



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

SEDE MORONA SANTIAGO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO UTILIZANDO
ÍNDICES DE DIATOMEAS EN EL RÍO METCERAS UBICADO EN
EL CANTÓN PALORA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

ALISON STEPHANY ALVARADO BENALCÁZAR

Macas – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO UTILIZANDO
ÍNDICES DE DIATOMEAS EN EL RÍO METCERAS UBICADO EN
EL CANTÓN PALORA

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: ALISON STEPHANY ALVARADO BENALCÁZAR

DIRECTOR: ING. LUIS PATRICIO TIERRA PÉREZ

Macas – Ecuador

2024

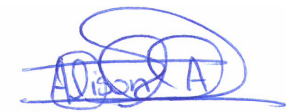
© 2024, Alison Stephany Alvarado Benalcázar

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, Alison Stephany Alvarado Benalcázar, 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.

Macas, 16 de mayo del 2024



Alison Stephany Alvarado Benalcázar

1400695530

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO UTILIZANDO ÍNDICES DE DIATOMEAS EN EL RÍO METCERAS UBICADO EN EL CANTÓN PALORA**, realizado por la señorita: **ALISON STEPHANY ALVARADO BENALCÁZAR**, 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. Luis Alberto Quevedo Báez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



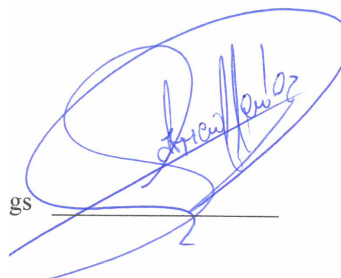
2024-05-16

Ing. Luis Patricio Tierra Pérez
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-05-16

Ing. Patricio Vladimir Méndez Zambrano
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-05-16

DEDICATORIA

A mi padre Luis, madre Elizabeth y hermanos Derek & Erika, este logro es también suyo. Gracias por su inquebrantable apoyo, por ser mi fuente de inspiración y por creer en mí incluso cuando dudaba de mí misma. Su amor y aliento han sido mi motor en este viaje académico. A ustedes dedico esta tesis, no solo como un símbolo de gratitud, sino como un testimonio del esfuerzo y confianza puesto en mí. Que este trabajo refleje el profundo amor y la admiración que les tengo. Sin ustedes, nada de esto sería posible. Con todo mi cariño.

Alison

AGRADECIMIENTO

Queridos, padre Luis Alvarado y madre Elizabeth Benalcázar, las palabras nunca serán suficientes para expresar mi profundo agradecimiento por su inquebrantable apoyo y amor durante este largo camino hacia la culminación de mi carrera. Su constante aliento y sacrificio han sido la fuerza impulsora detrás de cada paso que he dado. A mis queridos hermanos, Erika y Derek, su compañía y respaldo incondicional han sido mi mayor fortaleza. También a mis entrañables mejores amigas de colegio, Helen y Eliana, por su amistad y complicidad durante todos estos años. A mi leal mejor amigo Alexis Lema, por su constante apoyo y comprensión. A mi pareja por sus palabras de motivación y amor incondicional. A mi amado abuelito Luis, aunque ya no esté físicamente presente, su amor y sabias enseñanzas siguen guiando mi camino desde el cielo. Al Ing. Patricio Tierra y al Ing. Patricio Méndez, por su orientación experta y su invaluable contribución a este trabajo. Y en general a todos, mi gratitud eterna y mi más sincero reconocimiento por ser parte integral de este logro. Sin apoyo de todos ustedes, este camino habría sido mucho más difícil de recorrer. Infinitas gracias.

Alison

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.1.1 Formulación del problema	4
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Justificación	5
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes de investigación	6
2.2 Bases conceptuales.....	6
2.2.1 Cuerpo de agua	6
2.2.2 Cuenca hidrográfica	6
2.2.3 Ecosistemas acuáticos	6
2.2.4 Ecosistema lótico	7
2.2.5 Taxonomía.....	7
2.2.6 Afluente residual.....	7
2.2.7 Muestreo de agua.....	7
2.2.8 Calidad de agua.....	7
2.2.9 Fitoplancton.....	7
2.2.10 Diatomeas	8

2.2.11	Litófita	8
2.2.12	Eutrofización	8
2.2.13	Organismo indicador	8
2.2.14	Índices biológicos	8
2.3	Bases teóricas	9
2.3.1	Fuentes de contaminación	9
2.3.2	Origen de las diatomeas.....	9
2.3.3	Evaluación biológica de la calidad del agua	9
2.3.4	Morfometría de las diatomeas.....	10
2.3.5	Características de las diatomeas	10
2.3.6	Clasificación de las diatomeas.....	10
2.3.7	Dimensiones de las diatomeas	11
2.3.8	Composición taxonómica de las diatomeas	11
2.3.9	Ventajas de las diatomeas como bioindicadores	12
2.3.10	Contaminación de aguas lólicas y su relación con las diatomeas	12
2.3.11	Índices de calidad del agua (ICA)	13
2.3.12	Parámetros de calidad de agua	13
2.3.13	Índice de diversidad de Shannon	15
2.3.14	Índice de estado trófico de calidad del agua (ITQA)	15
CAPÍTULO III.....		16
3.	METODOLOGÍA	16
3.1	Enfoque de la investigación	16
3.2	Nivel de investigación	16
3.3	Diseño de investigación	16
3.3.1	Identificación de variables.....	16
3.4	Tipo de estudio.....	17
3.5	Población y planificación	17
3.5.1	Zona de estudio	17
3.5.2	Población de estudio	18
3.5.3	Tamaño de la muestra	18
3.6	Métodos, técnicas e instrumentos de evaluación	19
3.6.1	Método de muestreo.....	19
3.6.2	Procedimiento de toma de muestra	19
3.6.3	Materiales, equipos y reactivos usados para la investigación	19

3.6.4	Método de recolección de muestra, preparación y procesamiento de diatomeas .20
3.6.5	Índice de la calidad del agua23
3.6.6	Obtención del valor del Índice Trófico de la calidad del agua.....23
3.6.7	Obtención del valor del índice de diatomeas pampeano de la calidad del agua ...24

CAPÍTULO IV	25
4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	25
4.1 Análisis de los parámetros Físicoquímicos del Agua	25
4.1.1. Potencial Hidrógeno.....	25
4.1.2. Turbidez	26
4.1.3. Demanda Biológica de Oxígeno	27
4.1.4. Coliformes fecales	28
4.1.5. Nitratos	29
4.1.6. Temperatura	30
4.1.7. Oxígeno Disuelto	31
4.1.8. Sólidos Totales Disueltos	32
4.2 Índice de calidad del agua.....	32
4.3 Análisis del ICA, índice trófico de la calidad del agua y el índice de diatomeas pampeano.....	34

CAPÍTULO V	38
5. Conclusiones y recomendaciones	38
5.1 Conclusiones	38
5.2 Recomendaciones	39

BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Materiales de campo usados para el muestreo.....	19
Tabla 3-2: Materiales y equipos de laboratorio.....	20
Tabla 3-3: Reactivos utilizados.....	20
Tabla 3-4: Tabla del ICA.....	23
Tabla 3-5: Relación del ITCA con la calidad del agua.....	23
Tabla 3-6: Índice de diatomeas pampeano y su relación con la calidad del agua.....	24
Tabla 4-7: Valores del índice de calidad del Agua de la NSF.....	32
Tabla 4-8: Valores de los parámetros de la calidad del agua.....	33
Tabla 4-9: Valores del índice trófico de la calidad del agua.....	34
Tabla 4-10: Valores del índice de diatomeas pampeano.....	35

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Estructura de una diatomea.....	10
Ilustración 2-2: Clasificación y estructura microscópica de las diatomeas	11
Ilustración 3-3: Mapa de localización de los puntos de muestreo del río Metceras.....	17
Ilustración 3-4: Mapa de los puntos de muestreo y georreferenciación de las estaciones de monitoreo del río Metceras.....	18
Ilustración 4-5: Total de especies y diatomeas epilíticas registradas en la identificación.....	36

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4-1: Medición del pH en los 4 puntos de monitoreo.....	25
Gráfico 4-2: Medición de la turbidez en los puntos establecidos del río Metceras.....	26
Gráfico 4-3: Medición del DBO en el río Metceras.....	27
Gráfico 4-4: Medición de coliformes fecales de los cuatro puntos de monitoreo del río Metceras.	28
Gráfico 4-5: Medición de Nitratos en las aguas del río Metceras	29
Gráfico 4-6: Variación de la Temperatura en el río Metceras.....	30
Gráfico 4-7: Medición del Oxígeno Disuelto en las aguas del río Metceras.....	31
Gráfico 4-8: Medición de los Sólidos Totales en el río Metceras.....	32
Gráfico 4-9: Valores del índice de calidad del agua de la NSF.....	33

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA

ANEXO B: MEDICIÓN DE PARÁMETROS IN SITU

ANEXO C: TOMA DE MUESTRAS DE DIATOMEAS EPILÍTICAS

ANEXO D: PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE DIATOMEAS EPILÍTICAS

ANEXO E: CENTRIFUGACIÓN DE LA MUESTRA

ANEXO F: IDENTIFICACIÓN MICROSCÓPICA DE LAS DIATOMEAS EPILÍTICAS

ANEXO G: ESPECIES DE DIATOMEAS RECOLECTADAS EN EL PT- 4

ANEXO H: ESPECIES DE DIATOMEAS RECOLECTADAS EN EL PT- 3

ANEXO I: ESPECIES DE DIATOMEAS RECOLECTADAS EN EL PT- 2

ANEXO J: ESPECIES DE DIATOMEAS RECOLECTADAS EN EL PT- 1

RESUMEN

El deterioro de la calidad del agua impacta negativamente en aspectos medioambientales, sociales y económicos. La intervención humana en la agricultura y la industria contamina cuerpos de agua y altera los ecosistemas acuáticos, reduciendo su calidad y disponibilidad. El uso excesivo de fertilizantes y pesticidas y la ineficaz gestión de residuos son problemas críticos que afectan a la biodiversidad y la salud ambiental, por lo tanto, el objetivo de este estudio fue identificar la composición de diatomeas epilíticas en el río Metceras para evaluar su estado ambiental. La metodología utilizada fue mixta con análisis cualitativos y cuantitativos de las diatomeas, evaluando su diversidad y abundancia para establecer los índices tróficos y biológicos de calidad del agua. El nivel de investigación fue correlacional ya que se manipularon las variables entre sí. La investigación incluyó la recolección de muestras en cuatro puntos del río y su posterior análisis en laboratorio. Los resultados mostraron que, aunque algunos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos estaban dentro de los límites permisibles, la presencia de coliformes fecales indicaba fuentes de contaminación localizadas. El análisis de diatomeas reveló una baja contaminación según el Índice Trófico de Calidad del Agua (ITCA) y un nivel leve según el Índice de Diatomeas Pampeano (IDP), sugiriendo una relativa resistencia de estas comunidades a las actividades humanas cercanas al río. En ese contexto se concluye que la identificación taxonómica de las diatomeas y su abundancia proporcionó información clave sobre la calidad del agua del río Metceras. A pesar de la baja contaminación detectada por los índices ITCA e IDP, la presencia de coliformes fecales subraya la necesidad de una gestión específica para abordar las fuentes de contaminación localizadas. La integración de ambos índices permitió una evaluación más precisa y destacó la importancia de enfoques complementarios para la gestión efectiva de los recursos hídricos.

Palabras clave: <DIATOMEAS EPILÍTICAS>, <ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA>, <ÍNDICE DE DIATOMEAS PAMPEANO>, <RÍO METCERAS>, <COLIFORMES FECALES>.

Lic. Gisela Estefanía Guzmán
0629-DBRACUBR-2024



ABSTRACT

The deterioration of water quality has a negative impact on environmental, social and economic aspects. Human intervention in agriculture and industry pollutes water bodies and alters aquatic ecosystems, reducing their quality and availability. Excessive use of fertilizers and pesticides and inefficient waste management are critical problems that affect biodiversity and environmental health; therefore, the aim of this study was to identify the composition of epilithic diatoms in the Metceras River to evaluate their environmental status. The methodology was mixed with qualitative and quantitative analysis of diatoms, evaluating their diversity and abundance to establish trophic and biological indices of water quality. The level of research was correlational since the variables were manipulated with respect to each other. The research included the collection of samples at four points in the river and their subsequent laboratory analysis. The results showed that, although some physicochemical and microbiological parameters were within permissible limits, the presence of fecal coliforms indicated localized sources of contamination. Diatom analysis revealed low contamination according to the Trophic Index of Water Quality (ITCA) and a slight level according to the Pampean Diatom Index (IDP), suggesting a relative resistance of these communities to human activities near the river. In this context, it is concluded that the taxonomic identification of diatoms and their abundance provided key information on the water quality of the Metceras River. Despite the low pollution detected by the ITCA and IDP indices, the presence of fecal coliforms underlines the need for specific management to address localized sources of pollution. The integration of both indices allowed a more accurate assessment and highlighted the importance of complementary approaches for effective water resources management.

Key words: <EPILITHIC DIATOMS>, <WATER QUALITY INDEX>, <PAMPEAN DIATOME INDEX>, <METCERAS RIVER>, <FECAL COLIFORMS>.



Silvia Elizabeth Cárdenas Sánchez

C.I 0603927351

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso importante para los seres vivos y los ríos la fuente principal de agua dulce para las poblaciones (Hernández et al., 2011). Sin embargo, la calidad del agua de los ríos está cada vez más amenazada por diversas actividades humanas, como la agricultura, la industria, la urbanización y la minería (Villena, 2018; Morales & Abril, 2019; Rondon, et al., 2016). En la investigación de Guzmán et al., (2015) menciona que la contaminación de los ríos puede tener graves consecuencias para la salud de los seres vivos y el medio ambiente, como la propagación de enfermedades, la pérdida de biodiversidad y la degradación de los ecosistemas acuáticos. Como señala Reyes et al., (2022) la contaminación causada por el monocultivo en Ecuador es un problema creciente que amenaza la calidad de los recursos hídricos debido a que, utilizan grandes cantidades de pesticidas y fertilizantes para aumentar la producción de los cultivos. Por consecuencia, muchos de estos productos químicos contaminan los cuerpos de agua cercanos. Por tanto, es necesario actuar para proteger y mejorar la calidad del agua de los ríos a fin de garantizar su uso seguro y sostenible en las comunidades y el medio ambiente.

Los indicadores de calidad del agua son parámetros utilizados para evaluar y controlar el estado y los niveles de contaminación de los recursos hídricos (García-González et al., 2021; Castro et al., 2014), estos indicadores proporcionan una visión general de la calidad del agua y ayudan a tomar decisiones sobre su gestión y protección. Se utilizan distintos tipos de indicadores en función de los parámetros y criterios que se vayan a evaluar. Uno de los tipos más comunes de indicadores son los fisicoquímicos, que se basan en la medición de diversas propiedades físicas y químicas del agua, como la temperatura, el pH, la concentración de oxígeno disuelto y la presencia de nutrientes y sustancias tóxicas (Morell-Bayard et al., 2015). Otro tipo de indicador es el biológico, que se centra en la comunidad de organismos acuáticos del agua, como algas, macroinvertebrados y peces (Meneses-Campo et al., 2019).

Tomando en cuenta los estudios de (Holmes & Taylor, 2015; Korhonen et al., 2013), se define que las diatomeas epilíticas son microalgas unicelulares que se adhieren a las superficies rocosas en el agua. Según la perspectiva de (Yun et al. 2014) estas diatomeas son aprovechadas como biomarcadores de la calidad del agua y como indicadores del impacto de los contaminantes en los ecosistemas acuáticos. Esta función es crucial en la gestión de recursos hídricos en Ecuador; donde el índice de diatomeas proporciona una estimación de la calidad del agua y del potencial acuático, en donde esta es una información esencial para una correcta planificación y gestión en los sistemas dulceacuícolas, como se explica en la investigación de (Mora et al., 2015). Dichos índices no solo proporcionan una estimación de la calidad del agua y del potencial acuático, sino

que también ofrecen una visión completa y precisa de la salud del ecosistema acuático, lo cual es esencial para su conservación a largo plazo. Asimismo, según señala Ruwer et al. (2021) estos índices brindan una perspectiva integral y precisa sobre la salud del ecosistema acuático, enfatizando su importancia para la conservación a largo plazo.

El presente estudio tuvo como propósito identificar la composición de las diatomeas epilíticas en el río Metceras, las mismas que permitan saber el estado ambiental de nuestro entorno y poder hacer una evaluación de este para poder mejorarlo.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

El deterioro de la calidad del agua repercute directamente en aspectos medioambientales, sociales y económicos. El acceso a los valiosos recursos hídricos del planeta es cada vez más limitado, en donde grandes volúmenes de aguas deficientemente tratadas o sin tratar se vierten en ríos, lagos, acuíferos y aguas costeras, contaminando cada vez más los recursos de agua dulce (UNESCO 2015). La intervención antropogénica en el agua, tanto por la agricultura como industrias, tienen muchas repercusiones importantes en los ecosistemas acuáticos.

El uso extensivo de fertilizantes y plaguicidas en los cultivos puede provocar la contaminación del agua a través de la escorrentía agrícola, en donde estas sustancias químicas pueden entrar en los cuerpos de agua, alterando su calidad y afectando a la vida acuática (Escobar, 2002). Las prácticas de irrigación ineficaces también pueden reducir los niveles de los ríos y las aguas subterráneas, provocando escasez de agua y dañando los ecosistemas acuáticos (Quiroz, Izquierdo y Carlos 2018). El vertido de aguas residuales industriales sin tratar en las masas de agua también puede causar graves daños (Riera et al. 2013). Los productos químicos tóxicos y los contaminantes orgánicos pueden afectar a la biodiversidad acuática, matando organismos y destruyendo ecosistemas. Además, el vertido de sustancias puede alterar la temperatura del agua, afectando negativamente a especies que dependen de ciertas condiciones para sobrevivir (Guanga-Chunata et al. 2021).

En general, la interferencia humana en los recursos hídricos por parte de la agricultura y la industria tiene repercusiones negativas en los ecosistemas acuáticos, que van desde la contaminación química hasta la escasez de agua y los cambios en las condiciones ambientales. Es importante tomar medidas adecuadas para mitigar estos impactos y promover prácticas sostenibles para proteger y restaurar la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos (ENCA, 2016).

El Índice Trófico de Diatomeas y el Índice de Diatomeas Pampeano son dos herramientas para evaluar los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua en donde ambos índices se basan en estudios de las diatomeas, un grupo de microalgas unicelulares sensibles (Lobo, Freitas y Salinas 2019). El índice trófico de diatomeas se utiliza para evaluar el contenido en nutrientes de una masa de agua, por otro lado, las diatomeas presentes en el agua se clasifican en diferentes grados en

función de su tolerancia a los nutrientes (Castillejo et al. 2018). La presencia de diatomeas indica niveles elevados de nutrientes, especialmente la concentración de fosfatos y nitratos (Castillejo et al. 2022). El índice biológico de diatomeas, por su parte, evalúa el estado general del medio acuático y la calidad del agua, en donde también el índice se basa en la diversidad de especies y la abundancia de diatomeas (Ochieng et al. 2022). Dado que las diatomeas son sensibles a la contaminación y a los cambios del hábitat, un índice biótico de diatomeas alto puede indicar un ecosistema submarino sano, mientras que un índice bajo puede indicar contaminación o degradación ambiental.

Por lo tanto, el índice biótico de diatomeas evalúa la diversidad y el estado general de los ecosistemas acuáticos, mientras que el índice trófico de diatomeas se centra en los niveles de nutrientes. Ambos índices son herramientas importantes para la gestión y el seguimiento de los recursos acuáticos, ya que proporcionan datos significativos sobre el estado de los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua.

¿Qué índice será más factible para la evaluación del estado ecológico del río Metceras?

1.1.1 Formulación del problema

Una vez determinadas las diferentes razones de investigación de este tema se plantea la siguiente pregunta:

¿Cómo caracterizar las comunidades de diatomeas epilíticas como herramienta para el análisis de la calidad del agua del río Metceras?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Caracterizar las comunidades de diatomeas epilíticas como herramienta para el análisis de la calidad del agua del río Metceras.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar taxonómicamente las especies de diatomeas, su composición y abundancia presentes en el río Metceras.
- Determinar los parámetros ambientales del río Metceras.

- Comparar la eficiencia de los índices de diatomeas epilíticas para la calidad del agua del río Metceras.

1.3 Justificación

Las plantaciones agrícolas es una de las fuentes importantes de contaminación fluvial en todo el mundo. Estas plantaciones utilizan cantidades excesivas de fertilizantes y pesticidas, liberando toxinas en el agua que tienen un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos en donde estas sustancias químicas nocivas entran en los ríos a través de la escorrentía, alterando el equilibrio natural y afectando a la vida acuática (Castillo et al. 2020). Además, el cultivo intensivo de determinadas cosechas agota los recursos hídricos, reduciendo la cantidad de agua disponible para otros usos por esta razón se necesitan prácticas agrícolas sostenibles y normativas más estrictas para mitigar este problema y proteger nuestros ríos de la contaminación.

La situación del río Metceras ha sido afectada por la presencia de grandes plantaciones de pitahaya que debido a esto ocurren descargas de pesticidas, fertilizantes y otros contaminantes en donde esto genera un problema socioambiental con respecto al aumento de la contaminación en los recursos hídricos.

El uso de diatomeas epilíticas como bioindicadores es un proceso reciente que ha facilitado enormemente los métodos de muestreo y conservación, en donde en Ecuador se han estudiado las diatomeas epilíticas en zonas subtropicales, por lo tanto, son una prueba válida para medir la calidad del agua.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

La investigación desarrollada se encuentra localizada en Morona Santiago en el cantón Palora, en el río Metceras. Los temas relacionados a la presente investigación proporcionarán criterios de diagnóstico que permite el diagnóstico del estado ecológico mediante el uso de diatomeas.

Para realizar esta investigación previamente se indagó en trabajos de titulación similares en documentos de sitios web de Universidades de las diferentes facultades, los cuales se detallan a continuación.

2.2 Bases conceptuales

2.2.1 *Cuerpo de agua*

Son masas ubicadas en la superficie o de manera subterránea, mantienen características por naturaleza salada o dulce, se les proporciona el nombre de río, agua subterránea, lago, laguna, estuario, entre otros (Potel, 2003).

2.2.2 *Cuenca hidrográfica*

Mantiene un sistema hídrico demarcado por líneas de cuerpos de agua, en el cual se transportan a través de lluvias con el drenaje y este se descarga a otras cuencas o a su vez al océano (Breña, 2013).

2.2.3 *Ecosistemas acuáticos*

Son aquellos que mantiene por biotopo los cuerpos de agua, donde la vida es dependiente de la materia y energía existen dos clases, los marinos o aguas oceánicas y los dulceacuícolas que se encuentran presente en los ríos, lagos o lagunas (Roldán, 2009).

2.2.4 Ecosistema lótico

Es el ecosistema de un río o arroyo donde la fuerza de gravedad permite que esta se encuentre direccionada, se sitúan en las llamadas cuencas hidrográficas siguiendo el curso que tenga el afluente dependiendo su topografía (Lucero y Paredes, 2017).

2.2.5 Taxonomía

Es la ciencia que clasifica a los distintos organismos vivos para la determinación de sus principios y métodos, presenta categorías sistematizadas y jerárquicas por el agrupamiento de los distintos reinos estructurado por nombre, familia y orden (Acedo, 2017).

2.2.6 Afluente residual

Es la incorporación de todo material líquido o descarga que se ha modificado por algún proceso natural, productivo o proyecto, en cierto caso está incorporado por varias redes hacia un solo recurso hídrico (Rita, 2022).

2.2.7 Muestreo de agua

Actividad de recolección de una parte del total de masa, esta debe ser fidedigna para el estudio de su calidad y está involucrada en la obtención física y su caracterización de la muestra adquirida (Rojas, 2018).

2.2.8 Calidad de agua

Detalla las características en su estado natural (químicas, físicas y biológicas) o luego de ser alteradas antrópicamente, esta depende el uso que se le dé va generar el impacto, lo que destaca con relación a sus causas son empleo de fertilizantes lo que alteran sus propiedades causando el exceso de nutrientes (Saransig, 2010).

2.2.9 Fitoplancton

Es un principal indicador de la efectividad del ecosistema acuático, constituyen del primer nivel trófico de los océanos, son importantes de manera directa o indirecta de los ecosistemas, mantiene poca capacidad de trasladarse en distintos marino lugares marinos, realizan la fotosíntesis, ya que se encuentra la zona superficial en el cuerpo de agua (Cabrera y Alió, 2020).

2.2.10 Diatomeas

Son un conjunto diverso de microalgas nombradas *Bacillariophyta* del reino Chromista, con características al ser unicelulares y presentar el 60% de sílice, lo que le confiere resistencia, se encuentran en flote de agua o usualmente adheridas algún sustrato tales como en plantas, arena, rocas y limo-arcillas (Barquero, Zaragüeta y Goldenberg, 2018).

2.2.11 Litófitas

Plantas adheridas a las piedras o rocas, ya sea que se presenten en cuerpos de agua o la superficie terrestre, estas se desarrollan en ambientes húmedos y pueden ser animales, hongos, algas o plantas (Segura et al., 2012).

2.2.12 Eutrofización

Es el proceso de exceso de nutrientes generando limitantes para fitoplancton, elementos como el fósforo y nitrógeno, provocan el aumento de algas y su propagación en el agua incorporan organismos aerobios en el ecosistema generando condiciones anóxicas a su consecuencia la extinción de la flora y fauna acuática (García, 2016).

2.2.13 Organismo indicador

Especie que demuestra condiciones en el ambiente, sin embargo, si manifiesta inexistencia presenta alteraciones al medio, se emplea debido a su economismo y facilidad, como una herramienta para determinar la calidad de un recurso y se especifica a través de un valor numérico comparado con rangos establecidos afines (Castro, 2009).

2.2.14 Índices biológicos

Reflejan el estado de agua en el momento del muestro involucrando agentes estresantes, lo que resulta para la aplicación de medidas de su impacto sobre el recurso acuático, además se puede analizar fechas anteriores, importante para complementar estudios fisicoquímicos y por ningún motivo excluirlos (Oscos et al., 2007)

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Fuentes de contaminación

2.3.1.1 Fuentes naturales

Mantiene componentes de inicio natural en contacto con el suelo y aire, tales como calcio, magnesio, sales minerales, entre otros. A su vez son probables de generar un efecto a la salud humana, estas se pueden presentar a simple vista y eliminación (Chasiquiza y Cola, 2017).

2.3.1.2 Fuentes artificiales

Estas son generadas por la actividad humana, las industrias han provocado la incorporación de nuevos agentes nocivos tanto para la salud humana como para el medio, lo que respecta a organismos complejos de eliminar (Chasiquiza y Cola, 2017).

2.3.2 Origen de las diatomeas

Existe una suposición que las diatomeas se originaron en la era Proterozoica hace 1200 millones de años, causadas por un acontecimiento endocitosis primaria, donde la cianobacterias fueron engullida por heterótrofas, lo que ocasionó fue una fusión ante el primer ancestro autótrofo eucariota de algas verdes y rojas , hace 200 millones de años se generó una endosimbiosis secundaria (una célula heterótrofa a una alga), de esta combinación se originaron las microalgas diatomeas (Lora, López y Pérez, 2020).

2.3.3 Evaluación biológica de la calidad del agua

Nace del término calidad biológica con la finalidad de evaluar las condiciones del agua ya sea su composición o estructura; mantiene características naturales en desarrollo de organismos vivos, presenta modificaciones evolutivas y también involucra límites de tolerancia, lo mismo varía acorde a la alteración de la sensibilidad de las condiciones, impuestas lo intolerantes no se ven afectados, del mismo modo si la perturbación pasa del umbral los ríos pueden presentar signos de contaminación (Guzmán y Leiva, 2015).

2.3.4 Morfometría de las diatomeas

Estamos hablando de la configuración de las diatomeas, estas se encuentran compuestas de dióxido de silicio (SiO_2), similar a una cubierta determinada por piezas de valvas entrelazadas entre sí en forma de cíngulo, constituyendo una estructura tridimensional (frústulo) de materia orgánica, su caracterización se puede analizar a través de estudios morfológicos (especie o género), partes como las areolas, las estrías, rafe y perforación (Casa, 2020); a continuación se presentan las principales partes de una diatomea.

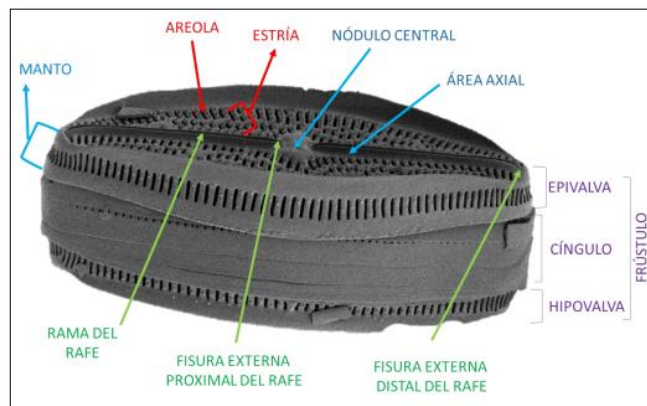


Ilustración 2-1: Estructura de una diatomea

Fuente: (Casa, 2020)

2.3.5 Características de las diatomeas

Las diatomeas mantienen características tanto fisiológicas como ecológicas, las mismas que su parte son óptimas para su uso como bioindicadores, según Blanco et al. (2007) son:

- Mantienen un grupo diversificado, existiendo en variedades de ambientes acuáticos.
- Exhiben una gran sensibilidad ante variaciones en sus parámetros fisicoquímicos en el agua, lo que es evidente gran precisión en su medio.
- La obtención, preparatorio y conservación de muestras son de fácil manipulación para su comparabilidad y reproducción.

2.3.6 Clasificación de las diatomeas

Estas especies se definen por mantenerse en ambientes marinos y continentales, pueden ser planctónicas o bentónicas, dependen de la penetración de la luz para poderse desarrollar, se dividen en ordenes centrales y las penales; así mismo se clasifican también de acuerdo a su forma estas pueden ser neríticas (viven sobre un sustrato y necesitan luz y una temperatura adecuada) y

las perifíticas (viven adheridas a rocas o piedras por medio de sus valvas y expulsan sustancias mucilaginosas) (Lucero y Paredes, 2017)

2.3.7 Dimensiones de las diatomeas

Presentan tamaños microscópicos entre 2 a 500 μm similares a la anchura de un pelo humano, para su correspondiente medición se emplea un microscopio de luz o de barrido, estas se aprecian claras al reflejo del cristal con la luz mientras que con el barrido se presentan opacas (Chasiquiza y Cola, 2017)

Su clasificación y estructura se pueden apreciar en la figura 2, microfotografía con luz a. diatomea céntrica (*Contricribra weissflogii*), b. diatomea penada (*Navicula salinicola*). Microscopía electrónica de la pared celular, c. diatomea penada, d. diatomea céntrica, e. diatomea penada, todas originadas de cepas de microalgas.

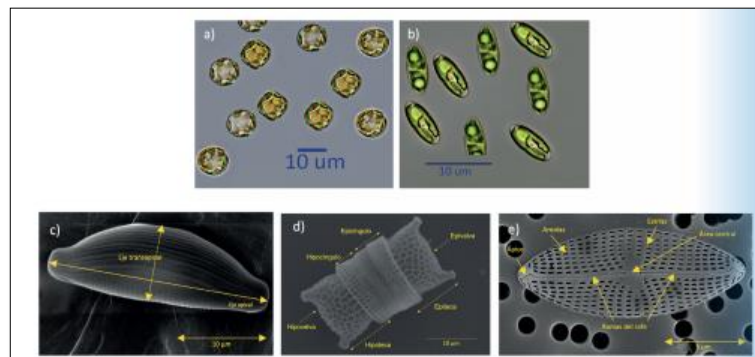


Ilustración 2-2: Clasificación y estructura microscópica de las diatomeas

Fuente: (Lora et al., 2020)

2.3.7.1 Tamaño celular

- Clasificación según el biovolumen:

Se establece por clases según el biovolumen para la clase 1 ($0-99 \mu\text{m}^3$), clase 2 ($100-299 \mu\text{m}^3$), clase 3 ($300-599 \mu\text{m}^3$), clase 4 ($600-1499 \mu\text{m}^3$) y clase 5 ($>1500 \mu\text{m}^3$) (Nicolosi, 2020).

2.3.8 Composición taxonómica de las diatomeas

Para su clasificación se debe considerar características, expresadas a continuación:

2.3.8.1 Simetría

- **Radical:**

Se encuentran incorporadas por dos ejes tales como el eje transversal y el perivalvar, este primero, es perpendicular al perivalvar y este une los puntos promedios de cada valva (Chasiquiza y Cola, 2017)

- **Bilateral:**

Similar a la radical muestra en este caso tres ejes primordiales, pero incorpora el apical (une los extremos del frústulo) y el transapical (recorre la célula de pleura en pleura), y el perivalvar cumple la misma función anterior mencionada (Chasiquiza y Cola 2017)

2.3.8.2 Pared celular

Se denomina también frústulo o teca, a través de la sílice adquiere rigidez en las estrías, estas importantes para su clasificación, el frústulo está formada por piezas de caja y la parte superior epiteca y la inferior hipoteca, intervienen partes en si tales como la membrana, espinas y setas como para la ligación de cadenas, también intervienen secciones que tienen poros, areolas, bandas, entre otros; presentan tamaño de 50-500 μm (Lora et al., 2020)

2.3.9 Ventajas de las diatomeas como bioindicadores

Según Lobo et al., (2016) las diatomeas son muy empleadas a nivel global como bioindicadores. Presentan ventajas de ubicuidad (presencia en sistemas acuáticos donde se desarrolla variedad de formas) formando parte del biotopo, son cosmopolitas (su distribución es a nivel mundial), presenta un bajo grado de endemismo (aparecen en forma abundante en el ambiente), ciclos vitales cortos (se reproducen con rapidez en respuesta a cambios), facilidad de muestreo (se pueden muestrear en cualquier tramo del río) y estudios temporales (inalterables con el tiempo y su recuperación del estado fósil o sedimento, lograría un análisis del pasado de las condiciones del agua (Lucero y Paredes, 2017)

2.3.10 Contaminación de aguas lóxicas y su relación con las diatomeas

Los ambientes acuáticos facilitan la eliminación de vertidos, debido a la disolución en sistemas lóxico, las diatomeas son productores primarios, esta se categoriza por manifestarse como servicio ecosistémico ya que captura CO_2 y liberan O_2 , se oxigenan y producen biomasa formando antioxidantes, vitaminas, entre otros; los contaminantes que interfieren en este proceso son los materiales tóxicos, sedimentos, nutrientes orgánicos, entre otros (Sardi, 2018)

2.3.11 Índices de calidad del agua (ICA)

Es un indicador con el propósito de la determinación de la calidad de agua, ya sea superficial o subterráneo, incorpora varios parámetros tales como físicos, químicos y biológicos, estos incorporados en una fórmula para su evaluación con el fin de determinar su vulnerabilidad (Rojas, 2018)

2.3.12 Parámetros de calidad de agua

2.3.12.1 Parámetros de calidad física

- Conducta eléctrica:

Es la capacidad que tiene el agua al transportar corriente eléctrica que se mide en siemens/cm (S/cm), dependiendo de las sales disueltas sus concentraciones disueltas varían ya sean magnesio, calcio u otro (García, 2009).

- Temperatura:

Se relaciona con la temperatura en el ambiente y en el instante de medida, esta regula la concentración de oxígeno, el metabolismo de los organismos y su reproducción, acelerando los niveles de oxígeno en el medio, las variaciones se deben a motivos tales como la hora del día, profundidad, entre otros (Rodríguez, 2009).

- Turbidez:

Es la transparencia que presenta el agua al mantener en su forma cierta cantidad de partículas en suspensión y cierto tipo de materia orgánica, se mide en UNT (unidades nefelométricas de turbidez), un alto valor del indicador será mayor el grado de turbidez (Marcó et al., 2004)

- Sólidos disueltos totales (TDS):

Es la medida de la cantidad de sólidos o sales disueltas en el agua expresa en mg/L o ppm (mg/L), se determina a través de gravimetría después de estar sujeta a 100 °C, los sólidos se encuentran en forma de sales disueltas, con características como dureza y sabor (Barreneche, 2009)

2.3.12.2 *Parámetros de calidad química*

- Oxígeno disuelto:

Es la propiedad que representa la cantidad de oxígeno presente en el agua, es vital importancia en los cuerpos de agua, este valor establece el grado de contaminación en el agua, sus altos valores representan una buena calidad del agua, este varía en función de la temperatura y se mide en miligramos por litro (mg/L) (Woodward, 2001)

- pH

Es una propiedad que mide la acidez o alcalinidad de un líquido, mantiene una amplia utilidad en los cuerpos de agua ya sea natural o residual, su fuerza de acidez el anión fuerte o débil, así mismo es el catión (H⁺), lo que ocurre con las bases, cuando el pH es 7 el agua es neutra, entre 0 y 7 es ácida, y de 7 a 14 es básica llevando sales en su composición (García, 2009)

- Nitratos

Expresado en NO₃⁻ es una sal soluble causada por el desprendimiento de nitrógeno, se encuentran en los cuerpos de aguas, se derivan de los compuestos nitrogenados como los fertilizante, residuos fecales, desperdicios sanitarios e industriales, afectando su nivel de concentración (Molina et al., 2003)

- Fosfatos

Expresado en PO₄⁻, formada por el producto del fósforo inorgánico están en cuerpos de aguas naturales, residuales, mantiene un ciclo en el ambiente pero puede ser alterado, la cantidad normal en aguas naturales es de 1 mg/L, clasificados como fosfatos condensados, ortofosfatos y organofosforados (Cordero et al., 2017)

- Demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO₅)

Es el valor que mide la cantidad de oxígeno solicitado por las bacterias en el transcurso de cinco días en condiciones normales, se expresa en mg O₂/L, se determina con la yodometría, se emplea para determinar el grado de contaminación de las aguas domesticas prevalentes en condiciones aeróbicas (Lecca y Lizama, 2014)

2.3.12.3 *Parámetros de calidad microbiológica*

- Coliformes fecales

Es la existencia de especies de bacterias en el agua, son excelentes como indicadores de contaminación provenientes de aguas superficiales, pozos sépticos, desperdicios animales, entre otros, la bacteria existente es la *Escherichia coli* (Segura et al., 2021).

2.3.13 *Índice de diversidad de Shannon*

Predice la diversidad de una muestra de especies de un cuerpo de agua, la fórmula emplea logaritmos en base 2, y su unidad son bits/ind, este índice manifiesta la abundancia de una comunidad en función a dos factores tales como el número de especies concurrentes y la abundancia relativa, se relaciona a la selectividad de un individuo aleatoriamente, emplea una escala de 0-4 donde 0-1 presenta severas alteraciones y de 3-4 es imperceptible (Sardi, 2018).

2.3.14 *Índice de estado trófico de calidad del agua (ITQA)*

La eutrofización es medida a través del estado trófico, relacionada al enriquecimiento de las por nitrógenos y fosforo, este describe la cantidad de nutrientes en el cuerpo de agua, es así como el índice considera la tolerancia de especies eutrofizadas o contaminadas con materia orgánica, depende de factores batimétricos, biológicos y químicos del recurso (Nicolosi, 2020).

2.3.14.1 *Cadenas tróficas*

El estudio realizado por Chasiquiza y Cola (2017) categorizan la cadena trófica de la siguiente manera: **Oligotrófico** (cuerpos con escaso contenido de nutrientes con baja producción vegetativa), **Mesotrófico** (presentan propiedades intermedias de nutrientes), **Eutrófico** (presentan altos contenidos de nutrientes como el nitrógeno y el fosforo consecuente al cantidad de producción vegetativa) y **Hipereutrófico** (presenta gran acumulación de sedimentos y escarmentos residuales).

2.3.14.2 *Grado de eutrofización*

Presenta escalas acorde a las cadenas tróficas antes mencionadas con valores adimensionales entre 0 a 100 y categorizadas en base a la cantidad de fosforo en mg/m³, para valores entre 0-30 (Oligotrófico), 30-60 (Mesotrófico), 60-90 (Eutrófico) y 90-100 (Hipertrófico) (Nicolosi, 2020).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

En la investigación se utilizó la siguiente metodología para el cumplimiento de los objetivos planteados:

3.1 Enfoque de la investigación

La investigación por tratar es con enfoque mixto, ya que los análisis realizados en las diatomeas epilíticas presentes en el río Metceras fueron cualitativos y cuantitativos. En cuanto al análisis cualitativo, se identificó taxonómicamente las diatomeas epilíticas y se determinó los parámetros ambientales para así poder determinar el estado en que se encuentra la calidad del agua del río. De acuerdo con el análisis cuantitativo, fue primordial el conteo de las diatomeas para establecer y comparar el Índice Trófico de la calidad del agua e Índice de diatomeas pampeano para esta manera obtener resultados confiables que comprueben la hipótesis propuesta en la investigación.

3.2 Nivel de investigación

El estudio realizado en el río Metceras carece de información enfocada en la calidad del agua por diatomeas epilíticas, por lo que esta investigación se define como correlacional, debido a que se manipulan variables entre sí. Por otra parte, al determinar los parámetros ambientales y caracterizar las diatomeas epilíticas, se puede observar el cambio de las características entre las 4 estaciones de muestreo por lo que al manipular las variables y controlarlas se considera la investigación experimental.

3.3 Diseño de investigación

3.3.1 *Identificación de variables*

- Variable independiente: Calidad del agua presente en los puntos de muestreo
- Variable dependiente: Diatomeas epilíticas

3.4 Tipo de estudio

El presente estudio se fijó como una investigación documental y de campo dado que se realizó un trayecto de exploración de la zona y recolección de muestras en 4 puntos del río Metceras para más adelante llevar al laboratorio para ser analizadas. Por otra parte, la investigación documental consistió en la revisión bibliográfica basada en la metodología de las diatomeas epilíticas como indicadores de la calidad del agua realizadas en estudios anteriores.

3.5 Población y planificación

3.5.1 Zona de estudio

El estudio de la calidad del agua se efectuó en el río Metceras ubicado en un sector de la parroquia Sangay del cantón Palora de la provincia de Morona Santiago. Se usó el software QGis para delimitar el trayecto del río junto a las estaciones de monitoreo, cuyos puntos se establecieron con la ayuda de una aplicación Avenza Maps en el cual se georreferenció.

3.5.1.1 Mapa de ubicación

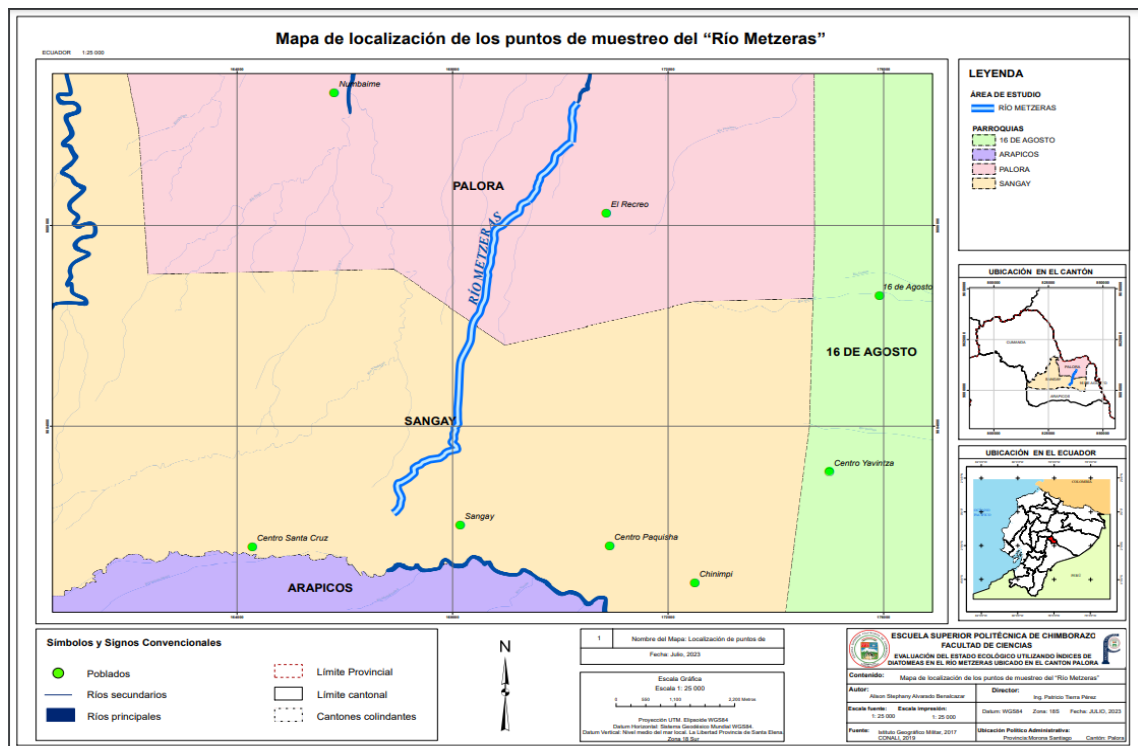


Ilustración 3-3: Mapa de localización de los puntos de muestreo del río Metceras

Realizador por: Alvarado A., 2024.

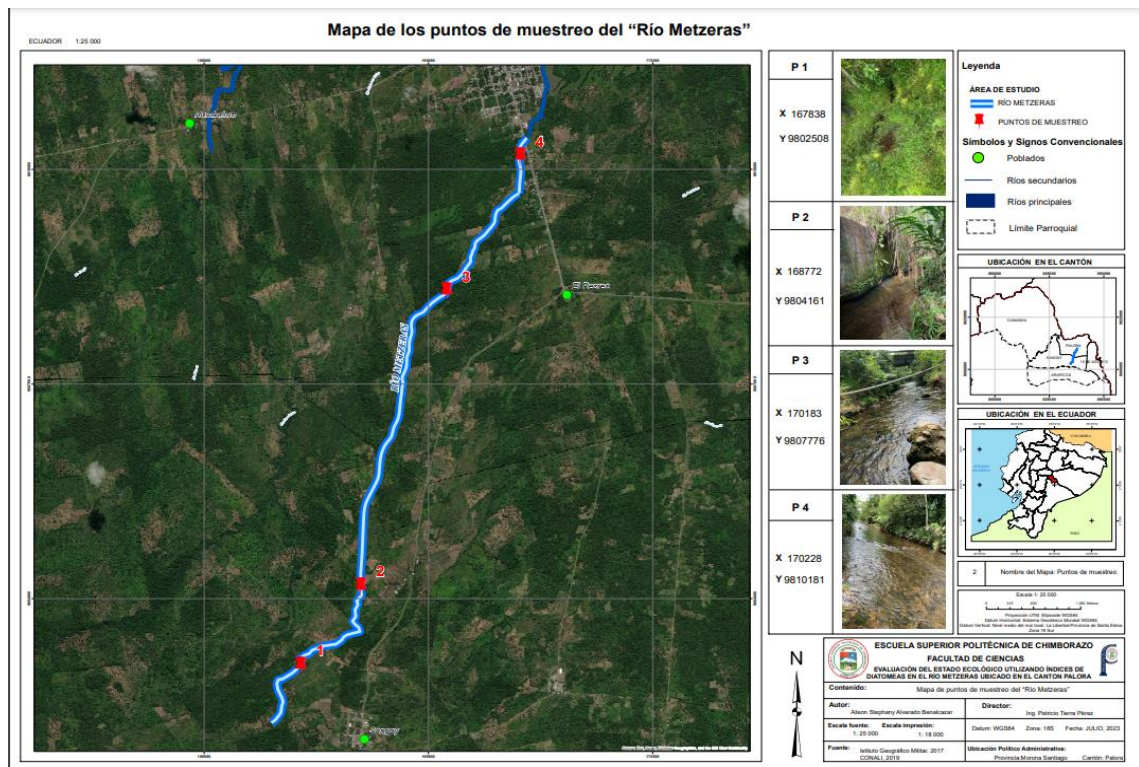


Ilustración 3-4: Mapa de los puntos de muestreo y georreferenciación de las estaciones de monitoreo del río Metceras.

Realizador por: Alvarado A., 2024.

3.5.2 Población de estudio

La población de estudio fue el tramo del río Metceras de la parroquia Sangay. El muestreo de agua que se utilizó en las 4 estaciones de monitoreo fue simple.

3.5.3 Tamaño de la muestra

Se aplicó el estudio para un tramo aproximado de 8,5 kilómetros de trayecto del río Metceras el mismo que abarca desde su nacimiento hasta su desembocadura, en el cual, se establecieron cuatro puntos estaciones de monitoreo los cuales fueron distribuidos considerando lo siguiente:

- Punto limpio (P-01)
- Punto medio contaminado (P-02)
- Punto contaminado (P-03)
- Punto altamente contaminado (P-04)

3.6 Métodos, técnicas e instrumentos de evaluación

3.6.1 Método de muestreo

El muestreo se llevó a cabo en la cuenca del río Metceras, en cuatro puntos de control situados aguas arriba. El muestreo se llevó a cabo durante periodos de caudal constante, es decir, cuando el caudal del río era constante incluso en ausencia de precipitaciones. El estudio se basó en la bibliografía investigada y el análisis se llevó a cabo utilizando equipos de laboratorio y programas informáticos de estadística (Lobo et al., 2016)

3.6.2 Procedimiento de toma de muestra

3.6.2.1 Método de recolección de datos in situ

De acuerdo con Lobo et al., (2016) para el empleo del estudio, se realizó la determinación de parámetros fisicoquímicos correspondientes, como son: pH, temperatura, oxígeno disuelto, con ayuda del equipo multiparamétrico y pHmetro.

3.6.2.2 Método de recolección de datos ex situ

Se recabó los datos de los parámetros como son turbidez, sólidos totales, coliformes fecales, nitratos, BDO₅, fosfatos, mediante el análisis en laboratorio.

3.6.3 Materiales, equipos y reactivos usados para la investigación

3.6.3.1 Materiales de campo

Tabla 3-1: Materiales de campo usados para el muestreo

Material de campo
Guantes
Botas
Marcador
Etiquetas Adhesivas
Frascos de 250ml
Cepillo Dental
Cooler Térmico

Realizador por: Alvarado A., 2024.

3.6.3.2 *Materiales y equipos de laboratorio*

Tabla 3-2: Materiales y Equipos de Laboratorio

Materiales y Equipos de Laboratorio
Microscopio
Vasos de precipitación
Tubos de ensayo
Centrifuga
Manta Calefactora
Agitador Vórtex
Pipeta Pasteur

Realizador por: Alvarado A., 2024.

3.6.3.3 *Sustancias empleadas*

Tabla 3-3: Reactivos utilizados

Reactivos
Alcohol Etílico al 70%
Agua Destilada
Naphrax
Dicromato de Potasio
Ácido Clorhídrico
Etanol al 70%
Ácido Sulfúrico

Realizador por: Alvarado A., 2024.

3.6.4 *Método de recolección de muestra, preparación y procesamiento de diatomeas*

El método que se aplicó para la recolección de las diatomeas fue el mismo para los cuatro puntos establecidos.

3.6.4.1 *Recolección de diatomeas*

- La recolección de diatomeas epilíticas se realizó de rocas que se encuentran a las orillas del río.

- Las rocas tenían un diámetro de 10 a 20 cm sumergidas a una profundidad aproximada de 10 y 30 cm.
- Las rocas se encontraban expuestas a los rayos solares y rodeados en su superficie por la formación de biopelículas de color pardusco (Lobo et al., 2016)

3.6.4.2 *Procedimiento de retiro de algas diatomeas*

El procedimiento para retirar las algas diatomeas del sustrato fue el siguiente:

- Se tomó el frasco esterilizado (en la que se puede colocar fácilmente una piedra).
- Frotamos la superficie de la piedra con un cepillo (el cepillo debe tener cerdas duras) para eliminar la biopelícula.
- Se vierte una pequeña cantidad de agua destilada sobre el frasco para que toda la biopelícula sea removida
- Al final de este proceso, se sella bien para que no se contamine la muestra
- El frasco que contiene la muestra se etiqueta adecuadamente con una tira adhesiva, indicando dónde y cuándo se tomó la muestra, el tamaño de la muestra y el nombre de la persona responsable.
- Finalmente, las muestras se guardaron en un cooler térmico para su posterior tratamiento (Lobo et al., 2016; Lucero y Paredes, 2017)

3.6.4.3 *Procesamiento de laboratorio para la muestra de diatomeas*

De acuerdo con la técnica de laboratorio manifestada en (Lobo et al., 2016) para el procesamiento de la muestra, se realizó la metodología que se detalla a continuación:

Etapas 1

- Se tomó 10 ml del fondo de la muestra y se vertió en un tubo de ensayo al cual se añadió agua destilada.
- Se centrifugó el material a 3000 rpm por dos minutos y posterior a ello se desechó el sobrenadante.
- Se añadió 6ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) con ayuda de una pipeta tocando la pared del tubo de ensayo.
- Se colocó la muestra a hervir por aproximadamente por 1 hora en un vaso de precipitación con pequeños fragmentos de vidrio para evitar el riesgo de quebrar los tubos por las altas temperaturas del agua y se dejó enfriar.

Etapa 2

- Se añadió 0,8 gramos de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y se calentó a 90 grados centígrados por aproximadamente 1 hora.
- Se dejó reposar por 24 horas para continuar con el tratamiento.
- Luego de ello se centrifugó de la muestra a 3000 rpm por dos minutos para retirar el dicromato de potasio, se descartó el sobrenadante en un recipiente para desechos tóxicos.
- De nuevo se añadió agua destilada a la muestra y se realizó esta operación hasta que la muestra quedara transparente.

Etapa 3

- Se colocó la muestra en tubos más pequeños previamente etiquetados.
- El siguiente paso fue añadir 2 ml de ácido clorhídrico (HCl) para remover toda la materia orgánica.
- Se puso la muestra a hervir por aproximadamente 1 hora.
- Otra vez se dejó enfriar.
- Se descartó el sobrenadante en un recipiente de desechos tóxicos.
- Se añadió agua destilada al sedimento para llevar nuevamente a centrifugación a 3000 rpm durante 2 minutos.
- Se realizó esta la operación con el objetivo de retirar todo el HCL de las muestras.

3.6.4.4 Fijación de muestra en placa permanente

- Se tomó un cubreobjetos (18mm x 18mm) y se colocó en la plancha de calentamiento.
- Se añadió unas gotas de la muestra de diatomeas con ayuda de una pipeta Pasteur.
- Luego se añadió 2 a 3 gotas de agua destilada para homogenizar la muestra
- Agregar también algunas gotas de etanol al 70 % para que toda la muestra quede esparcida y no se formen acumulaciones de diatomeas.
- Se esperó hasta el secado completo del cubreobjetos en la plancha de calentamiento a una temperatura aproximada de 80 grados centígrados, evitando la ebullición de las muestras.
- Después del secado el cubreobjetos se invirtió y se colocó en un portaobjetos que contiene una pequeña gota de Naphrax, que es un medio de montaje con un alto índice de refracción,
- El portaobjetos se colocó sobre la plancha de calentamiento hasta la evaporación completa del Naphrax.
- Se etiquetó las placas con sus respectivos puntos de muestreo para su fácil interpretación (Lobo et al., 2016)

3.6.5 Índice de la calidad del agua

Para la determinación de la calidad del agua según el ICA NSF se aplica la siguiente tabla para de esta manera interpretar los valores obtenidos el estado que se encuentra el agua.

Tabla 3-4: Tabla del ICA

Calificación	Rango
Muy mala	0-25
Mala	26-50
Regular	51-70
Buena	71-90
Excelente	91-100

Fuente: (Lekshmi prasad y Kani, 2017)

Realizador por: Alvarado A., 2024.

3.6.6 Obtención del valor del índice trófico de la calidad del agua

Según Lobo et al., (2016) después de llevar a cabo el recuento de las diatomeas en cada uno de los puntos para determinar el Índice Trófico de la calidad del agua, se procede a utilizar la siguiente fórmula:

$$ITCA = \frac{\sum(vt * h)}{\sum h}$$

En donde:

vt: Valor trófico de las especies

h: Cantidad de la especie

Una vez calculado el índice trófico de la calidad del agua (ITCA) utilizando la fórmula mencionada anteriormente, se establece el grado de contaminación consultando la tabla siguiente, que muestra los valores del ITCA en un rango de 1,0 a 4,0.

Tabla 3-5: Relación del ITCA con la calidad del agua

ITCA	Niveles de contaminación
3,5- 4,0	Eutrófico (contaminación intensa)
2,5- 3,5	α - mesotrófico (contaminación resistente)
1,5- 2,5	β - mesotrófico (contaminación moderada)
1,0- 1,5	Oligotrófico (contaminación mínima)

Fuente: (Lobo et al., 2016)

Realizador por: Alvarado A., 2024.

3.6.7 *Obtención del valor del índice de diatomeas pampeano de la calidad del agua*

Según (Licursi & Gómez, 2003) para determinar el índice de diatomeas pampeano se procede a aplicar la siguiente fórmula:

$$IDP = \frac{\Sigma(I * A)}{\Sigma A}$$

Donde:

I: valor del IDP para la especie (fluctúa entre 0 y 4)

A: abundancia relativa de la especie

Una vez calculado el índice de diatomeas pampeano (IDP) utilizando la fórmula mencionada anteriormente, se establece el grado de contaminación consultando la tabla siguiente, que muestra los valores del IDP en un rango de 0 a 4,0.

Tabla 3-6: Índice de diatomeas pampeano y su relación con la calidad del agua

IDP	Niveles de contaminación
>3,0- 4,0	Muy fuerte
>2,0- 3,0	Fuerte
>1,5- 2,0	Moderado
>0,5- 1,5	Leve
0- 0,5	Mínimo

Fuente: (Estrada Hidalgo et al. 2018)

Realizador por: Alvarado A., 2024.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de los parámetros fisicoquímicos del Agua

4.1.1. Potencial Hidrógeno

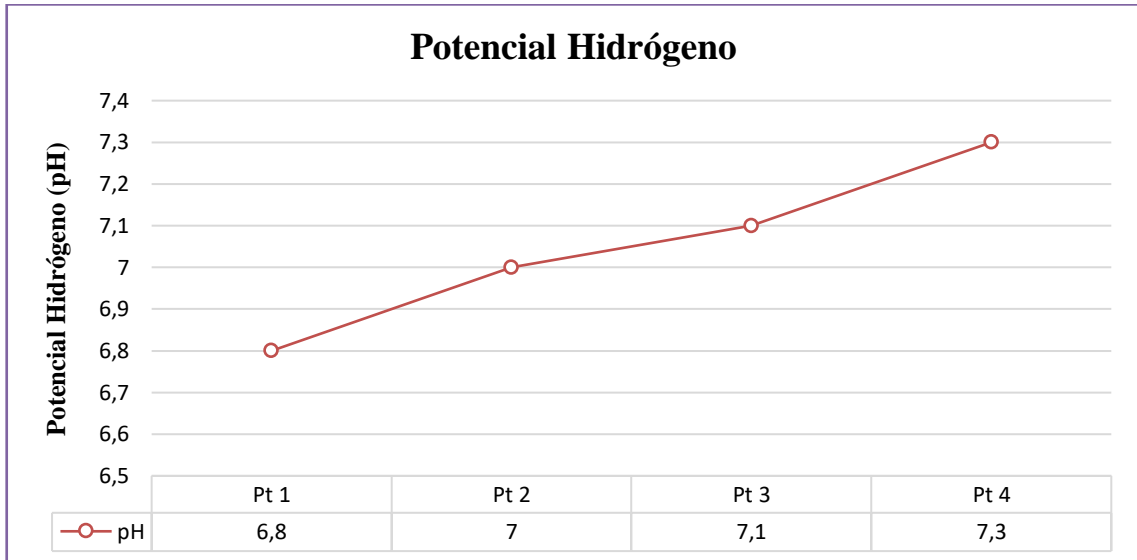


Gráfico 4-1: Medición del pH en los 4 puntos de monitoreo

Realizador por: Alvarado A., 2024.

Los resultados del pH en los puntos de muestreo de agua revelan información crucial sobre la acidez o alcalinidad de la muestra en el diferente trayecto del río. En el primer punto de muestreo, se registró un pH de 6,8, indicando una ligera acidez en comparación con la neutralidad del pH 7. Esto podría estar relacionado con factores locales como la presencia de materia orgánica descompuesta o por el monocultivo de pitahaya que existe a lo largo del río Metzeras. En el segundo punto, el pH fue de 7, lo que se considera neutral y sugiere condiciones equilibradas en cuanto a acidez y alcalinidad. El tercer punto presentó un pH ligeramente superior, alcanzando 7,1, lo que podría indicar una ligera alcalinidad. Por último, en el cuarto punto, se registró un pH de 7,3, sugiriendo una alcalinidad moderada. Estos resultados podrían estar influenciados por diversas fuentes, como la geología del área, la presencia de minerales o actividades humanas.

4.1.2. Turbidez

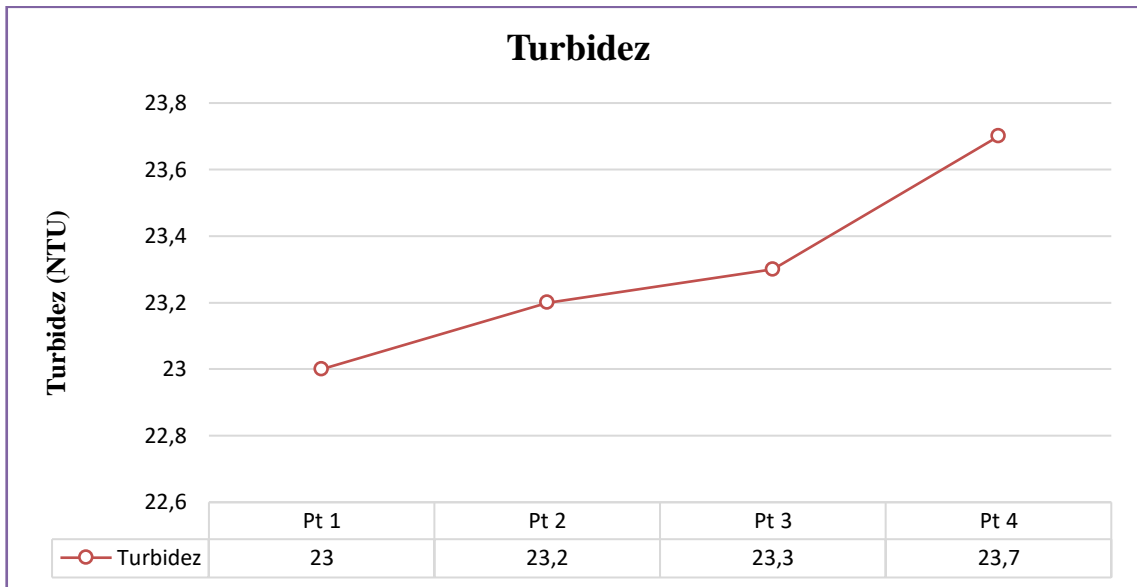


Gráfico 3.6.4.4-2: Medición de la turbidez en los puntos establecidos del río Metceras

Realizador por: Alvarado A., 2024.

Los resultados de turbidez en los puntos de muestreo de agua revelan una consistencia notable en los niveles de partículas suspendidas en las muestras recopiladas. En el primer punto de muestreo, se registró una turbidez de 23 unidades, indicando la presencia de partículas en suspensión en el agua. Este fenómeno podría deberse a factores naturales como sedimentos arrastrados por la corriente o la actividad biológica en el entorno acuático. En el segundo punto, la turbidez se mantuvo prácticamente igual, con un valor de 23.2 unidades, sugiriendo una estabilidad en la concentración de partículas suspendidas. El tercer punto presentó una ligera elevación en la turbidez, alcanzando 23.3 unidades, lo que podría indicar una mayor presencia de materiales en suspensión. Finalmente, en el cuarto punto, se observó un aumento más notable, con una turbidez de 23.7 unidades, señalando un posible incremento en la carga de partículas en esa ubicación específica. Estos resultados son cruciales para evaluar la calidad del agua, ya que la turbidez puede afectar la penetración de la luz, la vida acuática y la potabilidad del agua, resaltando la importancia de monitorear y comprender las variaciones en la turbidez en diferentes puntos de muestreo (Montoya et al. 2011).

4.1.3. Demanda Biológica de Oxígeno

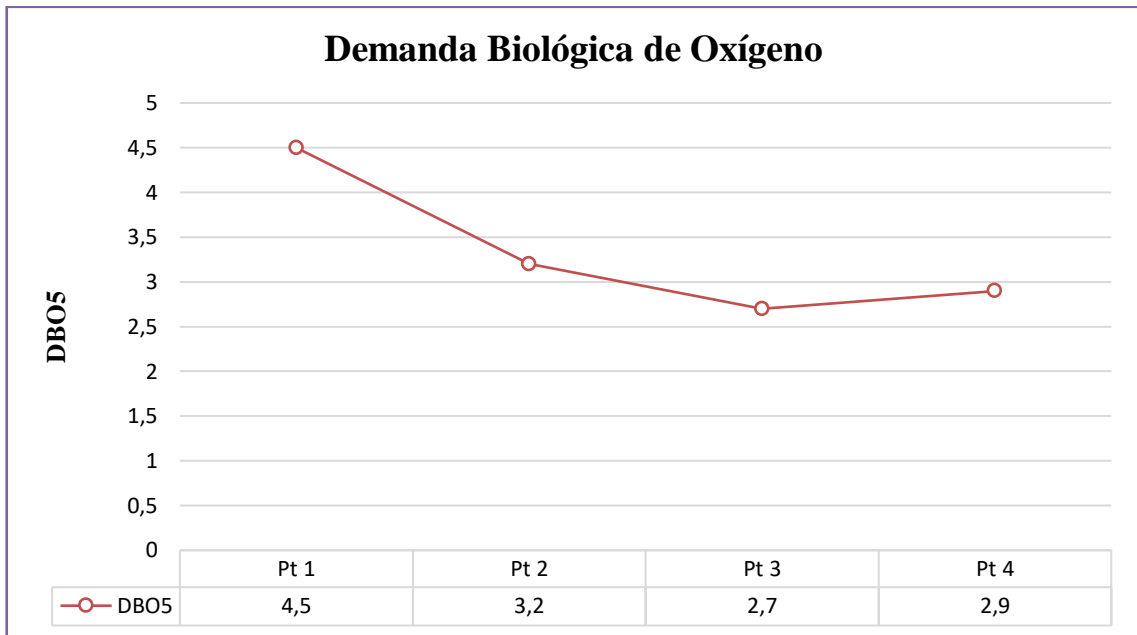


Gráfico 3.6.4.4-3: Medición del DBO en el río Metceras

Realizador por: Alvarado A., 2024.

Los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5) en los puntos de muestreo de agua ofrecen una perspectiva significativa sobre la calidad del agua, en el primer punto de muestreo, se registró una DBO5 de 4.3 mg/L, indicando una cantidad sustancial de materia orgánica biodegradable presente en el agua. Este valor podría sugerir una carga orgánica más elevada en ese punto específico, lo que podría derivar de fuentes como descargas urbanas o descargas ganaderas. En el segundo punto, la DBO5 disminuyó a 3.2 mg/L, señalando una reducción en la concentración de materia orgánica biodegradable en comparación con el primer punto. El tercer punto mostró una disminución adicional, con una DBO5 de 2.7 mg/L, indicando una mejora en la calidad del agua en términos de carga orgánica. Sin embargo, en el cuarto punto, la DBO5 aumentó ligeramente a 2.9 mg/L, sugiriendo una posible influencia de fuentes adicionales de materia orgánica. Estos resultados destacan la variabilidad en la carga de contaminantes orgánicos a lo largo de los puntos de muestreo.

4.1.4. Coliformes fecales

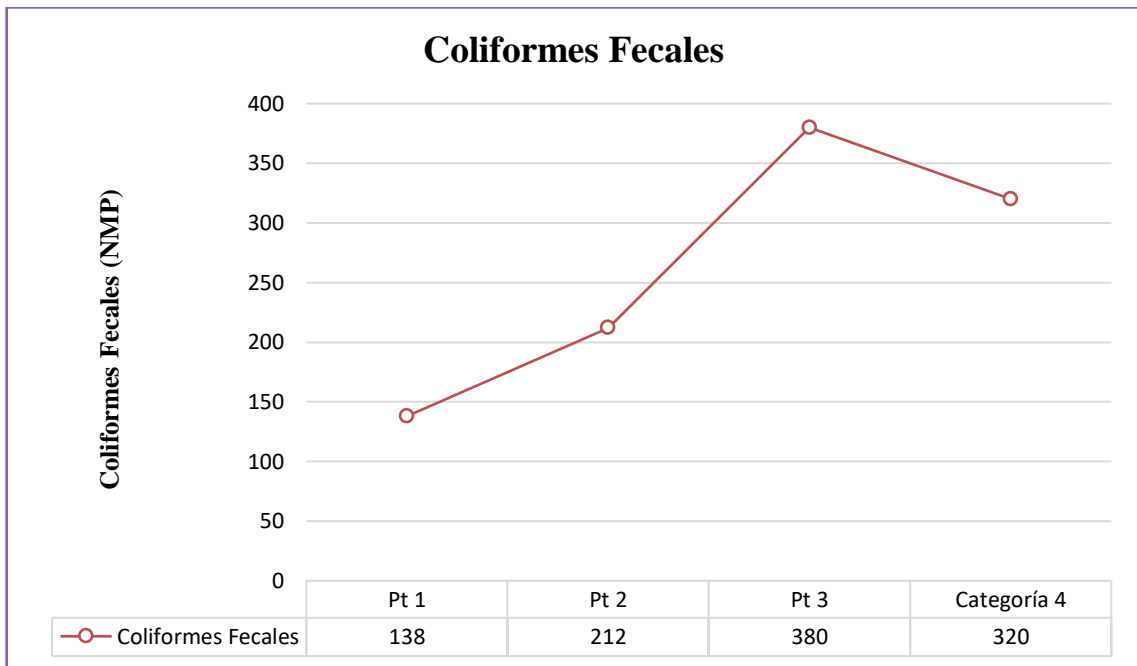


Gráfico 3.6.4.4-4: Medición de coliformes fecales de los cuatro puntos de monitoreo del río Metceras

Realizador por: Alvarado A., 2024.

La Gráfica 4-4 se muestran los resultados de los coliformes fecales en los puntos de muestreo de agua, lo cual revelan información crucial sobre la contaminación microbiológica y la seguridad del agua para el consumo humano. En el primer punto de muestreo, se detectaron 138 unidades de coliformes fecales, indicando una presencia significativa de bacterias provenientes de materia fecal. Este hallazgo podría señalar posibles fuentes de contaminación, como descargas de aguas residuales o actividades humanas cercanas. En el segundo punto, la concentración de coliformes fecales aumentó a 212 unidades, sugiriendo una mayor contaminación microbiológica en esa ubicación específica. El tercer punto presentó la concentración más alta, alcanzando 380 NMP/100mL, lo que indica un nivel considerable de riesgo para la salud pública y la necesidad de una evaluación más detallada de las fuentes de contaminación. Aunque en el cuarto punto la concentración disminuyó a 320 unidades, sigue siendo un valor preocupante que resalta la importancia de implementar medidas para mejorar la calidad del agua y proteger la salud de la comunidad. Estos resultados subrayan la necesidad de abordar las fuentes de contaminación fecal en el río Metceras y adoptar prácticas efectivas de gestión del agua para garantizar un suministro seguro y saludable.

4.1.5. Nitratos

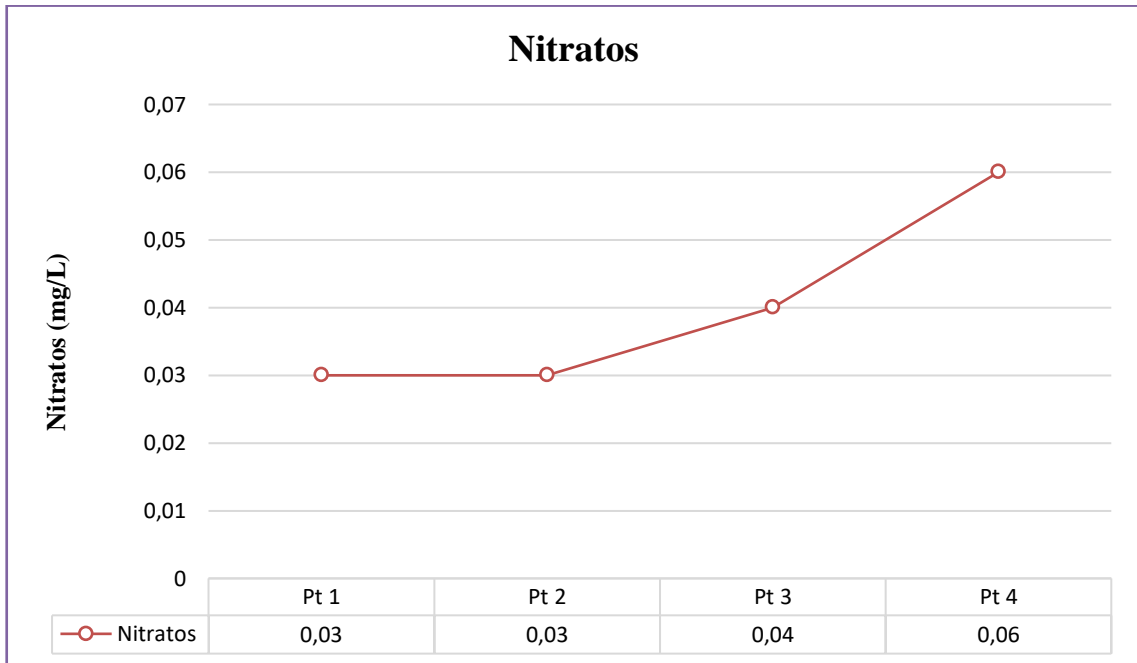


Gráfico 4-5: Medición de Nitratos en las aguas del río Metceras

Realizador por: Alvarado A., 2024.

El Gráfico 4-5 se encuentran los resultados de los niveles de nitratos en los puntos de muestreo de agua indican concentraciones relativamente bajas en todas las ubicaciones evaluadas. En el primer punto de muestreo, se registró un contenido de nitratos de 0.03 mg/L, cifra que se mantuvo constante en el segundo punto. El tercer punto presentó un ligero aumento a 0.04 mg/L, y en el cuarto punto se observó un incremento adicional a 0.06 mg/L. Estos valores sugieren que la presencia de nitratos en el agua es generalmente baja en todas las ubicaciones muestreadas. Según (Cordero, Segura y Bolaños, 2017) los nitratos son compuestos que pueden tener origen tanto natural como antropogénico, y su presencia en concentraciones elevadas puede tener implicaciones en la calidad del agua y la salud humana.

4.1.6. Temperatura

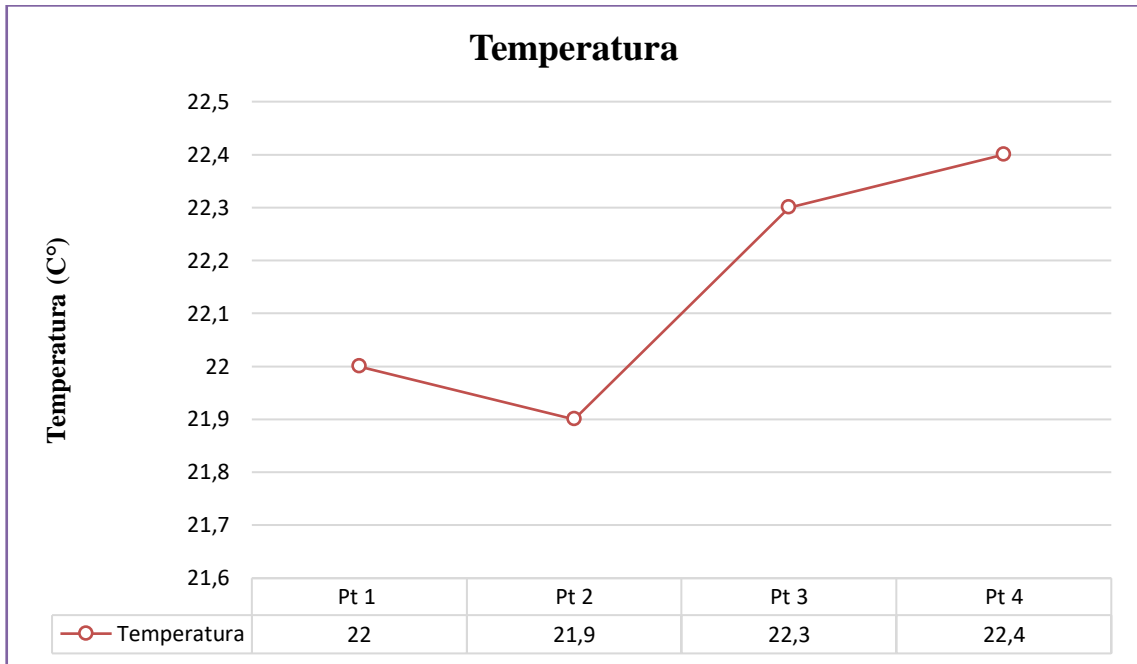


Gráfico 4-6: Variación de la Temperatura en el río Metceras

Realizador por: Alvarado A., 2024.

En la Gráfica 4-6 la temperatura en los puntos de muestreo de agua revela una estabilidad térmica general en el trayecto del río. En el primer punto de muestreo, se registró una temperatura de 22°C, la cual se mantuvo consistentemente cercana en el segundo punto con 21,9°C. El tercer punto mostró un ligero aumento a 22,3°C, y en el cuarto punto, la temperatura se mantuvo relativamente constante con 22,4°C. Estos valores indican condiciones térmicas bastante uniformes en las muestras de agua analizadas.

De acuerdo con Díaz & González (2022) la temperatura del agua es un parámetro clave que influye en diversos procesos biológicos y químicos, y su estabilidad en los puntos de muestreo sugiere condiciones ambientales equilibradas. Sin embargo, es esencial seguir monitoreando estos valores para detectar posibles variaciones estacionales o cambios a largo plazo, ya que las alteraciones en la temperatura pueden afectar significativamente los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua.

4.1.7. Oxígeno Disuelto

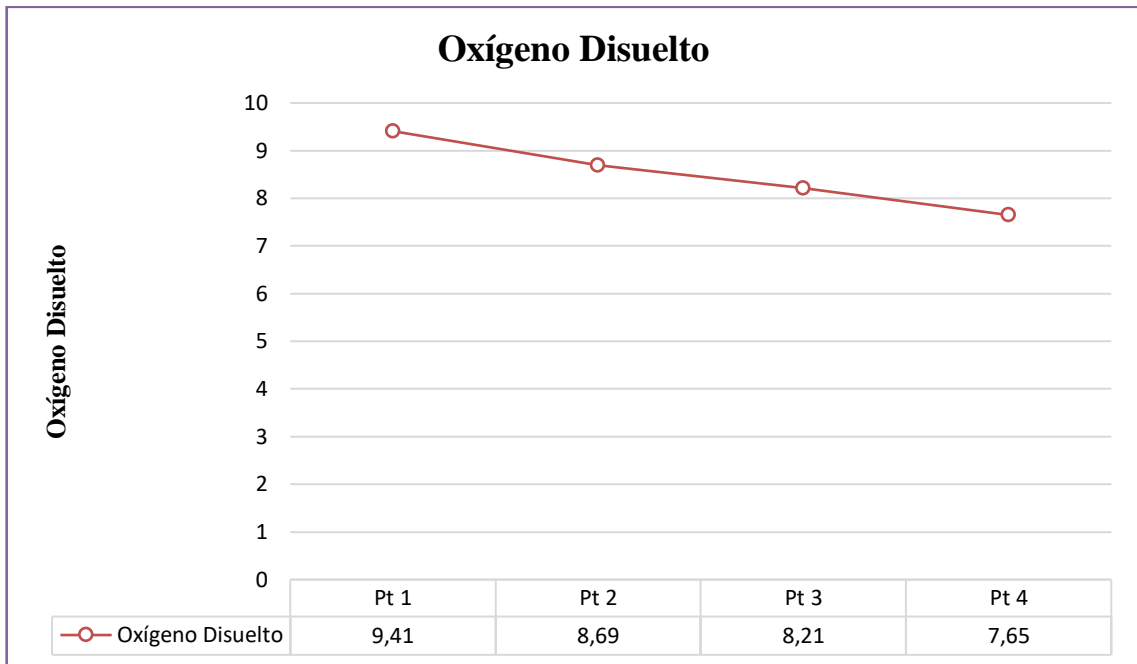


Gráfico 4-7: Medición del Oxígeno Disuelto en las aguas del río Metceras

Realizador por: Alvarado A., 2024.

Los resultados de los niveles de oxígeno disuelto en los puntos de muestreo de agua de la Gráfica 4-7 proporcionan información valiosa sobre la salud del ecosistema acuático. En el primer punto de muestreo, se registró un nivel elevado de oxígeno disuelto, alcanzando 9,41 mg/L, lo que indica condiciones favorables para la vida acuática. Sin embargo, se observó una disminución en los niveles en el segundo punto y tercer punto, llegando a 8,69 mg/L 8,21 mg/L respectivamente, y esta tendencia en el cuarto punto descendió aún más a 7,65 mg/L.

De acuerdo con Trach et al., (2022) estas disminuciones pueden deberse a diversos factores, como la actividad bacteriana, la temperatura del agua o la presencia de contaminantes. La reducción progresiva del oxígeno disuelto resalta la importancia de monitorear y abordar posibles fuentes de degradación del agua para mantener la salud del ecosistema acuático y garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico en esas ubicaciones específicas.

4.1.8. Sólidos Totales Disueltos

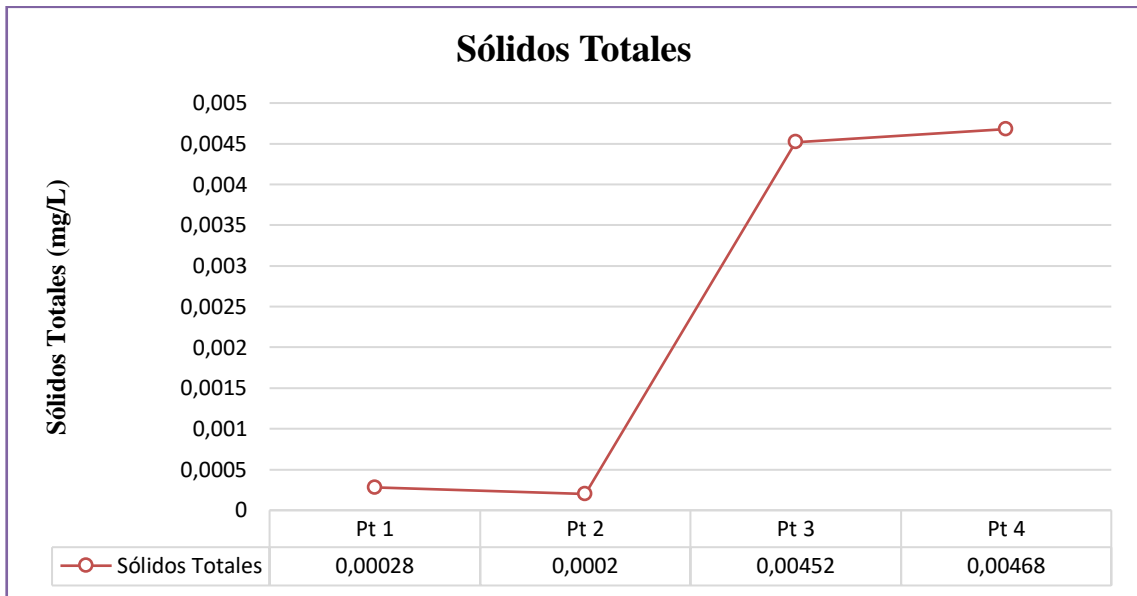


Gráfico 4-8: Medición de los Sólidos Totales en el río Metzceras

Realizador por: Alvarado A., 2024.

Los resultados de los sólidos totales disueltos (STD) en los puntos de muestreo de agua de la Gráfica 4-8 proporcionan información crucial sobre la calidad del agua y la cantidad de sustancias disueltas presentes en diferentes ubicaciones. En el primer y segundo punto de muestreo, se registraron concentraciones mínimas de STD, con valores de 0,00028 mg/L y 0,0002 mg/L respectivamente, indicando una escasa presencia de materiales disueltos en esas áreas. Sin embargo, en el tercer punto, se observó un aumento significativo en los niveles de STD, alcanzando 0,00452 mg/L, y esta tendencia se mantuvo en el cuarto punto con 0,00468 mg/L. De acuerdo con Moreno, et al., (2010) manifiesta que los STD en el agua no es un contaminante significativo, sino que indica la presencia de actividad antropogénica. En contexto cabe indicar que según la gráfica los valores están bajos debido a que no se encuentra una severa actividad humana.

4.2 Índice de calidad del agua

Tabla 4-7: Valores del Índice de Calidad del Agua de la NSF

Río Metzceras		
Puntos	Valor del índice	Clasificación
Pt 1	67,43	Regular
Pt 2	69,66	Regular

Pt 3	68,34	Regular
Pt 4	68,26	Regular

Realizador por: Alvarado A., 2024.

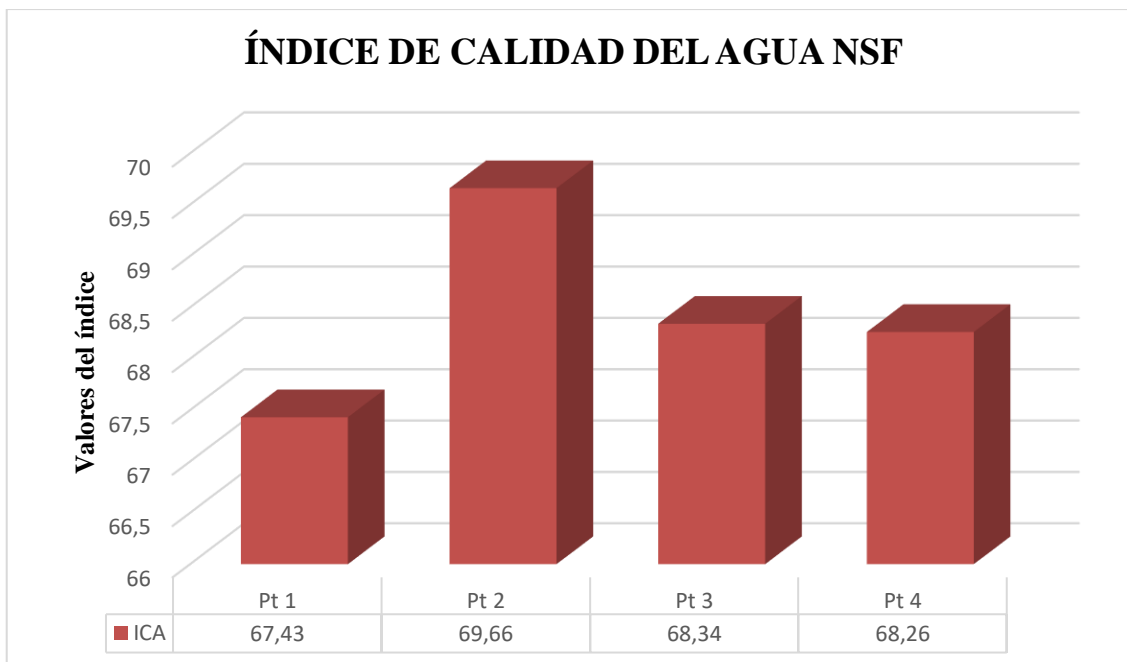


Gráfico 4-9: Valores del índice de calidad del agua de la NSF

Realizador por: Alvarado A., 2024.

Los resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA) del monitoreo del río Metceras nos revela una variabilidad mínima a lo largo de los cuatro puntos de muestreo. En el primer punto, se obtuvo un ICA de 67.43, mientras que, en el segundo punto, el valor fue ligeramente más alto, alcanzando 69.66. El tercer punto mostró un ICA de 68.34, seguido de cerca por el cuarto punto con 68.26 en todos los puntos se presentó una calidad REGULAR esto quiere decir que, aunque los valores no son críticos sugieren la presencia de ciertos niveles de contaminación, principalmente las coliformes fecales seguidos de otros parámetros como nitratos, DBO5 y turbidez.

Tabla 4-8: Valores de los parámetros de la calidad del agua

Parámetros	Unidades	Pt 1	Pt 2	Pt 3	Pt 4
		Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
pH		6,8	7	7,1	7,3
Turbidez	NTU	23	23,2	23,3	23,7
DBO5	mg/L	4,5	3,2	2,7	2,9
Coliformes Fecales	NMP/100ml	138	212	380	320

Nitratos	mg/L	0,03	0,03	0,04	0,06
Temperatura	°C	22	21,9	22,3	22,4
Solidos Totales	mg/L	0,00028	0,0002	0,00452	0,00468
Oxígeno Disuelto	mg/L	9,41	8,69	8,21	7,65

Realizador por: Alvarado A., 2024.

4.3 Análisis del ICA, índice trófico de la calidad del agua y el índice de diatomeas pampeano

Para los cuatro puntos de monitoreo ubicados a lo largo del río Metzeras, según el software IQADATA los parámetros de turbidez, nitratos, temperatura, DBO5, pH y oxígeno disuelto, se encuentran en rangos permisibles que no afectan a la calidad del agua; sin embargo, en los puntos mencionados anteriormente, se identificó niveles elevados de coliformes fecales debido a posibles fuentes de contaminación, como descargas de aguas residuales, actividades humanas cercanas y/o ganadería; como también mencionan (Rodríguez Vega et al. 2022) que este parámetro altera la calidad del agua y dando como resultado en el presente estudio el ICA regular.

En las cuatro estaciones de monitoreo se determinó un total de 66 especies de diatomeas en las cuales el nivel de contaminación en el ITCA es oligotrófico, dando como resultado, que las actividades antropogénicas o posibles fuentes de contaminación no afectan en la diversidad de las comunidades de diatomeas epilíticas y del mismo modo en el IDP en los diferentes puntos de muestreo el nivel de contaminación es leve.

Tabla 1-9: Valores del Índice Trófico de la Calidad del Agua

Puntos de Monitoreo	Niveles de contaminación	Valor
Pt 1	Oligotrófico (contaminación mínima)	1,11
Pt 2	Oligotrófico (contaminación mínima)	1,0
Pt 3	Oligotrófico (contaminación mínima)	1,17
Pt 4	Oligotrófico (contaminación mínima)	1,19

Realizador por: Alvarado A., 2024.

Tabla 4-10: Valores del Índice de Diatomeas Pampeano

Puntos de Monitoreo	Niveles de contaminación	Valor
Pt 1	Leve	1,29
Pt 2	Leve	1,10
Pt 3	Leve	1,13
Pt 4	Leve	1,32

Realizador por: Alvarado A., 2024.

La especie que se encontró en todos los puntos fue la *Gomphonema rhombicum* con un porcentaje de 7,33%, 10,83%, 16%, 16,83% respectivamente, por lo tanto, sugiere que esta especie posee la capacidad de adaptación a los diversos factores fisicoquímicos que se encuentran presentes en los cuerpos de agua. Asimismo, las especies que más abundancia representaron fueron *Craticula molestiformis* (79), *Fragilaria rumpens* (59), *Platessa conspicua* (59), *Eolimna mínima* (72), *Achnantheidium deflexum* (66), *Gomphonema rhombicum* (101).

ESPECIES	P1	P2	P3	P4	Total
<i>Achnanthes subhudsonis</i>	23	0	0	0	23
<i>Achnantheidium atomus</i> . (Hust) Monnier, Lange-Bert y Ector, 2004.	0	0	0	14	14
<i>Achnantheidium deflexum</i> . (Reimer) Kington. 2003	0	0	0	66	66
<i>Achnantheidium eutrophilum</i>	0	4	0	0	4
<i>Achnantheidium rivulare</i>	0	0	0	24	24
<i>Amphora meridionalis</i> Levkov	0	21	0	0	21
<i>Brachysira aponina</i>	0	0	5	0	5
<i>Caloneis bacillum</i>	0	0	69	13	82
<i>Cocconeis euglypta</i>	0	0	11	12	23
<i>Cocconeis euglyptoides</i>	0	8	0	0	8
<i>Cocconeis lineata</i> Ehrenberg	0	10	0	9	19
<i>Cocconeis neadiminuta</i>	11	0	0	0	11
<i>Cocconeis placentula</i> . Ehrenberg	53	0	0	19	72
<i>Craticula molestiformis</i>	79	0	0	0	79
<i>Cyclotella atomus</i> var. <i>gracilis</i>	0	0	9	0	9
<i>Cymbella compacta</i>	0	17	0	0	17
<i>Cymbella excisa</i> (Bréb. Ex Kütz) Van Heurck, 1880.	32	39	0	31	102
<i>Cymbella excisa</i> var. <i>angusta</i>	0	0	31	0	31
<i>Cymbella parva</i>	0	0	14	0	14
<i>Cymbella tumida</i> . (Bréb. Ex Kütz) Van Heurck, 1880	0	0	0	11	11
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	0	14	0	0	14
<i>Diploneis elliptica</i> Kützing	0	0	44	0	44
<i>Diploneis parma</i>	0	57	13	0	70
<i>Encyonema silesiacum</i> var. <i>altensis</i> , Krammer	13	0	17	0	30
<i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot	0	0	72	0	72
<i>Fragilaria arcus</i> (Ehrenberg) Cleve	7	0	0	0	7
<i>Fragilaria leptostauron</i> var. <i>dubia</i> . (Grunow) Edlund, 1994.	0	0	19	29	48
<i>Fragilaria rumpens</i>	0	59	0	0	59
<i>Frustulia rhomboides</i> Ross	0	9	0	0	9
<i>Frustulia saxonica</i> Rabenhorst	0	0	27	0	27
<i>Geissleria punctifera</i>	41	0	0	0	41
<i>Gomphonema acuminatum</i>	32	0	0	0	32
<i>Gomphonema kobayasil</i>	34	0	0	0	34
<i>Gomphonema minusculum</i>	0	0	33	0	33
<i>Gomphonema minutum</i> (C. Agardh) C. Agardh	0	0	15	0	15
<i>Gomphonema parvulum</i> f. <i>saprophilum</i>	0	0	0	15	15
<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>elegans</i>	60	27	48	0	135
<i>Gomphonema rhombicum</i>	44	65	96	101	306
<i>Halamphora veneta</i>	0	0	17	11	28
<i>Hippodonta capitata</i>	0	0	21	0	21
<i>Navicula angusta</i>	0	0	11	0	11
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing	15	0	0	0	15
<i>Navicula cryptotenella</i> . Krammer & LangeBertalot (1985)	0	0	19	47	66
<i>Navicula eileeniae</i> . Potapova y Ciugulea	0	0	0	34	34
<i>Navicula erifuga</i>	0	0	0	27	27
<i>Navicula germainii</i>	0	0	0	21	21
<i>Navicula gregaria</i> Donkin	21	0	0	0	21
<i>Navicula lanceolata</i> (C. Agardh) Kützing	0	0	0	64	64
<i>Navicula notha</i>	0	31	0	0	31
<i>Navicula petrovskae</i>	0	46	0	0	46
<i>Navicula veneta</i> . Kützing, 1844.	0	0	0	35	35
<i>Nitzschia inconspicua</i>	0	14	0	0	14
<i>Nitzschia linearis</i> (C. Agardh) W. Smith	4	0	0	0	4
<i>Nitzschia subtilis</i> . Kützing (1880)	0	0	6	0	6
<i>Pinnularia divergentissima</i>	25	18	0	0	43
<i>Planothidium incuriatum</i> . Wetzel	0	12	0	0	12
<i>Platessa conspicua</i>	24	59	0	0	83
<i>Reimeria uniseriata</i>	8	0	0	0	8
<i>Sellaphora seminulum</i>	0	12	0	0	12
<i>Sellaphora wallacei</i>	8	0	0	0	8
<i>Staurosira construens</i> var. <i>binodi</i>	46	0	0	0	46
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing	20	0	0	10	30
<i>Tabularia fasciculata</i>	0	24	0	0	24
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	0	54	0	0	54
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	0	0	3	0	3

Ilustración 4-5: Total de especies y diatomeas epilíticas registradas en la identificación

Realizador por: Alvarado A., 2024

Los índices fisicoquímicos y microbiológicos revelan que, a pesar de que algunos parámetros mantienen niveles permisibles, como sugiere el software IQADATA en el ICA, la presencia de coliformes fecales en ciertos puntos de monitoreo indica una preocupación por posibles fuentes de contaminación. Por otro lado, el análisis de la diversidad de diatomeas muestra una baja contaminación según el ITCA y un nivel leve según el IDP, sugiriendo una relativa resistencia de estas comunidades a las actividades humanas cercanas al río. Sin embargo, es evidente que la presencia de coliformes fecales puede ser indicativa de una contaminación más localizada y puntual, lo que sugiere la necesidad de una gestión más específica para abordar estas fuentes de contaminación y garantizar la salud a largo plazo del ecosistema acuático del río Metzeras.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En síntesis, se caracterizó que las comunidades de diatomeas epilíticas donde estas fueron sujetas a una clasificación taxonómica que incluyó sus nombres científicos, dimensiones y cantidad total de valvas, revelando una amplia diversidad de especies en el río Metceras. Además, se recurrió a fuentes bibliográficas, como bases de datos y libros adicionales, para llevar a cabo este proceso de clasificación de manera exhaustiva.

Se concluyó que la identificación taxonómica de las especies de diatomeas, así como su composición y abundancia en el río Metceras, proporciona información relevante sobre la calidad del agua. Aunque se observa una baja contaminación según el ITCA y un nivel leve según el IDP demuestra que con estos índices la calidad del río Metceras no se ve afectada por actividades humanas.

La determinación de los parámetros ambientales del río Metceras ofrece una visión holística de su estado. Si bien, algunos parámetros mantienen niveles permisibles, la presencia de coliformes fecales indica la existencia de posibles fuentes de contaminación en ciertos puntos de monitoreo, debido a esto, se señala la necesidad de una gestión más específica para abordar las fuentes de contaminación localizadas y garantizar la salud continua del ecosistema acuático.

Para finalizar, los resultados obtenidos señalan que, el índice trófico de la calidad del agua (ITCA) refleja una contaminación baja y el índice de diatomeas pampeano (IDP) indica una contaminación leve en el río Metceras. La integración de ambos índices proporciona una evaluación más precisa de la calidad del agua, respaldando la importancia de enfoques complementarios para una gestión efectiva de los recursos hídricos.

5.2 Recomendaciones

- Realizar un monitoreo continuo de las comunidades de diatomeas epilíticas en el río Metceras para establecer una línea de base de la calidad del agua y detectar posibles cambios a lo largo del tiempo.
- Implementar programas de identificación taxonómica de especies de diatomeas presentes en el río Metceras, junto con análisis de su composición y abundancia, para entender mejor la dinámica de estas comunidades y su relación con la calidad del agua.
- Ampliar el análisis de los parámetros ambientales del río Metceras, incluyendo aspectos como la presencia de fuentes puntuales de contaminación, el flujo de nutrientes y la vegetación, para obtener una comprensión más completa de los factores que influyen en la calidad del agua y así orientar medidas de gestión más efectivas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACEDO, N.**, 2017. *El género testimonio en Latinoamérica: aproximaciones críticas en busca de su definición, genealogía y taxonomía*. Latinoamérica. Revista de estudios Latinoamericanos [en línea], no. 64, ISSN 1665-8574. DOI 10.22201/cialc.24486914e.2017.64.56863. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1665-85742017000100039&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
2. **BARQUERO, P., ZARAGÜETA, M. y GOLDENBERG, A.** *Idiat-Es. Aplicación y Validación del Índice Nacional de Diatomeas en la Cuenca del Ebro* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://files/1173/Barquero et al. - 2018 - iDIAT-ES. APLICACIÓN Y VALIDACIÓN DEL ÍNDICE NACIO.pdf>.
3. **BARRENECHE, A.** *Aspectos Físicoquímicos de la Calidad del Agua* [en línea]. 1. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>.
4. **BLANCO, S., BÉCARES, E., HERNÁNDEZ, N. y ECTOR, L.** *Evaluación de la calidad del agua en los ríos de la Cuenca del Duero mediante índices diatomológicos*. [en línea], Disponible en: <https://buleria.unileon.es/handle/10612/7001>.
5. **BREÑA, A.** *Principios y fundamentos de hidrología superficial* [en línea]. 1. S.l.: Universidad Autónoma Metropolitana. Disponible en: <https://casadelibrosabiertos.uam.mx/gpd-principios-y-fundamentos-de-hidrologia-superficial.html>.
6. **CABRERA, C. y ALIÓ, J.** *Abundancia, composición y diversidad del fitoplancton en la zona de Cojimíes – Manabí, durante los meses de mayo - octubre del 2018*. Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura YAKU. ISSN: 2600-5824. [en línea], vol. 3, no. 5, ISSN 2600-5824. Disponible en: <https://publicacionescd.ulead.edu.ec/index.php/yaku/article/view/6>.
7. **CASA, V.** *Diatomeas de turberas de Tierra del Fuego: diversidad, ecología y evaluación de su uso como indicadores ambientales* [en línea]. Buenos Aires: UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. Disponible en: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n6775_Casa.pdf.
8. **CASTILLEJO, P., CHAMORRO, S., PAZ, L., HEINRICH, C., CARRILLO, I., SALAZAR, J.G., NAVARRO, J.C. y LOBO, E.A.** *Response of epilithic diatom communities to environmental gradients along an Ecuadorian Andean River*. Comptes rendus - Biologies [en línea], vol. 341, no. 4, ISSN 1631-0691. DOI 10.1016/j.crvi.2018.03.008. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2018.03.008>.

9. **CASTILLEJO, P., SOFIA, O., HEINRICH, C. y BALLESTEROS, M.** *Diatomeas Epilíticas De Los Andes Ecuatorianos*. S.l.: s.n. ISBN 978-9942-779-57-1.
10. **CASTILLO, B., RUIZ, J., MANRIQUE, M. y POZO, C.** *Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú) Contamination by agricultural pesticides in crop fields in Cañete*. ESPACIOS [en línea], vol. 41, DOI ISSN: 0798 1015. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n10/a20v41n10p11.pdf>.
11. **CASTRO, D.** *Desarrollo de un índice de diatomeas perifíticas para evaluar el estado de los humedales bogotanos*. [en línea], Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70391>.
12. **CASTRO, M., ALMEIDA, J., FERRER, J. y DÍAZ, D.** *Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global*. Ingeniería Solidaria, vol. 10, DOI <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811>.
13. **CHASIQUIZA, M.S. y COLA, G.E.** *Determinación del índice trófico de la calidad de agua a partir de la presencia de diatomeas epilíticas en el río Cutuchi sector Parque Nacional Cotopaxi, cantón Latacunga* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4202>.
14. **CORDERO, G., SEGURA, G. y BOLAÑOS, J.D.** *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)*. Tecnología en Marcha [en línea], vol. 30, no. 4, ISSN 0379-3962, 2215-3241. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7436266>.
15. **DÍAZ, S. y GONZÁLEZ, J.** *La importancia de la temperatura del agua en las redes de abastecimiento*. Ingeniería del Agua, vol. 26, no. 2, ISSN 1134-2196. DOI 10.4995/ia.2022.17366.
16. **ENCA.** *Estrategia nacional de calidad del agua*. [en línea], Disponible en: https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf.
17. **ESCOBAR, J.** *Recursos Naturales e Infraestructura - La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. S.l.: s.n. vol. 17. ISBN 9213222211.
18. **ESTRADA HIDALGO, N., OBREGON JIMENEZ, I., CATILLO ADAME, I., JORDAN ROMERO, J. y CASTRO MEJIA, J.** *Evaluación de la calidad de agua a través del índice pampeano de diatomeas (IDP) en tres diferentes localidades del río Actopan, Veracruz*. Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente [en línea], vol. 1, Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/329428126>.
19. **GARCÍA-GONZÁLEZ, J., OSORIO'ORTEGA, M.A., SAQUICELA-ROJAS, R.A.**

- y **CADME, M.** *Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los.* Ingeniería del Agua, DOI <https://doi.org/10.4995/Ia.2021.13921>.
20. **GARCÍA, A.** *Comentarios al editorial “El sector de la salud y la turbidez perpetua en las relaciones de la profesión médica y la industria farmacéutica”.* Revista de Calidad Asistencial [en línea], vol. 24, no. 4, ISSN 1134-282X. DOI 10.1016/S1134-282X(09)71803-2. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1134282X09718032>.
21. **GARCÍA, M.** *Eutrofización: una visión general.* CienciAcierta [en línea], vol. 1, Disponible en: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/>.
22. **GUANGA-CHUNATA, D., MANZANO-VELA, D., ZABALA-VIZUETE, R. y MÉNDEZ'ABARCA, D.** *Influencia de las actividades antropogénicas sobre la calidad del agua en los ríos de la costa ecuatoriana, caso de estudio.* Dominio de las Ciencias, vol. 7,
23. **GUZMÁN, B. y LEIVA, D.** *Uso de diatomeas (bacillariophyceae) como bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas, Perú, 2014 -2015* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1042>.
24. **GUZMÁN, B.L., NAVA, G. y DÍAZ, P.** *La calidad del agua para consumo humano y su asociación.* Colombia, vol. 35, DOI <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2511>.
25. **HERNÁNDEZ, L., CHAMIZO, H. y MORA, D.** *Calidad del agua para consumo humano y salud: dos estudios de caso en Costa Rica.* Rev. costarric. salud pública [en línea], vol. 20, no. 1, ISSN 1409-1429. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292011000100004&lng=en.
26. **HOLMES, M. y TAYLOR, J.C.** *Diatoms as water quality indicators in the upper reaches of the Great Fish River, Eastern Cape, South Africa.* African Journal of Aquatic Science, vol. 40, no. 4, ISSN 16085914. DOI 10.2989/16085914.2015.1086722.
27. **KORHONEN, J.J., KÖNGÄS, P. y SOININEN, J.** *Temporal variation of diatom assemblages in oligotrophic and eutrophic streams* Temporal variation of diatom assemblages in oligotrophic and eutrophic streams. European Journal of Phycology, vol. 0262, DOI 10.1080/09670262.2013.779390.
28. **LECCA, E.R. y LIZAMA, E.C.R.** *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno.* Industrial Data [en línea], vol. 17, no. 1, ISSN 1810-9993. DOI 10.15381/idata.v17i1.12035. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/12035>.

29. **LEKSHMIPRASAD, S. y KANI, K.M.** *Water Quality Assessment of Ashtamudi Lake Using Nsfwqi.* , vol. 7, no. 1,
30. **LICURSI, M. y GÓMEZ, N.** *Aplicación de índices bióticos en la evaluación de la calidad del agua en sistemas lóticos de la llanura pampeana argentina a partir del empleo de diatomeas.* *Biología Acuática* [en línea], no. 1908, Disponible en: ISSN 1668-4869 .
31. **LOBO, E., FREITAS, N. y SALINAS, V.** *Diatoms as bioindicators : Ecological aspects of the algae response to eutrophication in Latin America Diatomeas como bioindicadores : Aspectos ecológicos de la respuesta de las algas a la eutrofización en América Latina.* *Mexican Journal of Biotechnology*, vol. 4, no. 1, DOI ISSN:2448-6590.
32. **LOBO, Eduardo, HEINRICH, C., SCHUCH, M., DUPONT, A., DA COSTA, A., WETZEL, C. y ECTOR, L.** *Índice trófico de qualidade da água* [en línea]. S.l.: Universidad de Santa Cruz do Sul- Brasil. Disponible en: [https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/1767/1/Índice trófico de qualidade da água.pdf](https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/1767/1/Índice%20trófico%20de%20qualidade%20da%20água.pdf).
33. **LOBO, Eduardo A, HEINRICH, C.G., SCHUCH, M., WETZEL, C.E. y ECTOR, L.** *Diatoms as Bioindicators in Rivers.* En: O. NECCHI JR (ed.), *River Algae* [en línea]. Cham: Springer International Publishing, pp. 245-271. ISBN 978-3-319-31984-1. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-31984-1_11.
34. **LORA, M., LÓPEZ, F. y PÉREZ, C.** *Algas de Cristal; diatomeas Crystal algae; diatoms.* *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.* [en línea], vol. 6, no. 1, DOI 10.18846. Disponible en: <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/1960>.
35. **LUCERO, M. y PAREDES, M. del C.,** 2017. *Determinación del índice trófico de la calidad de agua a partir de la presencia de diatomeas epilíticas en el río Cutuchi, sector Lasso, cantón Latacunga* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4206>.
36. **MARCÓ, L., AZARIO, R. y METZLER, C.,** 2004. *La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina).* Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Entre Ríos [en línea], Disponible en: [http://files/1202/Marcó et al. - 2004 - La turbidez como indicador básico de calidad de ag.pdf](http://files/1202/Marcó%20et%20al.%20-%202004%20-%20La%20turbidez%20como%20indicador%20básico%20de%20calidad%20de%20ag.pdf).
37. **MENESES-CAMPO, Y., CASTRO-REBOLLEDO, M. y JARAMILLO-LONDOÑO, A.** *Dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices bmwp / col . Y abi comparison of water quality between two andean rivers by using the bmwp / col . And*

- abi*. *Indices*. Acta biológica colombiana, vol. 24, no. 2, DOI <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n2.70716> RESUMEN.
38. **MOLINA, E.C., GARCADIENO, L.H., RUÍZ, H.G. y MACÍAS, M. del P.C.** *Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar*. Journal of the Mexican Chemical Society [en línea], vol. 47, no. 1, ISSN 1870-249X, 2594-0317. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47547114>.
 39. **MONTOYA, C., LOAIZA, D., TORRES, P., CRUZ, C. y ESCOBAR, J.** *Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización*. Escuela de Ingeniería de Antioquia,
 40. **MORA, D., CARMONA, J. y CANTORAL-URIZA, E.A.** Epilithic diatoms in the Upper Laja River Basin, Guanajuato, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* [en línea], vol. 86, no. 4, ISSN 18703453. DOI 10.1016/j.rmb.2015.09.004. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2015.09.004>.
 41. **MORALES, Ó. y ABRIL, A.** *Water quality assessment of the rivers of Cuenca city in Ecuador*. Maskana [en línea], vol. 10, no. 2, ISSN 13906143. DOI 10.18537/mskn.10.02.08. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>.
 42. **MORELL-BAYARD, A. de la C., BERGUES-GARRIDO, P. y PORTUONDO-FERRER, E.** *Valoración de los parámetros físico-químicos de las aguas del río san juan en los períodos húmedo y seco de 2014*. Ciencia en su PC, vol. 1, DOI ISSN: 1027-2887.
 43. **MORENO, D., QUINTERO, J. y LÓPEZ, A.** *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. [en línea], Disponible en: https://www.academia.edu/35422274/Métodos_para_identificar_diagnosticar_y_evaluar_el_grado_de_eutrofia.
 44. **NICOLOSI, M.M.** *Las diatomeas del biofilm fluvial como indicadores ambientales a corto plazo en el seguimiento de la recuperación de la calidad del agua de sistemas acuáticos pampeanos* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/114100>.
 45. **OCHIENG, H., MAGEZI, G., GANDHI, W.P., OKOT-OKUMU, J. y ODONG, R.** *Epilithic diatom diversity as a bioindicator in River Aturukuku, Eastern Uganda*. Plant Ecology and Diversity [en línea], vol. 15, no. 1-2, ISSN 17551668. DOI 10.1080/17550874.2022.2058430. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/17550874.2022.2058430>.
 46. **OSCOZ, J., GOMÀ, J., ECTOR, L., CAMBRA, J., PARDOS, M. y DURÁN, C.** *Estudio comparativo del estado ecológico de los ríos de la cuenca del Ebro mediante macroinvertebrados y diatomeas*. En: Limnética, ISSN 0213-8409.

47. **POTEL, C.** *El cuerpo y el agua* [en línea]. S.l.: Ediciones AKAL. ISBN 978-84-460-1443-0. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=bSj-Q77jXUEC>.
48. **QUIROZ, L., IZQUIERDO, E. y CARLOS, M.** *Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río portoviejo, ecuador*. Centro Azúcar, vol. 45, DOI ISSN: 2223- 4861.
49. **REYES, P., SMITH, E. y CANO, D.** *Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad*. Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research, vol. 24, no. 1, ISSN 23068582. DOI 10.18271/ria.2022.328.
50. **RIERA, R., TUYA, F., SACRAMENTO, A., RAMOS, E., MONTERROSO, Ó. y RODRÍGUEZ, M.** *Influencia De La Combinación De Vertidos De Aguas Residuales Y Salmuera Sobre La Meiofauna*. Ciencias Marinas, vol. 39, no. 1, ISSN 01853880. DOI 10.7773/cm.v39i1.2162.
51. **RITA, M.C.M.** *Caracterización De Diatomeas Como Herramienta Para El Estudio De La Calidad De Agua Del Río Atacames* [en línea]. S.l.: Ecuador - PUCESE - Escuela de Gestión Ambiental. Disponible en: <http://localhost/xmlui/handle/123456789/2993>.
52. **RODRÍGUEZ, J.** *Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre*. Pensamiento Actual [en línea], vol. 9, no. 12-13, ISSN 2215-3586, 1409-0112. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5897932>.
53. **RODRÍGUEZ VEGA, G., MÉNDEZ ZAMBRANO, P., CAZORLA VINUEZA, X. y ALVARADO BARBA, R.** *Evaluación de la Calidad del Agua del Río Upano, Tramo de la Ciudad de Macas Mediante el Análisis de Macroinvertebrados*. Polo del Conocimiento, vol. 7, no. 3, DOI 10.23857/pc.v7i3.3745.
54. **ROJAS, L.F.** *Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de agua de consumo humano del centro poblado de San Marcos, distrito de Chontabamba, provincia de Oxapampa – 2018*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión [en línea], Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/412>.
55. **ROLDÁN, G.** *Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos*. Actualidades Biológicas [en línea], vol. 31, no. 91, ISSN 2145-7166. DOI 10.17533/udea.acbi.331501. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/actbio/article/view/331501>.
56. **RONDON, T., E., SZANTÓ, N.M., PACHECO, J.F., CONTRERAS, E. y A., G.** *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Manuales de la CEPAL [en línea], ISSN 2518-3923. Disponible en:

<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40407>.

57. **RUWER, D., OSÓRIO, N., COSTA-BÖDDEKER, S. y RODRIGUES, L.** *Influence of temporal changes on a diatom species in a floodplain lake: paleolimnological and biomonitoring approach*. *Diatom Research* [en línea], vol. 36, no. 1, ISSN 21598347. DOI 10.1080/0269249X.2020.1848927. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/0269249X.2020.1848927>.
58. **SARANSIG, R.** *Estudio de la calidad de agua en los afluentes de la microcuenca alta del Río Guargualla para determinar las causas de la degradación y alternativas de manejo* [en línea]. S.L.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/333>.
59. **SARDI, C.** *La diversidad de algas diatomeas como herramientas de monitoreo para la gestión de la calidad de recursos hídricos, en los páramos del Macizo del Cajas* [en línea]. S.L.: Universidad del Azuay. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8324>.
60. **SEGURA, Á., SAMPOGNARO, L., LÓPEZ, G., CRISCI, C., BOUREL, M., VIDAL, V., EIRIN, K., PICCINI, C., KRUK, C. y PERERA, G.** *Monitoreo de calidad de agua y predicción de coliformes fecales en playas de Montevideo mediante algoritmos de aprendizaje automático*. *INNOTEC* [en línea], no. 22, Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/6061/606166107009/html/>.
61. **SEGURA, V., CANTORAL, E.A., ISRADE, I. y MAIDANA, N.** *Epilithic diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water quality in the Upper Lerma River, Mexico*. *Hidrobiológica* [en línea], vol. 22, no. 1, ISSN 0188-8897. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-88972012000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=en.
62. **TRACH, R., TRACH, Y., KIERSNOWSKA, A., MARKIEWICZ, A., LENDOSI-WICKA, M. y RUSAKOV, K.** *A Study of Assessment and Prediction of Water Quality Index Using Fuzzy Logic and ANN Models*. [en línea], DOI 10.3390. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/9/5656>.
63. **VILLENA, J.** *Water quality and sustainable development*. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, vol. 35, no. 2, ISSN 17264642. DOI 10.17843/rpmesp.2018.352.3719.
64. **WOODWARD, G.** *Dragonflies: Behaviour and Ecology of Odonata*. *Freshwater Biology* [en línea], vol. 46, no. 1, ISSN 1365-2427. DOI 10.1111/j.1365-2427.2001.00664.x. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2427.2001.00664.x>.
65. **YUN, S.M., JOO, H.M., JUNG, S.W., CHOI, C.H. y LEE, J.H.** *The relationship between epilithic diatom communities and changes in water quality along the lower Han River, South Korea*. *Journal of Freshwater Ecology* [en línea], vol. 29, no. 3, ISSN 0270-5060. DOI 10.1080/02705060.2014.902778. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/02705060.2014.902778>.



ANEXOS

ANEXO A: TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA



Realizador por: Alvarado A., 2024.

ANEXO B: MEDICIÓN DE PARÁMETROS IN SITU



Realizador por: Alvarado A., 2024.

ANEXO C: TOMA DE MUESTRAS DE DIATOMEAS EPILÍTICAS



Realizador por: Alvarado A., 2024.

ANEXO D: PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE DIATOMEAS EPILÍTICAS



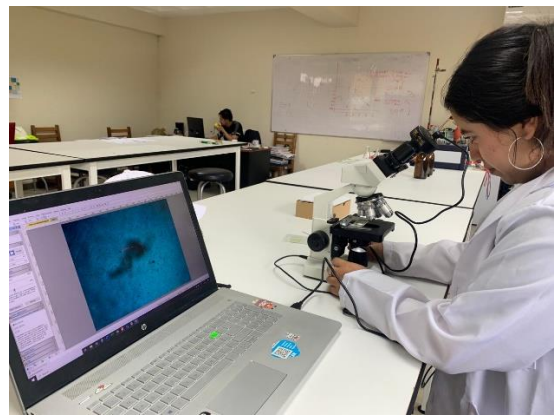
Realizador por: Alvarado A., 2024.

ANEXO E: CENTRIFUGACIÓN DE LA MUESTRA



Realizador por: Alvarado A., 2024.

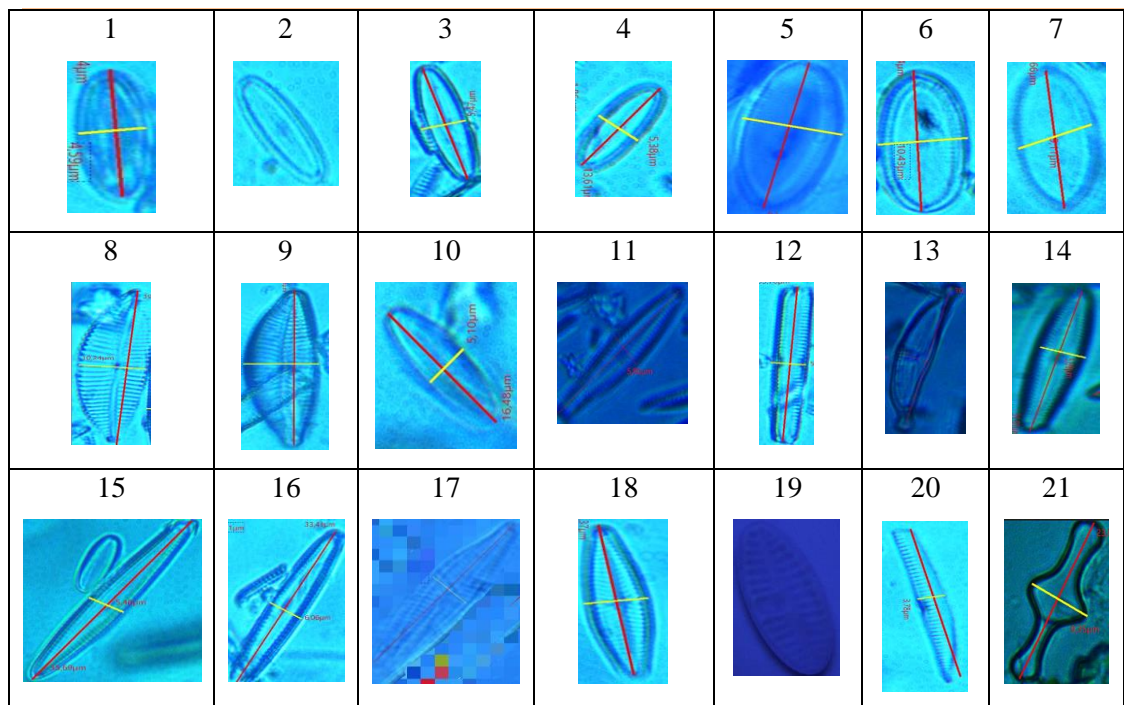
ANEXO F: IDENTIFICACIÓN MICROSCÓPICA DE LAS DIATOMEAS EPILÍTICAS



Realizador por: Alvarado A., 2024.

ANEXO G: ESPECIES DE DIATOMEAS RECOLECTADAS EN EL PT- 4

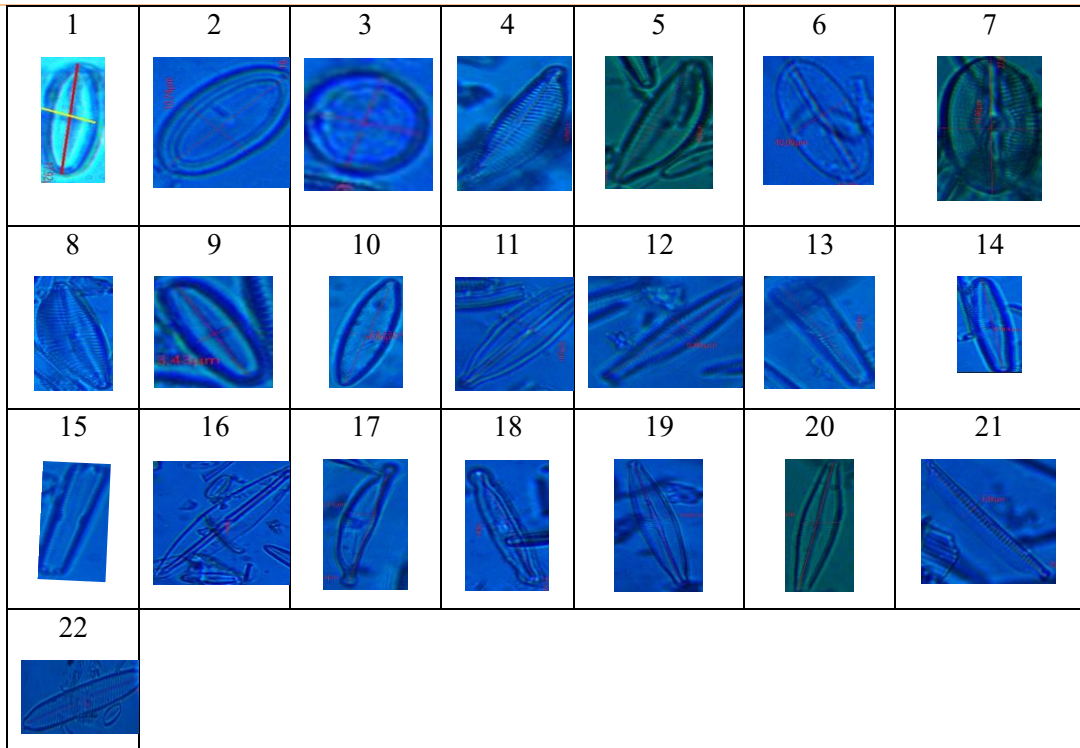
N°	Especie	Medida (µm largo*ancho)	Valvas
1	<i>Achnantheidium atomus</i> . (Hust) Monnier, Lange-Bert y Ector, 2004.	14,24*4,59	14
2	<i>Achnantheidium deflexum</i> . (Reimer) Kington. 2003	12,22*4,23	66
3	<i>Achnantheidium rivulare</i>	18,98*5,57	24
4	<i>Caloneis bacillum</i>	13,61*5,38	13
5	<i>Cocconeis euglypta</i>	20,81*10,77	12
6	<i>Cocconeis lineata</i> Ehrenberg	20,14*10,43	9
7	<i>Cocconeis placentula</i> . Ehrenberg	19,66*9,11	19
8	<i>Cymbella excisa</i> (Bréb. Ex Kütz) Van Heurck, 1880.	38,69*13,24	31
9	<i>Cymbella tumida</i> . (Bréb. Ex Kütz) Van Heurck, 1880	39,60*10,24	11
10	<i>Fragilaria leptostauron var dubia</i> . (Grunow) Edlund, 1994.	16,48*5,10	29
11	<i>Gomphonema parvulum f.saprophilum</i>	27,12*5,80	15
12	<i>Gomphonema rhombicum</i>	33,70*6,67	101
13	<i>Halamphora veneta</i>	30,32*5,73	11
14	<i>Navicula cryptotenella</i> . Krammer & LangeBertalot (1985)	31,01*5,69	47
15	<i>Navicula eileeniae</i> . (Potapova y Ciugulea)	35,69*5,46	34
16	<i>Navicula erifuga</i>	33,41*6,06	27
17	<i>Navicula germainii</i>	25,27*5,42	21
18	<i>Navicula lanceolata</i> . (Agardh) Kützing	36,08*5,23	64
19	<i>Navicula veneta</i> . Kützing, 1844.	19,14*5,85	35
20	<i>Rhopalodia gebberula</i> . (Ehrenb) O Müll, 1895.	31,37*3,78	7
21	<i>Tabellaria flocculosa</i>	23,84*9,35	10
Total	600		600



Realizador por: Alvarado A., 2024.

ANEXO H: ESPECIES DE DIATOMEAS RECOLECTADAS EN EL PT- 3

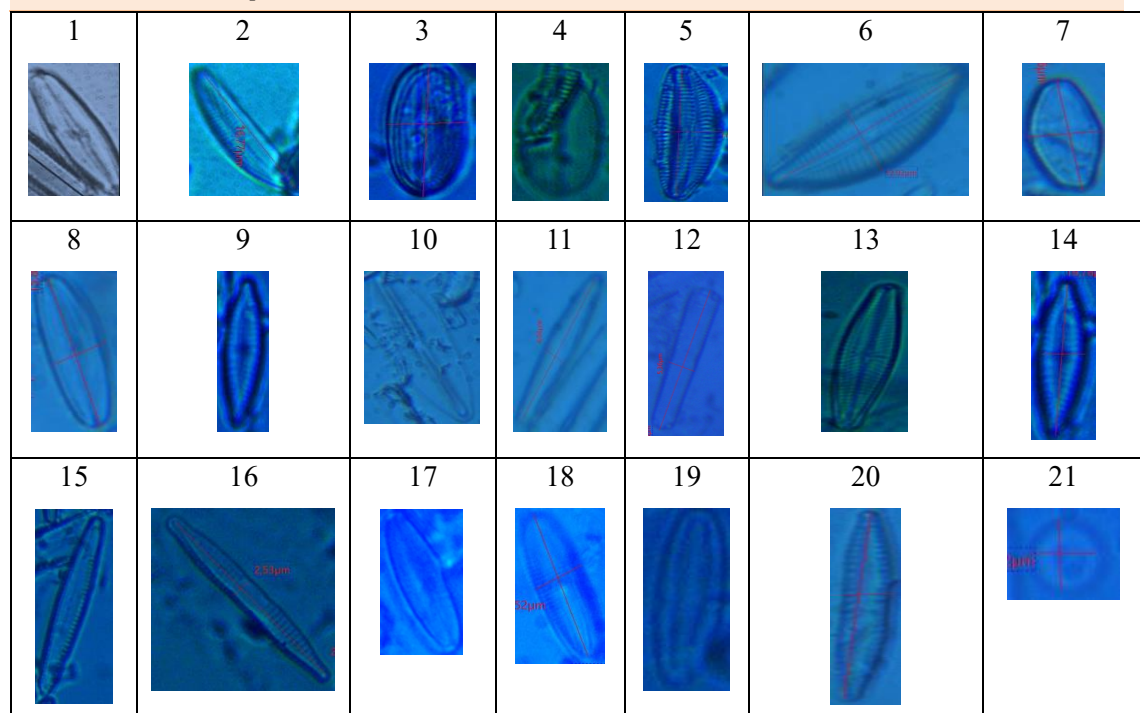
N°	Especie	Medida (µm largo*ancho)	Valvas
1	<i>Caloneis bacillum</i>	17,92*5,81	69
2	<i>Cocconeis euglypta</i>	19,74*10,74	11
3	<i>Cyclotella atomus var. gracilis</i>	5,81*8,24	9
4	<i>Cymbella excisa var. angusta</i>	35,48*11,24	31
5	<i>Cymbella parva</i>	34,35*10,66	14
6	<i>Diploneis elliptica</i> Kützing	19,78*10,09	44
7	<i>Diploneis parma</i>	27,85*13,96	13
8	<i>Encyonema silesiacum</i>	37,35*10,78	17
9	<i>Eolimna minima</i> Lange-Bertalot	10,48*3,43	72
10	<i>Fragilaria leptostauron var dubia.</i> (Grunow) Edlund, 1994.	24,12*6,98	19
11	<i>Frustulia saxonica</i> Rabenhorst	31,86*10,49	27
12	<i>Gomphonema minusculum</i>	27,12*5,80	33
13	<i>Gomphonema minutum</i>	28,98*7,29	15
14	<i>Gomphonema pumilum var. elegans</i>	28,42*5,84	48
15	<i>Gomphonema rhombicum</i>	32,77*6,18	96
16	<i>Brachysira aponina</i>	63,77*14,76	5
17	<i>Halamphora veneta</i>	30,61*5,71	17
18	<i>Hippodonta capitata</i>	45,02*6,89	21
19	<i>Navicula angusta</i>	30,32*5,73	11
20	<i>Navicula cryptotenella</i>	31,14*5,65	19
21	<i>Nitzschia subtilis.</i> Kützing (1880)	29,24*3,96	6
22	<i>Ulnaria ulna</i>	90,45*7,32	3



Realizador por: Alvarado A., 2024.

ANEXO I: ESPECIES DE DIATOMEAS RECOLECTADAS EN EL PT- 2

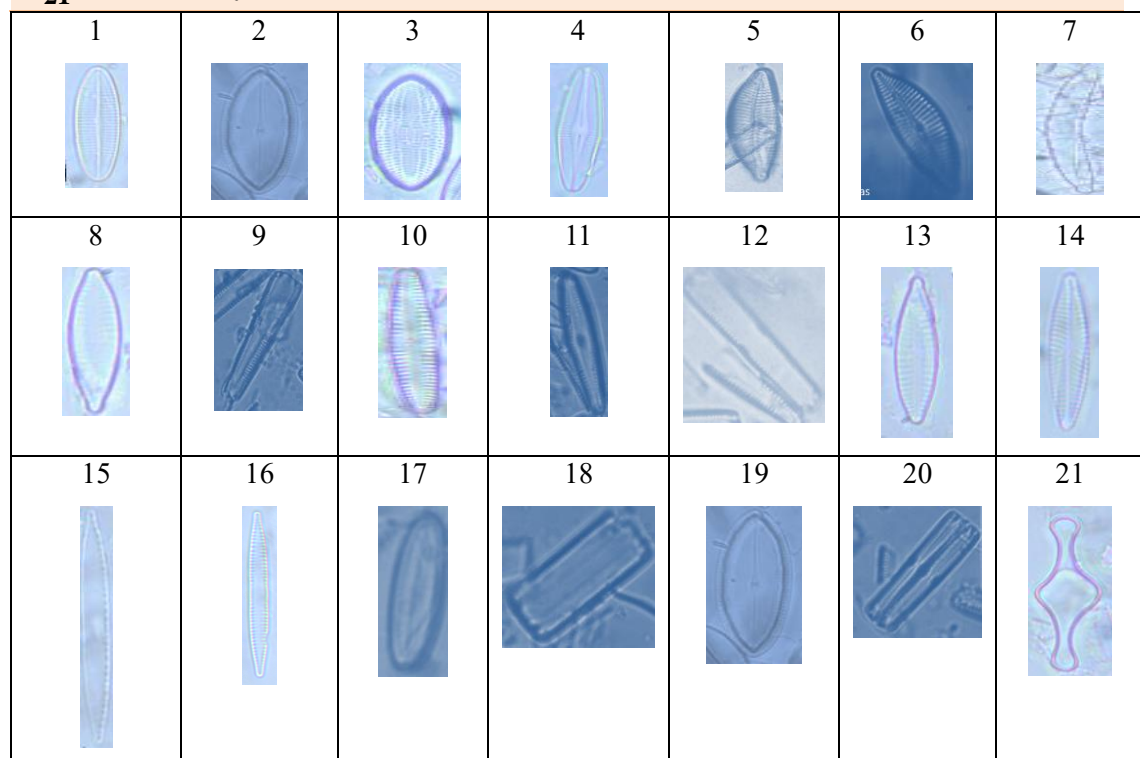
N°	Especie	Medida (µm largo*ancho)	Valvas
1	<i>Achnanthydium eutrophilum</i>	17,06*4,73	4
2	<i>Amphora meridionalis</i>	16,72*4,39	21
3	<i>Cocconeis euglyptoides</i>	17,54*8,44	8
4	<i>Cocconeis lineata</i>	18,84*8,97	10
5	<i>Cymbella compacta</i>	32,73*11,75	17
6	<i>Cymbella excisa</i>	35,57*12,02	39
7	<i>Diatoma vulgare</i>	13,96*6,99	14
8	<i>Diploneis parva</i>	15,81*5,63	57
9	<i>Fragilaria rumpens</i>	22,85*5,21	59
10	<i>Frustulia rhomboides</i> Ross	34,86*12,98	9
11	<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>elegans</i>	30,28*4,95	27
12	<i>Gomphonema rhombicum</i>	30,38*5,36	65
13	<i>Navicula notha</i>	24,79*5,24	31
14	<i>Navicula petrovskae</i>	19,78*4,80	46
15	<i>Nitzschia inconspicua</i>	34,35*10,66	14
16	<i>Pinnularia divergentissima</i>	25,61*2,53	18
17	<i>Planothidium incuriatum</i> . Wetzel	15,20*5,81	12
18	<i>Platessa conspicua</i>	16,19*5,52	59
19	<i>Sellaphora seminulum</i>	10,78*3,44	12
20	<i>Tabularia fasciculata</i>	27,19*3,44	24
21	<i>Thalassiosira pseudonana</i>	5,65*5,32	54



Realizador por: Alvarado A., 2024.

ANEXO J: ESPECIES DE DIATOMEAS RECOLECTADAS EN EL PT- 1

N°	Especie	Medida (µm largo*ancho)	Valvas
1	<i>Achnanthes subhudsonis</i>	15,67*3,80	23
2	<i>Cocconeis neodiminuta</i>	17,12*6,49	11
3	<i>Coconeis placentula</i>	15,67*3,07	53
4	<i>Craticula molestiformis</i>	14,19*5,16	79
5	<i>Cymbella excisa</i>	33,52*12,09	32
6	<i>Encyonema silesiacum var. altensis</i> , Krammer	36,40*10,65	13
7	<i>Fragilaria arcus</i>	48,98*4,46	7
8	<i>Geissleria punctifera</i>	18,84*4,63	41
9	<i>Gomphonema acuminatum</i>	35,84*5,44	32
10	<i>Gomphonema kobayasii</i>	25,65*3,84	34
11	<i>Gomphonema pumilum var. elegans</i>	27,65*5,74	60
12	<i>Gomphonema rhombicum</i>	30,19*5,80	44
13	<i>Navicula cryptocephala</i>	25,08*7,89	15
14	<i>Navicula gregaria</i>	21,03*3,79	21
15	<i>Nitzschia linearis</i>	23,29*2,69	4
16	<i>Pinnularia divergentissima</i>	23,54*3,13	25
17	<i>Platessa conspicua</i>	11,80*3,55	24
18	<i>Reimeria uniseriata</i>	23,45*10,61	8
19	<i>Sellaphora wallacei</i>	23,09*4,03	8
20	<i>Staurosira construens var. binodi</i>	22,19*8,14	46
21	<i>Tabellaria flocculosa</i>	17,11*6,53	20



Realizador por: Alvarado A., 2024.



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

Fecha de entrega: 07/06/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR

Nombres – Apellidos: Alison Stephany Alvarado Benalcázar

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: Ciencias

Carrera: Ingeniería Ambiental

Título a optar: Ingeniera Ambiental

Ing. Luis Patricio Tierra Pérez, Mgs

Director del Trabajo de Titulación

Ing. Patricio Vladimir Méndez Zambrano, Mgs

Asesor del Trabajo de Titulación

