad de Cuenca [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. 2015. p. 57. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22285/1/Tesis.pdf>
36. **CALDERÓN, L. & CORREA, K.** Las larvas del género *Atopsyche* (Trichoptera, Insecta) de la colección de insectos acuáticos CIA en la Universidad Pedagógica Nacional: Aspectos taxonómicos y su relación con factores ecológicos [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia. 2020. pp. 24-25. Disponible en: <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/12234/Las%20larvas%20del%20g%C3%A9nero%20Atopsyche%20%28Trichoptera%2C%20Insecta%29%20de%20la%20Colecci%C3%B3n%20de%20Insectos%20Acu%C3%A1ticos%20CIA%20en%20la%20Universidad%20Pedag%C3%B3gica%20Nacional.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
37. **CALDERÓN, N.** “Determinación de los parámetros físico químicos del agua de mar (oxígeno, salinidad, pH, temperatura) a nivel superficial en el muelle fiscal de la Bahía de Ilo.” [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Mosquegua, Ilo, Perú. 2022. p. 32. Disponible en: [file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/D095_46583678_EP%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/D095_46583678_EP%20(1).pdf)
38. **CALUÑA, A. & JARAMILLO, J.** Evaluación de la calidad del agua del proyecto piscícola granja Río Shitik, mediante la identificación de macroinvertebrados acuáticos, para proponer un plan de manejo ambiental. Período enero a junio 2018 [en línea] (Trabajo de titulación). Instituto Tecnológico Superior Tena, Tena, Ecuador. 2018. p. 120. Disponible en: <http://repositoriodigital.itstena.edu.ec:8080/jspui/bitstream/123456789/241/1/Trabajo%20de%20Integraci%C3%B3n%20Curricular.pdf>
39. **CAMPAÑA, A. et al.** Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito metropolitano de Quito. *Bionatura* [en línea], 2017, 2(2), p. 306. ISSN 13909347. Disponible en: https://revistabionatura.com/files/2017_m3h9s64f.02.02.6.pdf

40. **CAMPO, A. & DUVAL, V.** Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihúé Calel (Argentina). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* [en línea], 2014, 34(2), p. 32. ISSN 19882378. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/38823693.pdf>
41. **CANALES, H. et al.** Macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, Callao. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas* [en línea], 2022, 25(49), p. 296. ISSN 1561-0888. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/23013/18267>
42. **CAO, J. et al.** Two Complete Mitochondrial Genomes From Leuctridae (Plecoptera: Nemouroidea): Implications for the Phylogenetic Relationships Among Stoneflies. *Journal of Insect Science* [en línea], 2021, 21(1), pp. 1-2. ISSN 15362442. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/349377267_Two_Complete_Mitochondrial_Genomes_From_Leuctridae_Plecoptera_Nemouroidea_Implications_for_the_Phylogenetic_Relationships_Among_Stoneflies#full-text
43. **CARDENAS, J.** Evaluación del efluente líquido de las actividades de la empresa minera Alma Minerals Perú S.A en el río Ranyac distrito de Huachon – provincia y región Pasco 2018 ” [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú. 2018. pp. 20-21. Disponible en: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/541/1/T026_70871647_T.pdf
44. **CARPIO, E.** Modelamiento de Relaciones entre Parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos en Aguas de la Bahía Interior del Lago Titicaca-Puno (Perú) mediante Árboles de Predicción. *Revista Técnica De La Facultad De Ingeniería Universidad Del Zulia* [en línea], 2021, 44(3), p. 155. ISSN 02540770. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/36396/39017>
45. **CARRERA, C. & FIERRO, K.** Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. *EcoCiencia* [en línea], 2018, p. 42. ISBN 0275-5408. Disponible en: <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56374.pdf>.

46. **CHANAMÉ, F. et al.** Efecto de la crianza intensiva de truchas sobre la calidad del agua del río Chía en el distrito de Ingenio, Junín - Perú. *Prospectiva Universitaria* [en línea], 2016, 12(1), p. 68. ISSN 1990-7044. Disponible en: <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/457/541>
47. **CHÁVEZ, E. et al.** Determinación de la calidad del agua de consumo humano mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la ciudad de Huancavelica. *Revista Científica Siglo XXI* [en línea], 2022, 2(2), pp. 16-17. ISSN 2709-2615. Disponible en: <file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/191-Texto%20del%20art%C3%ADculo-485-1-10-20230104.pdf>
48. **COFRÉ, H. & ATALA, C.** ¿Qué es la Biodiversidad?: Patrones, teorías y amenazas. *Revista de Innovación en Enseñanza de las Ciencias* [en línea], 2019, 3(1), p. 104. ISSN 0719-9007. Disponible en: <https://reinnec.cl/index.php/reinnec/article/view/58/42>
49. **CONDORI, A. & TORRE, G.** Biodegradación de la materia orgánica y producción de Bioelectricidad en Celdas de Combustible Microbiano (CCM) a partir del agua residual doméstica – Lima [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Peruana Unión, Lima, Perú. 2019. p. 38. Disponible en: <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/1655>
50. **CÓRDOBA, G. et al.** Variación espacio-temporal de macroinvertebrados acuáticos en la Lindosa, Guayana colombiana. *Revista de Biología Tropical* [en línea], 2020, 6(2), p. 456. ISSN 0034-7744. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v68n2/0034-7744-rbt-68-02-452.pdf>
51. **COSTA, C.** Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad del agua de efluentes del Río Chillón durante los meses de enero a junio del 2019. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. 2021. p.37. Disponible en: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/1040>.
52. **CURTEAN, A. et al.** The benthic trophic corner stone compartment in pops transfer from abiotic environment to higher trophic levels—trichoptera and ephemeroptera pre-alert indicator role. *Water (Switzerland)* [en línea], 2021, 13, pp. 2-3. ISSN 20734441. Disponible en: <file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/water-13-01778-v2.pdf>

53. **DÁVALOS, J.** Convemar y la Reserva Marina de Galápagos. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa* [en línea], 2019, 4(2), pp. 88-90. Disponible en: [file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/wfuertes,+RCSD-V4N2-ART09%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/wfuertes,+RCSD-V4N2-ART09%20(1).pdf)
54. **DELGADO, J. et al.** Evaluación del agua potable distribuida desde los puntos de bombeo de la zona Central de Manabí. *Revista Espamciencia* [en línea], 2023, 14(2), p. 127. ISSN:1390-8103. Disponible en: https://revistasepam.espam.edu.ec/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/449/415
55. **DÍAZ, G.** Patrones de distribución de moluscos gasterópodos en sustratos duros intermareales naturales y artificiales en la ría de Ferrol, Galicia. [en línea] (Tesis doctoral). Universidad de Santiago de Compostela. 2015. p. 149. Disponible en: <https://minerva.usc.es/xmlui/handle/10347/13764%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=137018>.
56. **DÍAZ, L. et al.** Salud ambiental del río Ranchería a través de macroinvertebrados acuáticos en el área de influencia del complejo carbonífero El Cerrejón. *Tecnura* [en línea], 2020, 24(65), pp. 50-51. ISSN 0123-921X. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/15773/16187>
57. **ENDARA, I.** Consultoría Actualización del Plan de Manejo de la Reserva Marina Galera San Francisco. *Conservación Internacional Ecuador* [en línea], 2019, p. 3. Disponible en: https://www.proyectomarinocostero.com.ec/wpcontent/uploads/2020/03/PM_RMGSF_09.12.19.pdf.
58. **ERAZO, D.** Buenas prácticas ambientales como factor incidente en la dinamización turística sostenible en la comunidad Llangahua, Parroquia Pilahuín, Cantón Ambato, Provincia Tungurahua [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2016. p. 12. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/1264>
59. **ERREJÓN, J. et al.** Conectividad de los ecosistemas entre las reservas de la biosfera “El Cielo” y “Sierra del Abra Tanchipa” en México. *Investigaciones Geograficas* [en línea], 2018, pp. 182-186. ISSN 19899890. Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/85122/1/Investigaciones_Geograficas_70_09.pdf

60. **ESTRADA, A.** Diagnóstico de la biodiversidad de los macroinvertebrados en cuatro sistemas lénticos de Zamorano [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. 2013. pp 1-2. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b40068ff-aa54-4e3c-9205-9b52b7178c5b/content>
61. **ESTRADA, J.** Variación espacio-temporal del oxígeno disuelto en la microcuenca del río Cutuchi utilizando técnicas de interpolación geoestadístico [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica De Cotopaxi, Latacunga, Ecuador. 2018. p. 26. Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8444/1/PC-000479.pdf>
62. **FERNÁNDEZ, A.** El agua: un recurso esencial. *Revista QuímicaViva* [en línea], 2012, 11 (3), p. 151. ISSN 0103-5576. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
63. **FERNÁNDEZ, M.** Estado ecológico de sistemas lénticos rurales del sudeste bonaerense y efectos letales y subletales de plaguicidas sobre la especie no blanco Chilina parchappii [en línea] (Tesis doctoral). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. 2023. pp. 17-59. Disponible en: <file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/Tesis%20Doctoral%20Rocio%20FSJ.pdf>
64. **FLOR, N. et al.** Valoración de lagos y lagunas de la cuenca del Duero a partir de los macrófitos acuáticos. *Limnetica* [en línea], 2013, 32(2), p. 374. ISSN: 0213-8409. Disponible en: <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-32-2-p-373.pdf>
65. **FORERO, A. et al.** Evaluación de la calidad del agua del río Opia (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldasia* [en línea], 2013, 35, (2), p. 374. ISSN 03665232. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v35n2/v35n2a12.pdf>
66. **FORERO, J.** Macroinvertebrados bentónicos y su relación con la calidad del agua en la cuenca alta del Río Frío (Tabio, Cundinamarca) [en línea] (Trabajo de titulación). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. 2017. p. 38. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/34419/ForeroDuarteJulian2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

67. **GALLARDO, O. et al.** Educación ambiental transformadora: Estudio comparado entre Brasil y Cuba. *Revista Pedagógica* [en línea], 2019, 21, p. 502. Disponible en: <file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/Dialnet-EducacionAmbientalTransformadora-8102428.pdf>
68. **GALLEGOS, A.** Dimensionamiento de un sistema de tratamiento aerobio de aguas contaminadas domésticas [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2013. p. 203. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6543/1/CD-5006.pdf>
69. **GALVÁN, L. & GUTIÉRREZ, J.** Los mapas conceptuales como instrumento de evaluación: Una experiencia de educación ambiental centrada en el estudio de ecosistemas acuáticos. *Actualidades Investigativas en Educación* [en línea], 2018, 18(1), p. 1. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/aie/v18n1/1409-4703-aie-18-01-442.pdf>
70. **GAMBOA, M. et al.** Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental* [en línea], 2008, 48(2), p. 109. ISSN 1690-4648. Disponible en: [file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/Macroinvertebrados_bentonicos_como_bioindicadores_%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/Macroinvertebrados_bentonicos_como_bioindicadores_%20(1).pdf)
71. **GARCIA, A. & LEAL, Y.** Análisis a la protección del Estado a los ecosistemas de páramo. *Justicia* [en línea], 2019, 24(35), pp. 168-170. ISSN 0124-7441. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/just/n35/0124-7441-just-35-00196.pdf>
72. **GARCÍA, J. et al.** Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ingeniería del agua* [en línea], 2021, 25(2), p. 116. ISSN 1134-2196. Disponible en: <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/13921/13774>
73. **GAYTAN, B.** Evaluación de perifiton y macroinvertebrados bentónicos como bioindicador de calidad del agua superficial de la subcuenca Carash, Áncash 2019 [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad César Vallejo, Lima, Perú. 2020. p. 25. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50737/Cusma_GMSD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

74. **GIL, J. et al.** Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *Anales Científicos* [en línea], 2018, 79(1), p. 112. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6480001>.
75. **GONZÁLEZ, Á. & GIL, L.** Composición de macroinvertebrados en las provincias de Márquez y Lengupá y posible efecto de la orogénesis en su distribución. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* [en línea], 2020, 44(171), p. 573 ISSN 23824980. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v44n171/0370-3908-racefn-44-171-572.pdf>
76. **GUERRA, J. & MEJÍA, D.** Análisis de la variabilidad de la calidad del agua en las lagunas de Colta y Magtayán [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2023. p. 28. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/11059/1/Mejia%20V.%20Dennys%20G.%20Guerra%20O.%20Jhoana%20L.%202023%29%20Análisis%20de%20la%20Variabilidad%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20de%20las%20lagunas%20Colta%20y%20Magtay%20c3%a1n%202023%29.pdf>
77. **HANSON, P. et al.** Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical* [en línea], 2010, 58, p. 3. ISSN-0034-7744. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v58s4/a01v58s4.pdf>
78. **HARO, S. & PERALES, J.** Cinética de consumo de nutrientes y crecimiento de un bloom de microalgas en un fotobiorreactor High Rate Algae Pond (HRAP). *Tecnología y Ciencias del Agua* [en línea], 2015, 6(3), p. 18. ISSN 20072422. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v6n3/v6n3a2.pdf>
79. **HERNÁNDEZ, A.** Evaluación del estado ecológico del río Buñol a través del estudio de macroinvertebrados acuáticos. *Comunicaciones: Área Medioambiental* [en línea], 2017, p. 81. Disponible en: [file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/390807-Text%20de%20'article-566016-1-10-20210728%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/390807-Text%20de%20'article-566016-1-10-20210728%20(1).pdf)
80. **HERRERA, Y. et al.** Distribución vertical de la diversidad beta de macroinvertebrados en un lago oligotrófico de alta montaña neotropical. *Acta Biológica Colombiana* [en línea], 2023, 28(2), pp. 283-284. Disponible en: file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/DISTRIBUCION_VERTICAL_DE_LA_DIVERSIDAD_BETA_DE_MAC.pdf

81. **HUANG, L. et al.** A holistic view of aquatic ecosystems: Integrating health and integrity, network, stability, and regime shift assessments. *International Journal of Sediment Research* [en línea], 2023, 39(1), pp. 2-3. ISSN 10016279. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2023.12.006>.
82. **JARAMILLO, A. & VILLAMAR, J.** “Evaluación de la calidad del agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos, como bioindicadores, en la quebrada Mendieta de la microcuenca Zamora Huayco del Cantón y Provincia de Loja durante el año 2021-2022” [en línea] (Trabajo de titulación). Instituto Superior Tecnológico Sudamericano, Loja, Ecuador. 2022. p. 36. Disponible en: http://dspace.tecnologicosudamericano.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/477/1/ANDERSON%20JARAMILLO%20JEFFERSON%20VILLAMAR_compressed.pdf
83. **LA MATTA, F.** Influencia del drenaje ácido de roca en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, índices bióticos de calidad de agua y grupos funcionales alimenticios en ríos y cabeceras de la cordillera blanca (subcuenca de Quillcay, Ancash)” [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú. 2020. p 56. Disponible en: https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/8533/Influencia_LaMattaRomero_Fiorella.pdf?sequence=1&isAllowed=y
84. **LADRERA, R. et al.** Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Revista de Didáctica 11* [en línea], 2013, p. 5. ISSN 1988-5911. Disponible en: http://www.ehu.es/ikastorratza/11_alea/macro.pdf.
85. **LAGO, L. et al.** Floraciones de cianobacterias y valores de microcistina-Lr sestónica y disuelta en embalses de la cuenca hidrográfica del Miño-Sil (Nw-España). *Sociedad de Ciencias de Galicia* [en línea], 2016, p. 115. Disponible en: <https://mol.scg.org.es/wp-content/uploads/2019/01/MOL-16.pdf>
86. **LANZA, G. & GUTIÉRREZ, F.** Intervalos de parámetros no-conservativos en sistemas acuáticos costeros de México. *Hidrobiologica* [en línea], 2017, 27(3), p. 370. ISSN 24487333. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v27n3/0188-8897-hbio-27-03-369.pdf>
87. **LAZO, C. et al.** Análisis crítico del uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua en el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y medioambiente* [en línea], 2022, pp. 145-146. ISSN 2523-2894. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/kaw/n9/2709-3689-kaw-09-140.pdf>

88. **LEAÑO, J. & PÉREZ, D.** Determinación de la Calidad del Agua mediante el índice BMWP/BOL (bioindicadores ecológicos) del Río Trancas, Municipio de Entre Ríos-Tarija. *Acta nova* [en línea], 2020, 9(4), p. 570. ISSN 1683-0768. Disponible en: [file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/Determinacion de la Calidad del Agua mediante el i.pdf](file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/Determinacion%20de%20la%20Calidad%20del%20Agua%20mediante%20el%20i.pdf)
89. **LIMA, M. et al.** Registro de oligochaeta (annelida: clitelata) na reserva biológica de pindorama - sp, Brasil. *Revista Brasileira Multidisciplinar* [en línea], 2022, 25(3), p. 31. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v9n4/v9n4_a07.pdf
90. **LOAYZA, T.** Estudio base para el monitoreo ecológico de especies conspicuas de aves y mamíferos en la Estación Biológica Sirena, Parque Nacional Corcovado, Puntarenas, Costa Rica [en línea] (Trabajo de titulación). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2013. p. 1. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/7107/estudio_base_monitoreo_ecologico_especies.pdf?sequence=1&isAllowed=y
91. **LÓPEZ, C. & ZURITA, A.** Evaluación fisicoquímica y microbiológica del Hongo Ostra gris (*Pleurotus ostreatus*) cultivado en la provincia de Pichincha (Tumbaco)- Ecuador. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2020. pp. 41-42. Disponible en: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/51067/1/BCIEQ-T-0568 López Ramírez Cristina Isabel%3B Zurita Sánchez Ana Cristina.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/51067/1/BCIEQ-T-0568_López_Ramírez_Cristina_Isabel%3B_Zurita_Sánchez_Ana_Cristina.pdf).
92. **LUCIANI, J.** Determinación de la relación entre las propiedades fisicoquímicas del agua y macroinvertebrados acuáticos - Santa Carmen [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. 2022. p. 35. Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1507>.
93. **LUNA, J. et al.** Evaluación analítica para la determinación de demanda química de oxígeno en aguas por refluo cerrado y colorimetría. *Quimica Hoy* [en línea], 2014, 4(2), p. 16. Disponible en: <https://quimicahoy.uanl.mx/index.php/r/article/view/44/30>
94. **MACHADO, V. et al.** Análisis de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos para evaluar la calidad del agua del Río Sardinas, Chocó Andino Ecuatoriano. *Enfoque UTE* [en línea], 2018, 9(4), p. 157. ISSN 1390-9363. Disponible en: <file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/Anlisisdemacroinvertebrados.Chocandino.pdf>

95. **MÁRQUEZ, H. et al.** Análisis de tendencia de parámetros indicadores de la calidad del agua en un embalse tropical. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* [en línea], 2023, 10(2), p. 5. ISSN 2007-9028. Disponible en: <file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/3562.pdf>
96. **MELLENDEZ, G.** Validación parcial de la metodología demanda química de oxígeno (DQO) a rango bajo en aguas residuales por método colorimétrico, en el Laboratorio de Corponariño [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Nariño. 2012. p. 22. Disponible en: <https://sired.udenar.edu.co/3306/1/85572.pdf>
97. **MÉNDEZ, P. et al.** Diversidad espacio-temporal de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua del Río Yuquipa. *Perfiles* [en línea], 2021, 1(25), p. 4. ISSN 2477-9105. Disponible en: http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14596/1/pern25_v1_01.pdf
98. **MENESES, Y. et al.** Comparación de la calidad del agua en dos ríos Altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/COL. y ABI. *Acta Biologica Colombiana* [en línea], 2019, 24(2), p. 300. ISSN 19001649. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3190/319060771010/html>
99. **MOLOCHO, F.** Determinación de la calidad del agua de la quebrada Shitariyacu mediante el uso de macro invertebrados bentónicos como bioindicadores en el distrito de Zapatero - San Martín 2017. [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Peruana Unión. 2019. p. 31. Disponible en: <papers2://publication/uuid/45D7E632-B571-4218-9E47-8B4457FEA9D3>.
100. **MORENO, L. & ALZATE, I.** Evaluación de la calidad del agua del río Chisacá en la localidad de Usme mediante macroinvertebrados acuáticos empleando el índice BMWP/COL y el índice ASPT [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. 2021. pp. 27-28. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/29237/MorenoGutierrezLeidyNatalia2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
101. **MORETA, J.** La eutrofización de los lagos y sus consecuencias. Ibarra 2008[en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. 2008. p. 17. Disponible en: http://www.academia.edu/1439928/La_eutrofización_de_los_lagos_y_sus_consecuencias._Ibarra_2008.

102. **NOGUERA, N. & TAPIA, P.** Comportamiento de humedales artificiales verticales en Cuenca- Ecuador en términos de oxígeno disuelto y pH [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. 2022. p. 19. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11931/1/17458.pdf>
103. **OSEJOS, M. et al.** Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua de la parte céntrica del río Jipijapa - Ecuador. *Recimundo* [en línea], 2020, 4(4), p. 456. ISSN: 2588-073X. Disponible en: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/962/1539>
104. **PÁRAMO, L. et al.** Herramientas moleculares para estudiar las aguas de consumo humano del cacao, Mozonte, Nueva Segovia, Nicaragua. *Nexo Revista Científica* [en línea], 2018, 31(1), p. e. ISSN 1818-6742. Disponible en: <https://camjol.info/index.php/NEXO/article/view/6450/6197>
105. **PEÑAFIEL, M. et al.** Evaluación de la calidad físico-químico en agua y sedimentos del estero salado en el noroeste de América Latina. *Polo del Conocimiento* [en línea], 2017, 2(6), p. 642. ISSN: 2550 - 682X. Disponible en: [file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/151-370-2-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/151-370-2-PB%20(1).pdf)
106. **QUINTERO, K. et al.** Evaluación de la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial, acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. *Ingeniería y Región* [en línea], 2021, 25, p. 82. ISSN 1657-6985. Disponible en: [file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/DialnnetEvaluacionDeLaRemocionDeNitrogenoYMateriaOrganicaA-8159803%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/DialnnetEvaluacionDeLaRemocionDeNitrogenoYMateriaOrganicaA-8159803%20(1).pdf)
207. **RINCÓN, M. et al.** Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de calidad de agua en el río Chicú, Cundinamarca, Colombia. *Hidrobiológica* [en línea], 2021, 31(1), p. 18. ISSN 24487333. Disponible en: <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/1359/1108>
108. **RÍOS-TOUMA, B. et al.** The Andean biotic index (ABI): Revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical* [en línea], 2014, 62, pp. 251-253. ISSN 22152075. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v62s2/a17v62s2.pdf>

109. **ROJAS, J.** Diversidad de insectos acuáticos (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera y Odonata) asociados a parámetros fisicoquímicos como evaluación de la calidad del agua del Municipio de Bochalema, norte de Santander, Colombia [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Pamplona. 2017. p. 22. Disponible en: http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/699/1/Rojas_2017_TG.pdf
110. **ROJAS, L. et al.** Distribución espacial y temporal de dípteros acuáticos (Insecta: Diptera) en la cuenca del río Alvarado, Tolima, Colombia. *Biota Colombiana* [en línea], 2018, 19(1), p. 19. ISSN 01245376. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/biota/v19n1/0124-5376-biota-19-01-00070.pdf>
111. **ROLDÁN, G.** 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* [en línea], 2016, 40(155), p. 254. ISSN 2382-4980. Disponible en: <https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/335/208>
112. **RUA, G.** Distribución y composición de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera en cuatro ríos de la sierra nevada de Santa Marta, Colombia [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad del Magdalena. 2012. p. 15. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/196255896.pdf>.
113. **RUIZ, A. et al.** Contribución al conocimiento de la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos del parque natural Los Alcornocales : frigáneas (Insecta , Trichoptera). *Revista de la Sociedad Gaditana de Historia Natural* [en línea], 2003, pp. 146-147. Disponible en: <https://sociedadgaditanahistorianatural.com/wp-content/uploads/2012/02/145-Ruiz-SGHN-Rev-Vol3.pdf>
114. **RUIZ, R. et al.** Ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos relacionados con diversos usos del suelo en los ríos Apatlaco y Chalma-Tembembe (cuenca del Río Balsas), México. *Hidrobiologica* [en línea], 2016, 26(3), p. 444. ISSN 01888897. Disponible en: <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/1166/733>
115. **SAENZ, A.** El Éxito de la gestión de proyectos. Un nuevo enfoque entre lo tradicional y lo dinámico. [en línea] (Tesis Doctoral). 2012. p. 1. Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/117483>.

116. **SIERPE, C. & SUNICO, A.** Familia Chironomidae (Orden Díptera) utilizada como bioindicador para la determinación de calidad ambiental de la cuenca del Río Gallegos (Santa Cruz, Argentina). *Informes Científicos Técnicos - UNPA* [en línea], 2019, 11(2), p. 93. ISSN 1852-4516. Disponible en: <https://publicaciones.unpa.edu.ar/index.php/ICTUNPA/article/view/606/585>
117. **TERNEUS, E. et al.** Evaluación ecológica del río Lliquino a través de macroinvertebrados acuáticos, Pastaza – Ecuador. *Revista de Ciencias* [en línea], 2012, 16, p. 39. ISSN 0121-1935. Disponible en: [file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/Evaluacion_Ecologica_del_Rio_liquino a Traves de .pdf](file:///C:/Users/Profesional%20FC/Downloads/Evaluacion_Ecologica_del_Rio_liquino_a_Traves_de_.pdf)
118. **URETA, J. et al.** The value of improving freshwater ecosystem services: South Carolina residents' willingness to pay for improved water quality. *Journal of environmental management* [en línea], 2024, 353, p. 2. ISSN 10958630. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120260>.
119. **VARGAS, M. et al.** Efecto del cambio climático en la calidad del agua de dos microcuencas en Costa Rica, aplicando el modelo Qual2kw. *Environment & Technology* [en línea], 2022, 3(2), p. 30. ISSN: 2711-4422. Disponible en: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/index.php/envitech/article/view/112/69>
120. **VERGARA, C. et al.** Calidad del agua de una playa del Pacífico de Panamá: condiciones fisicoquímicas y bacterias fecales. *I+D Tecnológico* [en línea], 2023, 19(2), p. 95. ISSN 1680-8894. Disponible en: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/3826/4384>
121. **VILLEGAS, J.** Calidad física y química de cuerpos de agua ribereños en la zona costera de Bahía Ballena y Puerto Cortés, Costa Rica. *UNED Research Journal* [en línea], 2019, 11(2), pp. 173-174. ISSN 1659-4266. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v11n2/1659-4266-cinn-11-02-173.pdf>
122. **YAYDER, A.** Eficiencia de la electrocoagulación a nivel de laboratorio para tratamiento del agua residual del Matadero Municipal de Tingo María [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú. 2019. p. 33. Disponible en: <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1473>.

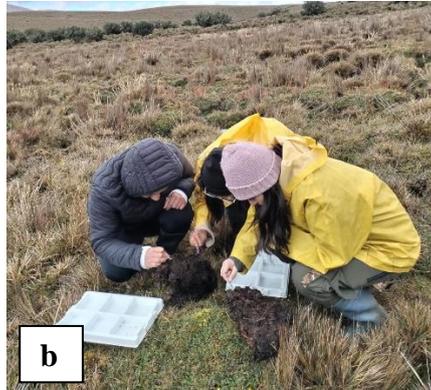
123. **YEROVI, A.** Análisis comparativo de la calidad de agua usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en dos bofedales en la comunidad Pucará, Parroquia Pilahuín, dentro de la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. p. 2. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10752/1/33T0217.pdf>

124. **ZAMBIASIO, V. et al.** Las Podostemaceae como hábitat para los macroinvertebrados en arroyos de Misiones (Argentina). *Iheringia - Serie Zoología* [en línea], 2019, 109, pp. 1-2. ISSN 00734721. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/isz/a/pzvmzKz5Kn95dzyMFCJpLyw/?format=pdf&lang=es>

125. **ZURITA, E.** Aplicación combinada del método BMWP –ABI – ICA para la evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Atapo-Pomachaca parroquia Palmira [en línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. p. 8. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6259>.

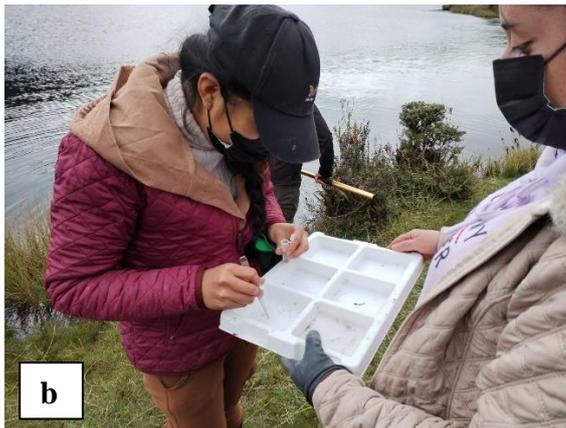
ANEXOS

ANEXO A: Recolección de macroinvertebrados con red(a); recolección manual de macroinvertebrados(b)



Realizado por: Chimborazo J., 2023

Anexo B: Recolección de desechos(a); clasificación de macroinvertebrados(b)



Realizado por: Chimborazo J., 2023

Anexo C: Equipo multiparámetro(a); medición de parámetros físicos del agua(b)



Realizado por: Chimborazo J., 2023

Anexo D: Recolección de muestras de agua y macroinvertebrados en campo



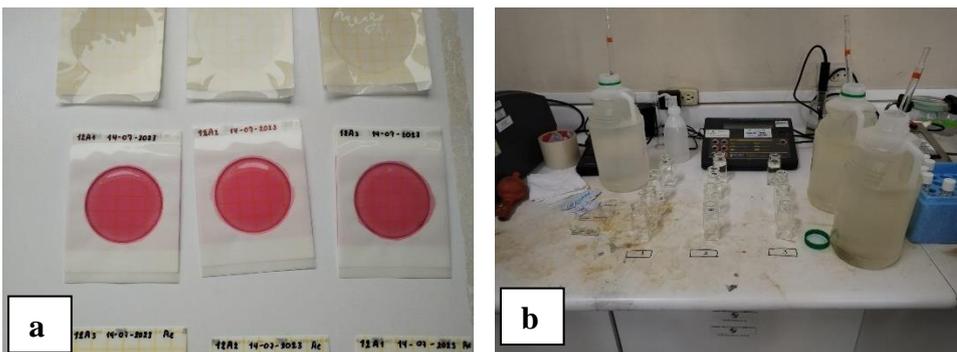
Realizado por: Chimborazo J., 2023

Anexo E: Clasificación de macroinvertebrados en el laboratorio



Realizado por: Chimborazo J., 2023

Anexo F: Parámetros microbiológicos en el laboratorio(a); parámetros químicos en el laboratorio (b)



Realizado por: Chimborazo J., 2023

Anexo G: Identificación de macroinvertebrados en el laboratorio



Realizado por: Chimborazo J., 2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 19/07/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: JENNY MARIBEL CHIMBORAZO AROCA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: RECURSOS NATURALES
Carrera: RECURSOS NATURALES RENOVABLES
Título a optar: INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
<div style="text-align: center;"> Ing. Patricio Xavier Lozano Rodríguez MSc. Director del Trabajo de Titulación Curricular</div> <div style="text-align: center;"> Dr. Edison Marcelo Salas Castelo PhD. Asesor del Trabajo de Titulación Curricular</div>