



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Ambiental

Evaluación de la calidad de agua del río Catamayo mediante la caracterización de *bacillaryophyta* y de las condiciones físicas y químicas

Trabajo de Integración Curricular,
previa a la obtención del título de
Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Jairo Alejandro Cisneros Orozco

DIRECTOR:

Ing. Victor Alonso Cartuche Paqui. Ph.D.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 18 de octubre de 2024

Ing. Victor Alonso Cartuche Paqui. *Ph.D.*

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de la calidad de agua del río Catamayo mediante la caracterización de *bacillaryophyta* y de las condiciones físicas y química**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Ambiental**, de la autoría del estudiante **Jairo Alejandro Cisneros Orozco**, con **cédula de identidad Nro.1805382601**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



El modo electrónico consta por:
VICTOR ALONSO
CARTUCHE PAQUI

Ing. Victor Alonso Cartuche Paqui. *Ph.D.*

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Jairo Alejandro Cisneros Orozco**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Jairo Alejandro Cisneros Orozco

Cédula: 1805382601

Fecha: 25/11/2024

Correo electrónico: jairo.cisneros@unl.edu.ec

Celular: 0939215986

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular

Yo **Jairo Alejandro Cisneros Orozco**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de la calidad de agua del río Catamayo mediante la caracterización de *bacillaryophyta* y de las condiciones físicas y químicas**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Ambiental**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veinticinco días del mes de noviembre del dos mil veinticuatro.



Autor: Jairo Alejandro Cisneros Orozco

Cédula: 1805382601

Dirección: Trapichillo, Catamayo

Correo electrónico: jairo.cisneros@unl.edu.ec

Celular: 0939215986

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular:

Ing. Victor Alonso Cartuche Paqui *Ph.D.*

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres de crianza y abuelos paternos Jorge y Paola, ya que, esto es fruto del esfuerzo que ellos han hecho por mí.

A mis tíos, por aconsejarme en momentos de duda y, especialmente a mi tía Paola por su apoyo constante.

A mis primas y primos, por estar siempre presentes y recordarme lo importante de la familia.

A mis amigos, que siempre estuvieron en los buenos y malos momentos, con su presencia hicieron de todo este proceso algo más llevadero.

Jairo Alejandro Cisneros Orozco

Agradecimiento

La finalización del presente Trabajo de Integración Curricular no habría sido posible sin el apoyo y colaboración de todos aquellos a los que me gustaría expresar mi agradecimiento.

Agradezco con profunda sinceridad a mis padres de crianza y abuelos paternos Jorge y Paola, por su lucha y apoyo constante que me brindo el impulso necesario para alcanzar mis metas, su presencia en cada etapa de mi vida ha sido mi mayor motivación, a mi tía Paola quien en momentos de necesidad fue el apoyo que me brindo guía en mi camino académico.

De igual forma agradecer a mis amigos y compañeros de carrera con quienes compartí experiencias importantes durante esta etapa.

Finalmente, expresar mi agradecimiento a todos aquellos que de manera directa o indirecta contribuyeron a lo largo de este proceso. A todos, muchas gracias.

Jairo Alejandro Cisneros Orozco

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1. El Agua.....	6
4.2. Fuentes Naturales de Contaminación	6
4.3. Fuentes Antropogénicas de Contaminación	6
4.4. Parámetros de Calidad de Agua	6
4.4.1. Índice Diatómico General (IDG).....	6
4.4.2. Índice de Calidad del Agua (ICA).....	6
4.4.3. Turbidez.....	7
4.4.4. Temperatura del Agua.....	7
4.4.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	7
4.4.6. Fósforo (Fosfatos).....	7
4.4.7. Nitrógeno (Nitratos).....	7

4.4.8.	Oxígeno Disuelto (OD)	8
4.4.9.	Potencial de Hidrógeno (pH).....	8
4.5.	Parámetros Biológicos	8
4.5.1.	Coliformes Fecales.....	8
4.5.2.	Clorofila.....	8
4.6.	Bioindicador	8
4.7.	Bacillaryophytas	9
4.7.1.	Diatomeas y su Ventaja como Bioindicadores de Calidad.....	9
4.7.2.	Identificación de bacillaryophytas.....	10
4.8.	Marco Legal.....	10
4.8.1.	Código Orgánico del Ambiente (COA).....	11
5.	Metodología	12
5.1.	Área de trabajo.....	12
5.2.	Metodología primer objetivo.....	12
5.2.1.	Muestreo del agua	13
5.2.2.	Muestreo de Bacillaryophyta.....	13
5.2.3.	Limpieza del material orgánico de diatomeas	13
5.2.4.	Secado de diatomeas	14
5.2.5.	Identificación Taxonómica de diatomeas en laboratorio	14
5.2.6.	Conteo de diatomeas en laboratorio	14
5.3.	Metodología segundo objetivo	15
5.3.1.	Cálculo para la abundancia	15
5.3.2.	Índice diatómico general (IDG).....	15
5.4.	Metodología tercer objetivo	18
5.4.1.	Índice de calidad de agua (ICA).....	18
6.	Resultados	23

6.1.	Composición taxonómica de bacillaryophyta en el tramo de estudio del río Catamayo.	23
6.2.	Condiciones Fisicoquímicas del río Catamayo.....	26
6.3.	Índice Diatómico General (IDG).....	27
6.4.	Índice de Calidad del Agua (ICA).....	27
7.	Discusión	28
8.	Conclusiones	30
9.	Recomendaciones	30
10.	Bibliografía	31
11.	Anexos	38

Índice de tablas

Tabla 1 Puntos de muestreo en el tramo de estudio del río Catamayo.....	13
Tabla 2 Relación del índice diatómico general	16
Tabla 3 Taxones de diatomea utilizados como indicador de calidad para IDG	16
Tabla 4. Solubilidad del oxígeno en cuerpos de agua dulce	19
Tabla 5 Pesos relativos de cada parámetro utilizando ICA-NFS	20
Tabla 6 Rangos del ICA.....	22
Tabla 7 Resultados Índice Diatómico General.....	27
Tabla 8 Parámetros Fisicoquímicos y Biológicos de las muestras de agua.....	26
Tabla 9 Resultados del Índice de Calidad de Agua	27

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación de las microcuencas abastecedoras y puntos de muestreo del río Catamayo.....	12
Figura 2 Esquema de conteo en celdas	15
Figura 3 Curvas promedio de la variación de calidad del agua de Brown et al., (1970).....	21

Índice de anexos

Anexo 1. Fotografías de la recolección de muestras de agua del río Catamayo	38
Anexo 2. Fotografías de la identificación del material fitoplanctónico y recolección de muestras en el río Catamayo.....	38
Anexo 3. Fotografías de la limpieza del material orgánico y secado de diatomeas en laboratorio	39
Anexo 4. Fotografías de la identificación y conteo de diatomeas en microscopio	40
Anexo 5. Fotografías de los géneros y especies de diatomeas en microscopio	41
Anexo 6. Certificado de traducción del resumen	43

1. Título

Evaluación de la calidad de agua del río Catamayo mediante la caracterización de *bacillaryophyta* y de las condiciones físicas y químicas

2. Resumen

El río Catamayo, ubicado en la subcuenca Catamayo de la provincia de Loja, se enfrenta a una creciente presión antropogénica que ha afectado su calidad hídrica. En este contexto, el uso de *bacillaryophyta* (diatomeas) como bioindicador de calidad del agua, representa una herramienta confiable para monitoreo de cuerpos hídricos. La presente investigación busca responder a la incógnita basada en ¿el uso de *bacillaryophyta* como bioindicador nos permite determinar la calidad biológica y calidad del agua en el río Catamayo?, para ello, se realizó un muestreo en cinco puntos del río, recolectando muestras de agua y material fitoplanctónico que fueron analizadas en laboratorio y sometidos al cálculo del Índice Diatómico General (IDG), también se midieron parámetros fisicoquímicos como pH, oxígeno disuelto, DBO₅, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, coliformes fecales y STD para calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA). Los resultados del IDG indicaron que la calidad del agua es regular, con niveles de polución moderada y signos de eutrofización en su calidad biológica. El género *Gomphonema* mostro dominancia sobre la comunidad de diatomeas, siendo indicadora de tolerancia a la contaminación. Por su parte, el ICA clasificó la calidad del agua como media en tres puntos y buena en dos, aunque la DBO₅ superó los límites permitidos en algunos sitios. Estos hallazgos subrayan la importancia de implementar estrategias de gestión ambiental para reducir la contaminación en el río Catamayo. Se recomienda realizar estudios adicionales que abarquen diferentes estaciones del año para evaluar las variaciones temporales en la calidad del agua.

Palabras clave: bacillaryophyta, bioindicador, calidad del agua, calidad biológica, índice diatómico general.

Abstract

The Catamayo River, located in the Catamayo sub-basin in the province of Loja, is under increasing anthropogenic pressure that has impacted its water quality. In this context, the use of *bacillaryophyta* (diatoms) as a bioindicator of water quality represents a reliable tool for monitoring water bodies. This research aims to address the question: Does the use of *bacillaryophyta* as a bioindicator allow us to determine the biological and water quality of the Catamayo River?. To answer this, samples were taken from five points along the river, collecting water and phytoplanktonic material, which were analyzed in the laboratory and used to calculate the General Diatom Index (GDI). Additionally, physicochemical parameters such as pH, dissolved oxygen, BOD₅, nitrates, phosphates, temperature, turbidity, fecal coliforms, and total dissolved solids (TDS) were measured to calculate the Water Quality Index (WQI). The results from the GDI indicated that the water quality was moderate, with signs of pollution and eutrophication in its biological quality. The *Gomphonema* genera dominated the diatom community, indicating tolerance to pollution. The WQI classified the water quality as moderate in three points and good in two, although BOD₅ exceeded the permitted limits at some sites. These findings highlight the importance of implementing environmental management strategies to reduce pollution in the Catamayo River. It is recommended to conduct further studies across different seasons to evaluate temporal variations in water quality.

Keywords: bacillaryophyta, bioindicator, biological quality, diatom index, water quality.

3. Introducción

El trabajo de estudio plantea al agua como el recurso trascendental del planeta, destacando su cantidad y papel principal en el desarrollo de entornos ambientales, incluyendo la supervivencia de especies (Vörösmarty et al., 2010). Se marca que este recurso está sometido a una constante presión debido al uso humano, la ampliación de las ciudades, la expansión industrial, la agricultura y ganadería a gran escala, entre otros (Paul y Meyer, 2001). La contaminación a la que está sujeta el recurso hídrico de agua dulce y las afectaciones que esto conlleva, surge la necesidad de implementar sistemas y herramientas que nos otorguen un monitoreo ecológico de los cuerpos acuáticos.

Los índices que manejan bioindicadores brindan un valioso complemento a aquellos índices habituales que están establecidos por datos fisicoquímicos y biológicos, favoreciendo una valoración que incluya el bienestar ecológico de los sistemas hídricos (Pandey et al., 2018), proveen respuesta a aquellos cambios de calidad en el agua a través del tiempo reflejando así los impactos acumulativos que sufren los cuerpos de agua (Karr, 1991), algunos organismos fitoplanctónicos tienen características de sensibilidad a sustancias contaminantes que resultan desapercibidas en los análisis químicos del agua (Whitton y Potts, 2001) reflejando de esta manera la integridad de los sistemas acuáticos y no únicamente enfocándose en parámetros aislados (Stoermer y Smol, 1999), por lo cual se ha identificado que en las comunidades perifíticas, entre las cuales bacillaryophytas se han destacado como bioindicadores fiables en la evaluación de condiciones espacio-temporal del estado ecológico y las propiedades físicas y químicas de los ríos (Stevenson et al., 2010), por tal razón, las diatomeas (bacillaryophyta) como organismos fotosintéticos, generadores de oxígeno que se catalogan como productores primarios en la base trófica de los hábitats de agua dulce (Kwandrans et al., 1998), se toman una herramienta de gran utilidad en la evaluación de calidad del agua de ríos puesto que, presentan una sensibilidad marcada ante cualquier cambio fisicoquímico o biológico que ocurra en su hábitat (Kelly et al., 2008), expresándolo de manera casi inmediata en su biodiversidad taxonómica y cantidad de biomasa (Bere y Tundisi, 2011), apuntalando un monitoreo continuo del ecosistema a través del tiempo. Según (Stevenson et al., 2010) la abundancia de diatomeas en cortas superficies de sustratos establecidos en masas de agua otorga la facilidad de llevar a cabo procesos de recolección en campo, identificación en laboratorio y cuantificación de estas, hecho por el cual se ha seleccionado a diatomeas como los organismos relacionados entre la composición química del cuerpo acuático y la proliferación de estas (Kelly y Whitton, 1995), relación por la que se han originado varios índices de calidad basados en bacillaryophytas para

evaluar agua en ríos (Kelly et al., 2008), como el IDG que se basa en la sensibilidad taxonómica a la polución de diatomeas para otorgar información del estado biológico y calidad de agua (Rumeau y Coste, 1988), midiendo no únicamente la presencia de contaminantes sino que también el impacto sobre las comunidades de diatomeas (Prygiel et al., 2002) ante las diversas fuentes de contaminación orgánica, inorgánica y eutrofización (Prygiel y Coste, 1993). Ante esto ha surgido la incógnita: ¿el uso de *bacillaryophyta* como bioindicador nos permite determinar la calidad biológica y calidad del agua en el río Catamayo?, para esto nos planteamos (i) determinar rasgos biológicos de Bacillaryophyta, así como las condiciones fisicoquímicas del río Catamayo, (ii) determinar la calidad de agua del río Catamayo aplicando el índice diatómico general, (iii) establecer la calidad del agua del río Catamayo mediante la aplicación del índice de calidad del agua (ICA).

4. Marco Teórico

4.1. El Agua

Biológicamente el agua resulta indispensable para el crecimiento y bienestar de los organismos vivos a toda escala (Bibi et al., 2016). El constante crecimiento demográfico global, aumenta el requerimiento de agua limpia para sus diferentes usos sectoriales (doméstico, agrícola, ganadero, industrial, etc.) que ejercen presión sobre el recurso hídrico (Biswas y Tortajada, 2018). Motivo por el cual el agua se torna en un bien de alto valor empleable, que a su vez repercute en su escasez cada vez más marcada en el planeta (Jackson et al., 2001).

4.2. Fuentes Naturales de Contaminación

En el recurso hídrico se puede encontrar contaminantes cuyo origen sea natural, generalmente sustancias o materiales que son arrastrados por la escorrentía hasta el cuerpo acuático, que generan un desequilibrio al ecosistema y comprometen la calidad del agua (Alrumman et al., 2016), habitualmente las fuentes contaminantes de origen natural son de carácter disperso y no se presentan en una alta concentración de polución, exceptuando algunos lugares concretos (Singh et al., 2020).

4.3. Fuentes Antropogénicas de Contaminación

Los contaminantes de origen antropogénico y su efecto adverso a los ecosistemas de agua dulce se presentan en formas químicas o físicas de productos utilizados en la agricultura, industria y en los desechos urbanos que son destinados a fuentes acuáticas que repercuten negativamente a los organismos de agua dulce, la composición y calidad de esta (Häder et al., 2020; Verhougstraete et al., 2015).

4.4. Parámetros de Calidad de Agua

4.4.1. Índice Diatómico General (IDG)

El IDG constituye un índice que otorga resultados satisfactorios de calidad, basándose en valores de variabilidad y sensibilidad ya definidos de los especímenes identificados hasta nivel de género o especie en conjunto a la abundancia porcentual de cada taxón en la muestra (Prygiel y Coste, 1993).

4.4.2. Índice de Calidad del Agua (ICA)

Guillén et al., (2012) propone que un ICA determina el nivel de contaminación al que se encuentra sometida el agua durante el periodo puntual del muestreo y se expresa mediante

valores porcentuales de pureza que varían desde altamente contaminada correspondiente a un 0% hasta agua en condiciones excelentes de calidad representada en valores cercanos al 100%.

El índice representa un valor adimensional compuesto de varios parámetros que integran información sobre la calidad del agua, uno de los índices más usados y destacados por su amplia difusión y aplicación es el propuesto por Brown et al., (1970) el cual nace a partir de modificar el Water Quality Index (WQI) creado por la Foundation National Sanitation (NSF).

4.4.3. Turbidez

Está relacionada con la atenuación de la luminosidad debido a sedimentos suspendidos presentes en el agua que reducen el alcance visual, además de disminuir la disponibilidad luminosa a causa de la presencia de partículas de composición mineral u orgánica que se encuentran en estado de suspensión en conjunto a otros organismos microscópicos que impiden la realización de fotosíntesis por parte de organismos clorofílicos (Davies-Colley y Smith, 2001).

4.4.4. Temperatura del Agua

La temperatura influye en las reacciones químicas y de carácter biológico que se dan en el cuerpo acuático y en los organismos que lo habitan, esto dependiendo de la temporada y tiempo de muestreo, la temperatura ambiente, entre otras (Smith, 1972).

4.4.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Otorga información sobre la cantidad de oxígeno que llegan a consumir las bacterias, hongos y plancton, mientras realizan el proceso de oxidación de la materia orgánica fácilmente biodegradable en el agua (Jouanneau et al., 2014).

4.4.6. Fósforo (Fosfatos)

El fósforo de acuerdo con su concentración se determina como un nutriente limitante en los ecosistemas terrestres y acuáticos, en el agua, una mayor concentración de fósforo provoca sistemas eutróficos en los que la producción primaria realizada por microorganismos y algas aumenta exponencialmente creando condiciones en las que el cuerpo acuático se pueda volver anóxico (Froelich, 1988).

4.4.7. Nitrógeno (Nitratos)

Obtiene su presencia en el recurso hídrico mediante descargas de fuentes domésticas o industriales, hecho por el cual la presencia de nitrógeno y sus diferentes formas es tan solo de unos pocos miligramos en las aguas de escorrentía superficial y subterráneas, pero esto no

quiere decir que este compuesto no tenga repercusión en la salud de los ecosistemas y los seres vivos (Klages et al., 2020).

4.4.8. Oxígeno Disuelto (OD)

Se crea mediante la disolución del oxígeno atmosférico en conjunto a la actividad fotosintética de algunos organismos en el agua que realizan oxidación de elementos orgánicos presentes, lo cual establece un equilibrio de oxígeno en el cuerpo acuático a su vez que está sujeto a la salinidad y temperatura de este (Kannel et al., 2007).

4.4.9. Potencial de Hidrógeno (pH)

Es una medida de la concentración de iones hidrógeno en el agua que determinan su acidez o alcalinidad, generalmente un agua natural conserva un rango de pH entre 6,5 a 8,5 que son valores considerados típicos con ligeras variantes estacionales y un cambio significativo indicaría una alteración en el agua, posiblemente de un contaminante (Boyd, 2015).

4.5. Parámetros Biológicos

4.5.1. Coliformes Fecales

Bacterias en forma de bastón que provienen de las heces de humanos y animales de sangre caliente, ya que se albergan en los intestinos de estos, son consideradas un indicador grave de contaminación si estas son halladas en cuerpos de agua naturales (Hazen, 1988).

4.5.2. Clorofila

Es capaz de capturar la energía lumínica, especialmente las partes azules y rojas del espectro electromagnético y aprovecharla en el proceso de fotosíntesis, en términos generales es una estructura compleja que contiene un núcleo de magnesio ligado a tetrapirroles cíclicos de un anillo adicional porfinarino, y en conjunto con un alcohol isoprenoide de cadena larga (Kuczynska et al., 2015).

4.6. Bioindicador

Los bioindicadores representan aquellos organismos o comunidades de estos, cuya reacción se muestra de forma representativa al momento de evaluar una situación de tal manera que otorga pistas sobre las condiciones del ecosistema. Un bioindicador tiene requerimientos específicos ante las variables físicas o químicas que inciden en el comportamiento de la especie, reflejando el curso biótico o abiótico del ambiente y los impactos de cambio en el hábitat (Walz, 2000).

4.7. Bacillaryophytas

Las *bacillaryophytas* (diatomeas) se constituyen como microalgas unicelulares que se caracterizan por tener su pared celular de forma definida y distintiva, cuya conformación está estructurada por el dióxido de silicio hidratado, estos organismos están ampliamente distribuidos por el mundo, jugando un rol de importancia como productores primarios en la cadena alimentaria de ecosistemas acuáticos (Lobo et al., 2016).

El género *Bacillaryophyta* se categoriza en dos partes: las bentónicas que habitan en directo contacto con sedimentos del fondo de los cuerpos acuáticos y por otra parte está el grupo de las epilíticas que se adhieren a los sustratos fijos de la superficie de los ríos (Mann, 2002).

La relevancia de las *bacillaryophytas* se centra en la constitución de la base de cadenas tróficas de ambientes acuáticos de agua dulce y en los ecosistemas marinos. Su asistencia en la fijación del carbono atmosférico en conjunto a su labor fotosintética aporta de un 20% a 40% de oxígeno a la atmósfera terrestre. Para su uso como bioindicadores de calidad de un ecosistema se suelen emplear las especies o géneros, debido a su adaptabilidad de supervivencia a determinadas condiciones, gracias a las cuales se pueden identificar variaciones en el medio.

4.7.1. Diatomeas y su Ventaja como Bioindicadores de Calidad

4.7.1.1. Ubicación.

Bacillaryophyta suele presentarse en todos los sistemas acuáticos que pueden encontrarse, desenvolviéndose de manera significativa en una gran variedad de formas vitales (coloniales, perifíticas, planctónicas, etc.), por lo cual se las considera organismos aptos para su uso como bioindicadores en todo aquel ecosistema que fundamentalmente el agua forme parte del biotopo (Blanco, 2010).

4.7.1.2. Precisión estadística.

Aquellos índices diatomológicos que usualmente se puede encontrar son los que identifican un mínimo de 400 individuos por muestra tomada, por lo que se destaca que el error cometido en este sea inferior a un 10% de la composición de la comunidad *bacillaryophyta*, lo cual aplica para todos los casos, esto nos permite tener una mayor precisión y confiabilidad desde un punto de vista estadístico de los métodos (Blanco, 2010).

4.7.1.3. Muestreo.

Bacillaryophyta muestran una ventaja en el momento de realizar un muestreo ya que se puede muestrear en cualquiera de los tramos del río, en conjunto a una variedad de sustratos

presentes, sin que resulte afectada de alguna forma la comunidad de *bacillaryophyta*, ya sean estos naturales o artificiales (Blanco, 2010).

4.7.1.4. Almacenamiento.

Las diatomeas pueden ser almacenadas de manera indefinida sin tener alteraciones en la estructura o composición de estas, además de ocupar muy poco espacio y de no requerir tratamientos dificultosos para su conservación (Blanco, 2010).

4.7.2. Identificación de *bacillaryophytas*

Su identificación consiste en la eliminación del material celular y la preparación de *bacillaryophyta* con el uso de un reactivo específico para el posterior montaje; para el conteo de diatomeas se hará uso de microscopia, hasta obtener el tamaño de muestra apropiado.

Según Rivera y Morales (2013) “la identificación se utiliza a posteriori como una base de datos para estudios ecológicos, de evolución, estudios en conservación ambiental o para determinar un impacto ambiental”.

4.8. Marco Legal

La Constitución de la República del Ecuador establecida en el 2008 instituye lo siguiente:

“Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio Natural” (Constitución de la República del Ecuador, 2008, Artículo 276).

“El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia” (Constitución de la República del Ecuador, 2008, Artículo 313).

“Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico y el agua” (Constitución de la República del Ecuador, 2008, Artículo 313).

4.8.1. Código Orgánico del Ambiente (COA)

“El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.” (Código Orgánico del Ambiente, 2017, Artículo 411).

4.8.1.1. Registro oficial de la república del Ecuador, suplemento 387.

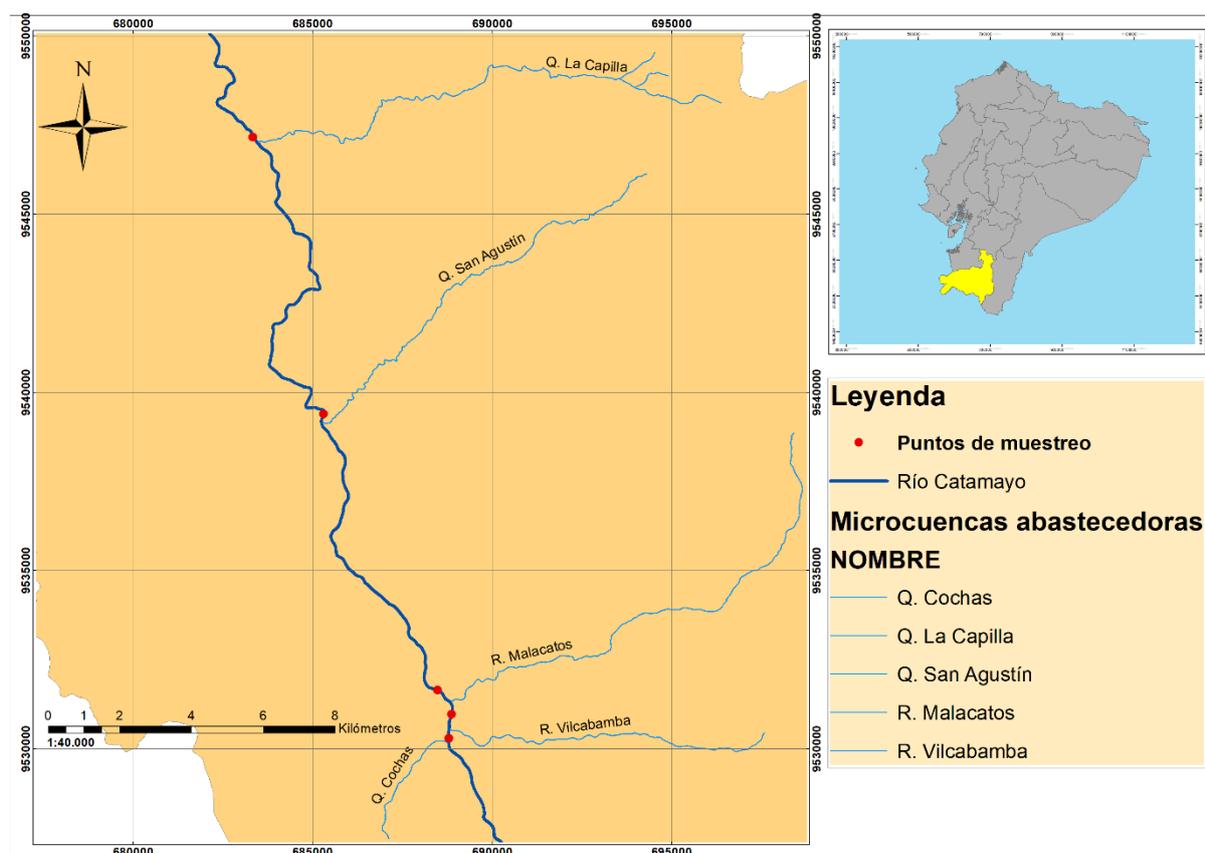
En el correspondiente a su norma de calidad de efluentes tiene como objetivo principal la protección de calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general (Registro Oficial del Ecuador, 2015, N° 387).

5. Metodología

5.1. Área de trabajo

El tramo de río estudiado consta de 22 km aproximadamente siguiendo el cauce y de 17 km aproximadamente en línea recta, se ubica en la Región Sur de la República del Ecuador, en la Provincia de Loja, en la subcuenca Catamayo en el río del mismo nombre a una elevación que va desde los 900 msnm hasta los 1800 msnm aproximadamente (figura 1).

Figura 1 Mapa de ubicación de las microcuencas abastecedoras y puntos de muestreo del río Catamayo.



5.2. Metodología primer objetivo

En el tramo a estudiar se identificó la desembocadura de cinco microcuencas abastecedoras de agua para el río Catamayo, catalogadas en los PDOT de los cantones Catamayo, Gonzanamá y en el PDOT de la parroquia rural Vilcabamba, se definieron puntos de muestreo en el río Catamayo aguas abajo a las desembocaduras de las microcuencas abastecedoras que permitan accesibilidad, factibilidad de muestreo y medición de datos, cuyos puntos se encuentran dispuestos en la tabla 1 (figura 1).

Tabla 1 Puntos de muestreo en el tramo de estudio del río Catamayo

Código	Río	Microcuenca abastecedora	Coordenadas	
			latitud	Longitud
P1	Catamayo	Q. la Capilla	4° 5'43.84"S	79°20'51.57"O
P2	Catamayo	Q. San Agustín	4° 9'59.75"S	79°19'51.28"O
P3	Catamayo	R. Malacatos	4°14'15.76"S	79°18'3.16"O
P4	Catamayo	R. Vilcabamba	4°14'38.75"S	79°17'56.46"O
P5	Catamayo	Q. Cochas	4°14'47.99"S	79°17'56.01"O

5.2.1. Muestreo del agua

En cada punto se tomó una muestra de agua del río de 1000 ml en botellas de vidrio de color ámbar para análisis biológicos y una muestra de agua en botellas plásticas blancas desinfectadas para análisis químicos. La medición de los parámetros in situ (pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez) se obtuvieron mediante el uso de una sonda multiparamétrica previamente calibrada y un turbidímetro, posterior a cada medición los equipos fueron lavados con agua destilada con la finalidad de evitar mediciones erróneas, y aquellos parámetros restantes (DBO₅, nitratos, fosfatos, coliformes fecales) se determinaron mediante análisis en laboratorio.

5.2.2. Muestreo de *Bacillaryophyta*

Las diatomeas fueron recolectadas de cada punto de muestreo. Cada muestra de *bacillaryophyta* se tomó de aquellas rocas ubicadas a una distancia aproximada de 5 m entre ellas y sumergidas de 5 cm a 10 cm en la orilla del río, con un tamaño aproximado de 10 cm a 20 cm de diámetro, las cuales mostraron presencia de material fitoplanctónico de coloración verde-marrón y de textura viscosa.

Una vez identificadas las rocas para muestreo, éstas fueron raspadas con ayuda de un cepillo y una pipeta/jeringa con 20 ml de agua para lavar el área. Las muestras se colocaron inmediatamente en frascos plásticos de 100 ml etiquetados y adicionados con lugol para su preservación, las mismas fueron transportadas en un cooler con friogel/hielo seco para mantener en temperaturas bajas a las muestras.

5.2.3. Limpieza del material orgánico de diatomeas

Se colocaron 5 ml de muestra en un tubo falcón y se añadió hipoclorito de sodio al 5% hasta completar 15 ml en la medida del tubo falcón, se mezcló bien la muestra con el hipoclorito de sodio con ayuda de una pipeta y se dejó reposar durante 20 minutos, pasado el tiempo de reposo se añadió agua destilada hasta completar 30 ml en la medida del tubo falcón y se colocó en una centrifuga durante 10 minutos a 3000 rpm, terminado el tiempo en la centrífuga se

desechó todo el líquido del tubo falcón (el material diatómico quedó pegado en el fondo) y se añadió agua destilada hasta completar 30 ml en la medida del tubo falcón, se colocó en la centrífuga durante 10 minutos a 3000 rpm y una vez terminado el centrifugado se desecha el líquido y se volvió a añadir agua destilada hasta completar 5 ml en la medida del tubo falcón, posteriormente se mezcló bien el material diatómico con ayuda de una pipeta y se obtuvo la estructura de diatomeas libre de material orgánico.

El proceso se realizó por cada muestra de *bacillaryophyta* que se recolectó.

5.2.4. Secado de diatomeas

En una plancha calentadora se colocó un cubreobjetos por cada muestra libre de material orgánico obtenida, se colocó unas cuantas gotas de la muestra limpia de diatomeas en cada cubreobjetos y se calibró la plancha calentadora hasta los 100 °C para evaporar el líquido, una vez evaporado el líquido se colocaron los cubre objetos en un portaobjetos para cada uno en posición boca abajo para proteger la muestra seca.

5.2.5. Identificación Taxonómica de diatomeas en laboratorio

Se colocó las muestras secas en el microscopio (LEICA DM 1000) con cámara integrada (Sony Exmor CMOS Sensor de 20MP) y se procedió a la observación de los especímenes utilizando lentes con aumento al 40x y 63x (fotografías) para la identificación en placa de las características morfométricas de *bacillaryophyta*. Se realizó un barrido de forma vertical y se identificaron diatomeas en base a sus claves taxonómicas y comparándolas con fuentes bibliográficas como “Caracterización de la composición florística de diatomeas” (Chilig y Daniel, 2017), “Análisis taxonómico de las principales especies de diatomeas” (Vargas, 2014) y “Catálogo y claves de identificación de organismos fitobentónicos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico” (Ministerio de Agricultura, 2012).

5.2.6. Conteo de diatomeas en laboratorio

Se tomaron 50 ml de la muestra y se colocaron en un tubo falcón y se dejó reposar en forma vertical durante aproximadamente 24 horas, se extrajeron 45 ml y se regresaron a la muestra, de los 5 ml restantes se tomó 1 ml y se colocó en la celda de conteo y se procedió a tomar fotografías en microscopio con aumento 20x de las 30 celdas según la metodología (figura 2).

Este procedimiento se realizó por cada muestra obtenida en la fase de recolección.

S_j : Sensibilidad (tabla 3) a la contaminación (varía de 1 para organismos más resistentes a 5 para aquellos organismos más sensibles).

V_j : Valor indicativo (tablas 3) de la especie o género, va de 1 en organismos de forma ubicua a 3 para los que posean una forma característica.

Este índice varía la calidad biológica y la calidad de agua (tabla 2) en valores que van de 0 en pésima calidad y de mayor a 4,5 para excelente calidad.

Tabla 2 Relación del índice diatómico general

IDG	Niveles de contaminación	Calidad de agua
≥ 4.50	Calidad biológica óptima	Excelente
4.00 – 4.49	Calidad normal. Polución débil	Muy buena
3.50 – 3.99	Polución moderada. Eutrofización	Buena
3.00 – 3.49	Polución media. Eutrofización acentuada	Regular
2.00 – 2.99	Desaparición de especies sensibles. Polución fuerte	Mala
1.00 – 1.99	Polución muy fuerte	Muy mala
≤ 0.99	Población considerada como inexistente (polución tóxica)	Pésima

Fuente: Coste y Ayphassorho, (1991)

Tabla 3 Taxones de diatomea utilizados como indicador de calidad para IDG

TAXONES	CÓDIGO	SENSIBILIDAD (S)	VARIABILIDAD (V)
<i>Achnantes</i>	ACH	5	1
<i>Amphipleura</i>	AMH	5	3
<i>Amphora</i>	ARA	3	2
<i>Anomoeoneis</i>	ANO	5	2
<i>Asterionella</i>	AST	4	1
<i>Attheya</i>	ATT	2	3
<i>Caloneis</i>	CAL	4	2
<i>Campylodiscus</i>	CAM	5	2
<i>Ceratoneis</i>	CER	5	2
<i>Cocconeis</i>	COC	4	1
<i>Cyclotella</i>	CYC	3	1
<i>Cymatopleura</i>	CMA	4	2

<i>Cymbella</i>	CMB	5	1
<i>Denticula</i>	DEN	5	3
<i>Diatoma</i>	DIA	4	1
<i>Diploneis</i>	DIP	5	1
<i>Epithemia</i>	EPI	5	2
<i>Eunotia</i>	EUN	5	1
<i>Fragilaria</i>	FRA	4	1
<i>Frustulia</i>	FRU	5	2
<i>Gomphoneis</i>	GIS	4	2
<i>Gomphonema</i>	GMA	3	2
<i>Gyrosigma</i>	GYA	4	3
<i>Hantzchia</i>	HAN	1	3
<i>Melosira</i>	MEL	3	1
<i>Meridion</i>	MER	5	1
<i>Navicula orthostichae</i>	NOR	2	2
<i>Navicula Punctatae mutica</i>	NPM	1	2
<i>Navicula (otras)</i>	NAV	3	1
<i>Neidium</i>	NEI	4	3
<i>Nitzchia dissipatae</i>	NID	4	2
<i>Nitzchia (otras)</i>	NIT	1	1
<i>Pinnularia</i>	PIN	4	3
<i>Rhizosoenia</i>	RHI	2	3
<i>Rhoicosphenia</i>	RHO	4	1
<i>Rhopalodia</i>	RHP	4	1
<i>Stauroneis</i>	STA	5	2
<i>Stenopterobia</i>	SIA	5	3
<i>Stephanodiscus</i>	STE	2	1
<i>Suriella</i>	SUR	3	3
<i>Synedra</i>	SYN	3	1
<i>Tabellaria</i>	TAB	5	1
<i>Teyracyclus</i>	TET	5	3

<i>Thalassiosira</i>	THA	2	3
<i>Cocconeis placentula</i>		4	1
<i>Melosira varians</i>		4	1
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>		4	1
<i>Cymbella tumida</i>		3	3
<i>Ulnaria ulna</i>		3	1
<i>Ulnaria delicatissima</i>		4	1
<i>Gyrosigma acuminatum</i>		4	3

Fuentes: Coste y Ayphassorho, (1991); Ministerio de Agricultura, (2012)

5.4. Metodología tercer objetivo

5.4.1. Índice de calidad de agua (ICA)

Para determinar el ICA se usaron nueve parámetros los que corresponden a:

- pH
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Nitratos (NO₃)
- Fosfatos (PO₄)
- Temperatura
- Turbidez
- Oxígeno Disuelto
- Coliformes fecales
- Sólidos Totales Disueltos (STD)

Dichos parámetros se emplearon en el cálculo del índice de Brown, en el cual se utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices (ICA_a).

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

Donde:

W_i: Pesos relativos que se asignan a cada parámetro (Q_i), y se ponderan entre los números 0 y 1, de forma que se cumpla una sumatoria que otorgue como resultado el valor de 1.

Qi: Subíndice del parámetro i.

Para la obtención del subíndice se hizo uso de las curvas previamente establecidas por la metodología del ICA de Brown (figura 3) y las cuales fueron recogidas de Samboni et al., (2007).

Para calcular la saturación de oxígeno porcentual se dio uso de la solubilidad de oxígeno en agua dulce (tabla 4).

Tabla 4 Solubilidad del oxígeno en cuerpos de agua dulce

T°C	Mg/LOD	T°C	Mg/LOD
0	14,16	18	9,18
1	13,77	19	9,01
2	13,40	20	8,84
3	13,05	21	8,68
4	12,70	22	8,53
5	12,37	23	8,38
6	12,06	24	8,25
7	11,76	25	8,11
8	11,47	26	7,99
9	11,19	27	7,86
10	10,92	28	7,75
11	10,67	29	7,64
12	10,43	30	7,53
13	10,20	31	7,42
14	9,98	32	7,32
15	9,76	33	7,22
16	9,56	34	7,13
17	9,37	35	7,04

Fuente: Bain y Stevenson, (1999)

Los pesos relativos para los parámetros a evaluar en el ICA-NFS se establecen en la tabla 5.

Tabla 5 Pesos relativos de cada parámetro utilizando ICA-NFS

Parámetro	Peso (W_i)
Oxígeno disuelto (%)	0,17
Coliformes fecales (NMP/100ml)	0,16
pH	0,11
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	0,11
Fosfatos (mg/L)	0,10
Nitratos (mg/L)	0,10
Temperatura (°C)	0,10
Turbidez (NTU)	0,08
Sólidos totales disueltos (STD)	0,07

Fuente: Brown et al., (1970)

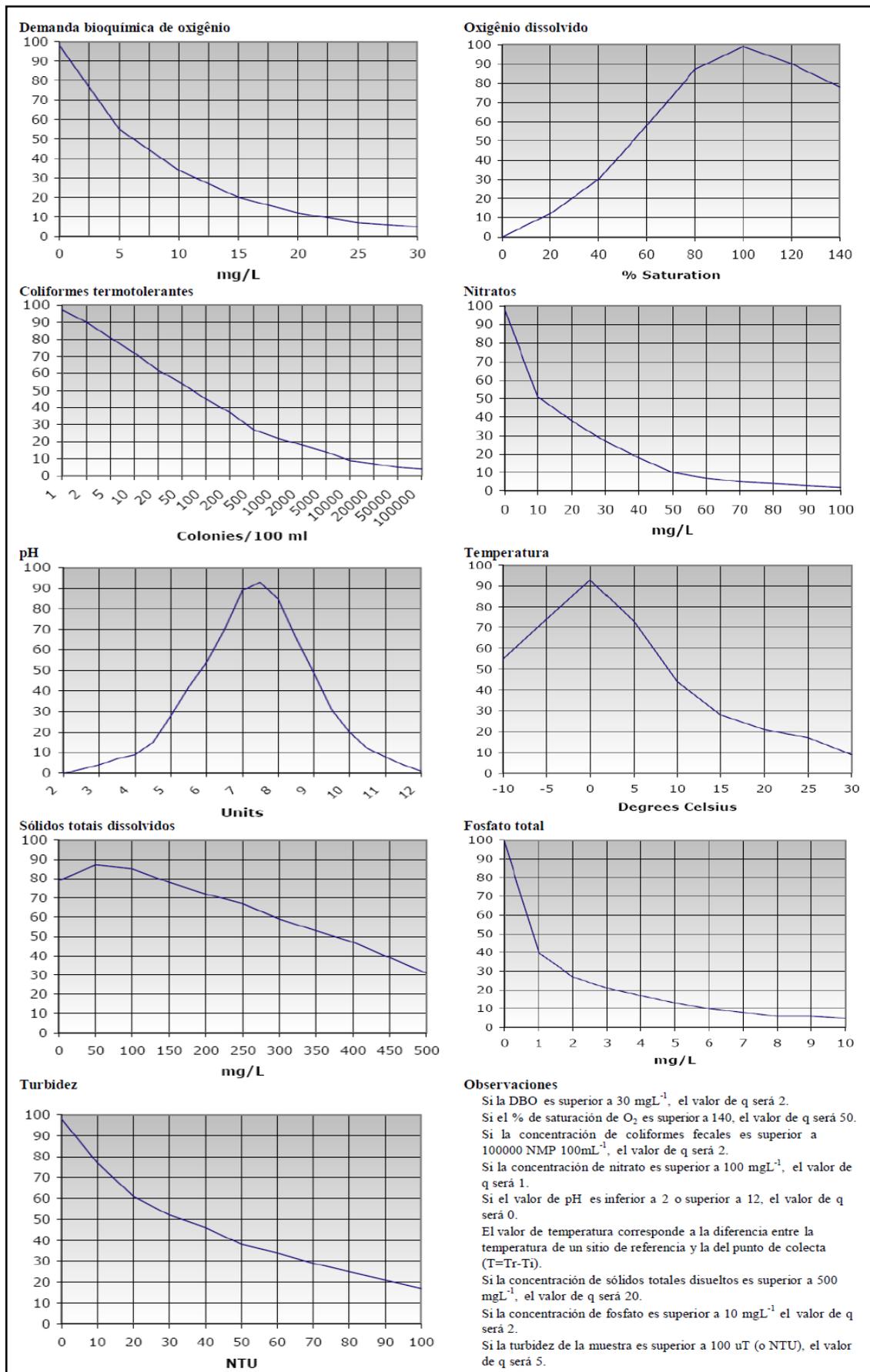


Figura 3 Curvas promedio de la variación de calidad del agua de Brown et al., (1970)

Para finalizar, el valor resultante del ICA se clasifica de acuerdo con los rangos de calidad establecidos por el índice de calidad de agua dispuesto en el cálculo y el cual varía de 0 a 100 para determinar las condiciones de calidad del cuerpo acuático (tabla 6).

Tabla 6 Rangos del ICA

Valor ICA	Calificación
Excelente	91 – 100
Bueno	71 – 90.99
Regular	51 – 70.99
Mala	26 – 50.99
Muy mala	0 – 25.99

Fuente: Brown et al., (1970)

6. Resultados

6.1. Composición taxonómica de bacillaryophyta en el tramo de estudio del río Catamayo.

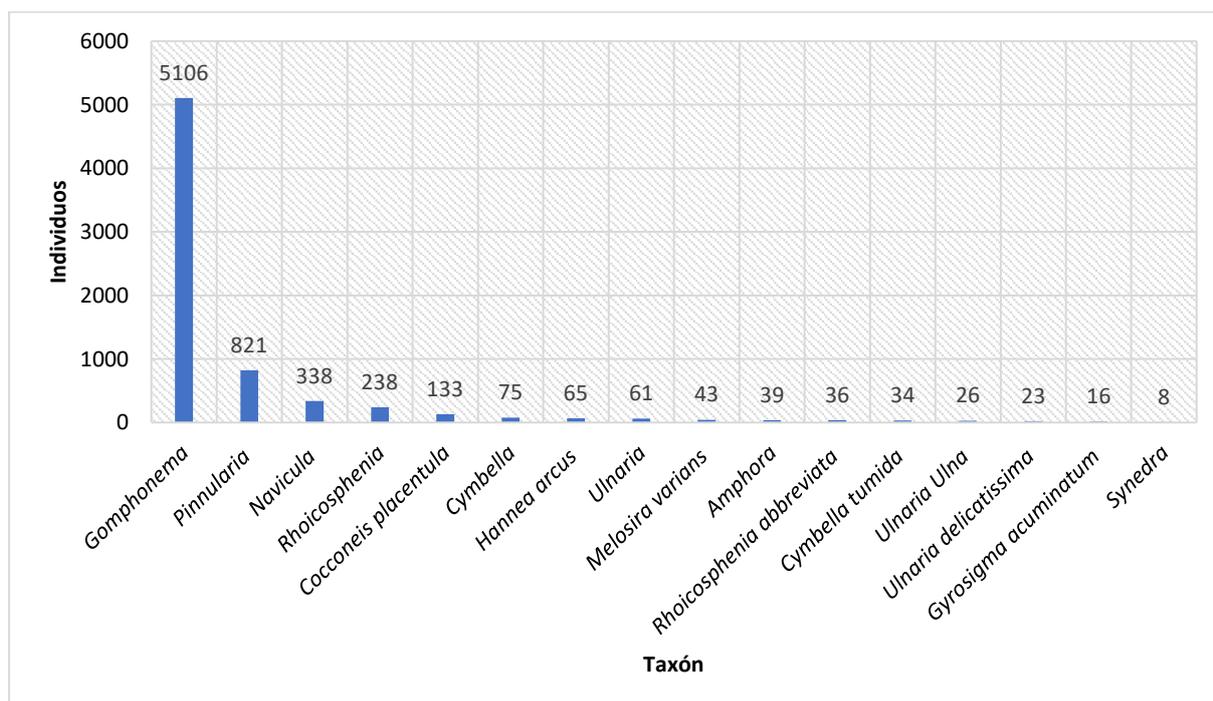
En el tramo de estudio perteneciente al río Catamayo se encontraron un total de 16 Taxones (anexo 5) los cuales se registran como:

- *Gomphonema*
- *Pinnularia*
- *Navicula*
- *Rhoicosphenia*
- *Rhoicosphenia abbreviata*
- *Cocconeis placentula*
- *Cymbella*
- *Cymbella Tumida*
- *Hannea arcus*
- *Ulnaria*
- *Ulnaria ulna*
- *Ulnaria delicatissima*
- *Melosira varians*
- *Amphora*
- *Gyrosigma acuminatum*
- *Synedra*

Taxones que se identificaron en los diferentes puntos de muestreo del tramo de estudio y que se presentan a continuación:

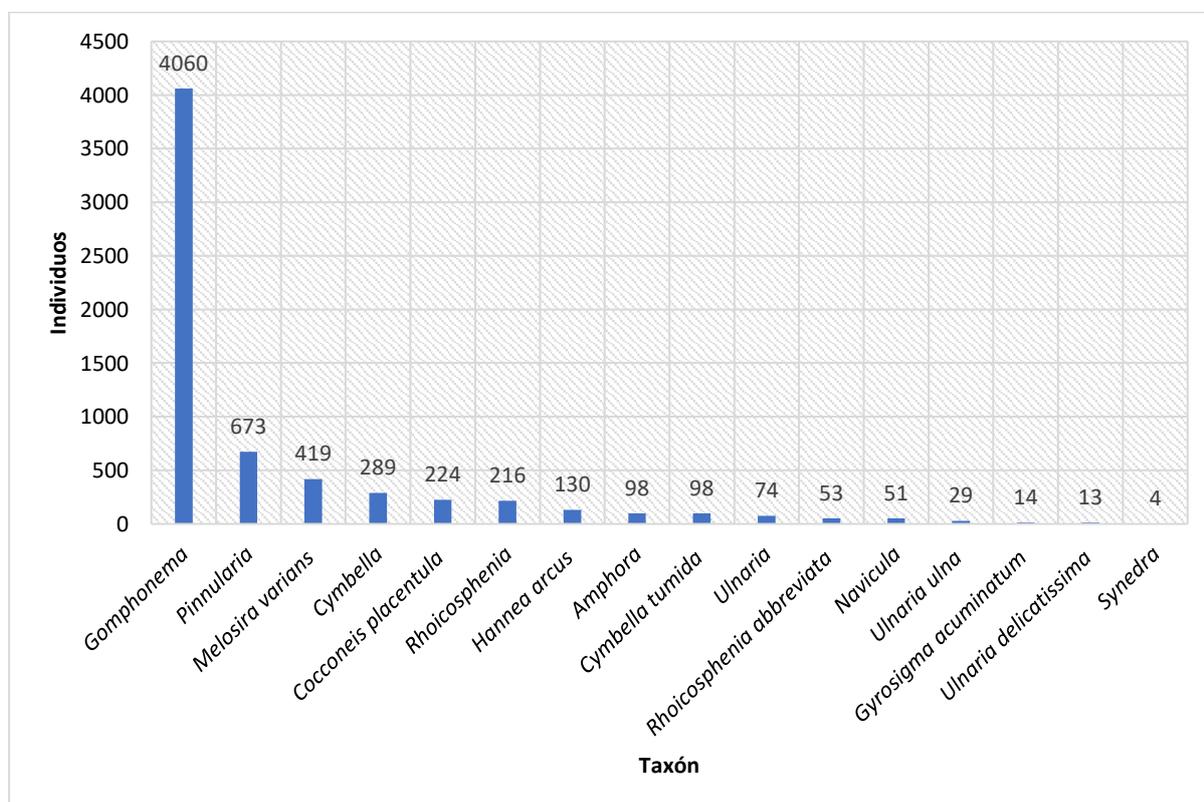
En el punto de muestreo con código “P1” se identificaron 16 taxones (gráfico 1) entre los cuales *Gomphonema* (72,30%) y *Pinnularia* (11,63%) se constituyen como los más representativos.

Gráfico 1 Abundancia de diatomeas del punto de muestreo con código "P1"



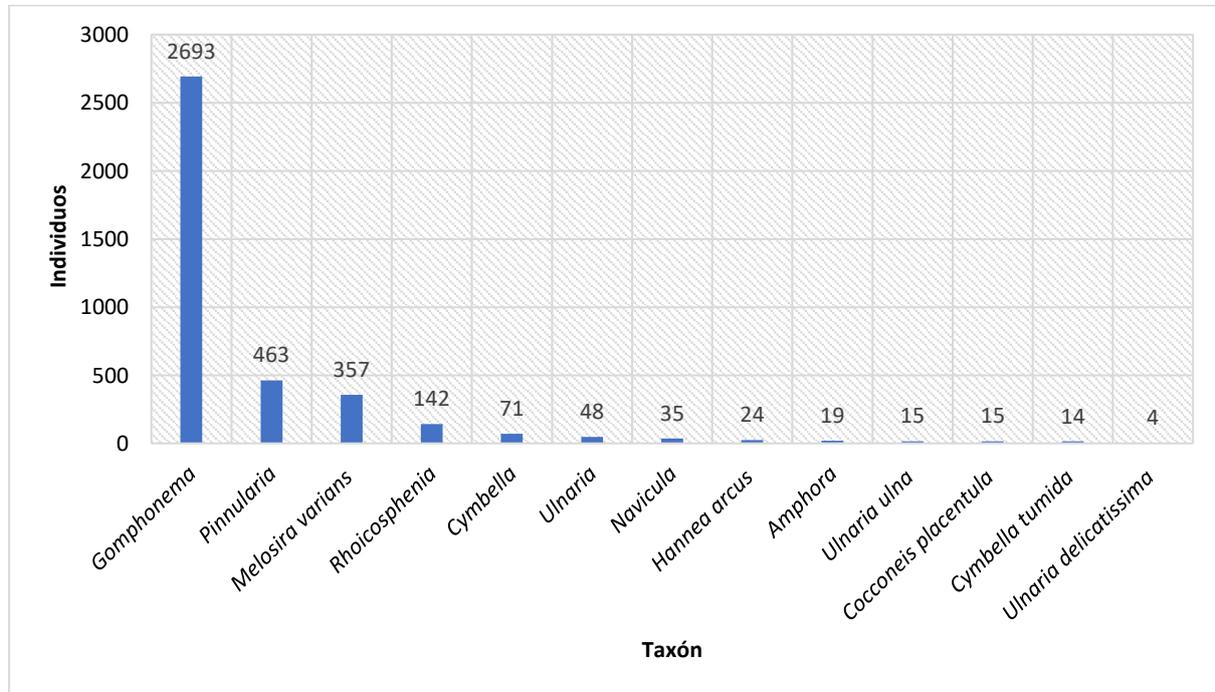
Se logró la identificación de 16 taxones de diatomeas (gráfico 2) presentes en el segundo sitio de muestreo, de los cuales se destacan *Gomphonema* (62,99%), *Pinnularia* (10,44%) y *Melosira varians* (6,50%).

Gráfico 2 Abundancia de diatomeas del punto de muestreo con código "P2"



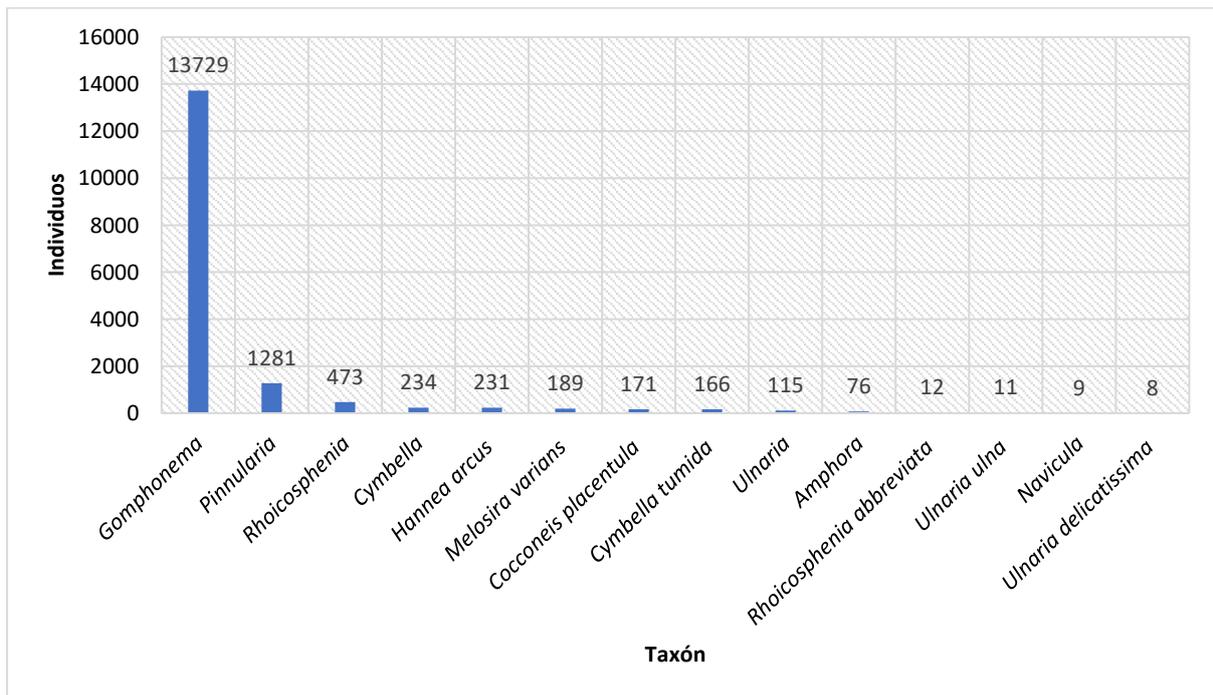
La identificación obtuvo 13 taxones pertenecientes a *bacillaryophyta* (gráfico 3) en el punto 3 y dos de estos se encontraron de manera representativa: *Gomphonema* (69,05%) y *Pinnularia* (11,87%).

Gráfico 3 Abundancia de diatomeas del punto de muestreo con código “P3”



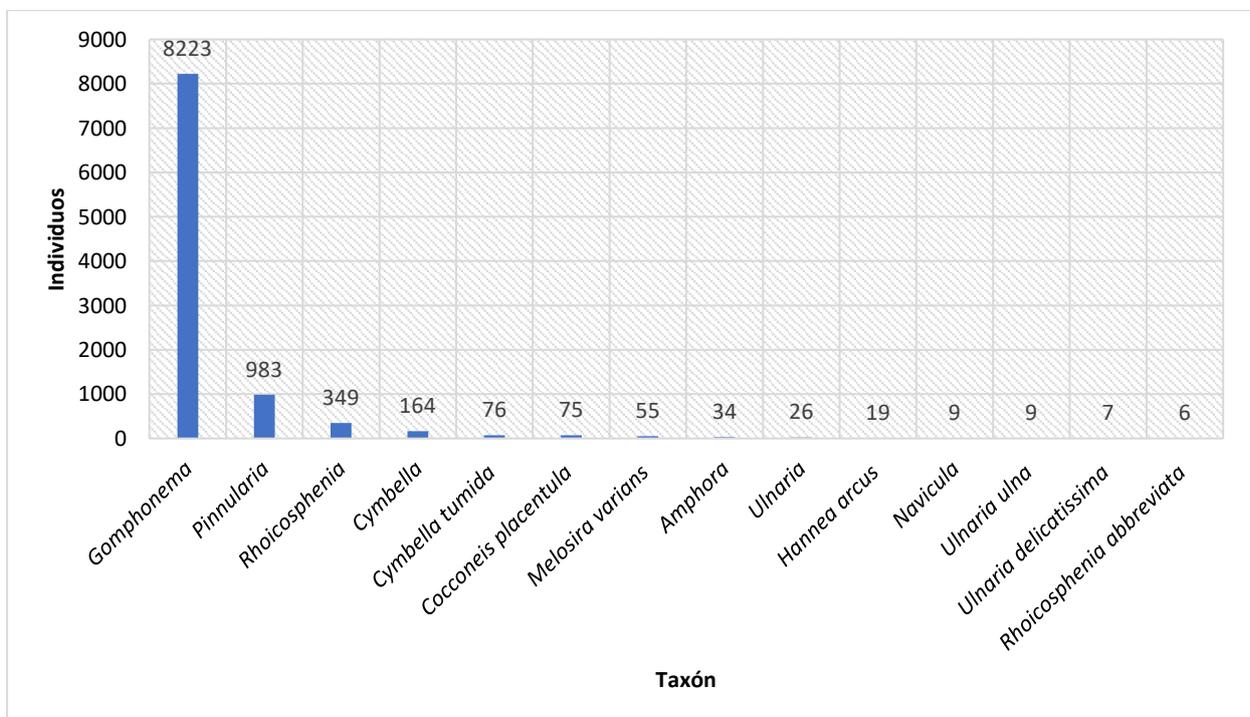
Los taxones encontrados fueron 14 (gráfico 4) en el cuarto sitio de muestreo, de los cuales tres de estos muestran una importante presencia: *Gomphonema* (82,18%), *Pinnularia* (7,67%) y *Rhoicosphenia* (2,83%).

Gráfico 4 Abundancia de diatomeas del punto de muestreo con código “P4”



La identificación arrojó 14 taxones de diatomeas (gráfico 5) en el punto 5, entre los que se destacan *Gomphonema* (81,94%) y *Pinnularia* (9,80%).

Gráfico 5 Abundancia de diatomeas del punto de muestreo con código “P5”



6.2. Condiciones Fisicoquímicas del río Catamayo

Los datos medidos correspondientes al río Catamayo para sus condiciones físicas, químicas y biológicas estipuladas en nueve parámetros (tabla 7) se establecen de la siguiente manera:

Tabla 7 *Parámetros Fisicoquímicos y Biológicos de las muestras de agua*

DATOS FISICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS										
Código	Río	Coliformes	pH	DBO ₅	Nitratos	Fosfatos	Temperatura	Turbidez	Sólidos Disueltos Totales	Oxígeno Disuelto
		UFC		mg/l	mg/l	mg/l	°C	NTU	ppm	mg/LDO
P1	Catamayo	40	7,56	9,14	2,9	3,8	20,13	9,99	96	9,14
P2	Catamayo	2	7,37	44	4,2	1,1	21,90	3,24	48	9,40
P3	Catamayo	42	7,77	14,12	4,6	0,7	22,57	2,53	49	9,10
P4	Catamayo	30	7,76	17,44	6,6	0,9	22,52	5,05	40	9,03
P5	Catamayo	28	7,49	25,74,	3,6	1	22,51	5,26	40	8,92

Resultados obtenidos (DBO₅, coliformes, nitratos y fosfatos) mediante muestras enviadas a laboratorio y otros resultados (pH, temperatura, turbidez, SDT y OD) obtenidos in situ.

6.3. Índice Diatómico General (IDG)

La calidad del agua del río Catamayo (tabla 8) según el cálculo realizado en los diferentes puntos de muestreo del tramo de río es clasificada como “Regular”, por lo que según la propia definición del IDG se señala que en el agua existe presencia de contaminación y eutrofización.

Tabla 8 Resultados Índice Diatómico General

ÍNDICE DIATÓMICO GENERAL				
Código	Río	IDG	Calidad de Agua	Calidad Biológica
P1	Catamayo	3,23	Regular	Polución media
P2	Catamayo	3,30	Regular	Polución media
P3	Catamayo	3,27	Regular	Polución media
P4	Catamayo	3,16	Regular	Polución media
P5	Catamayo	3,19	Regular	Polución media

6.4. Índice de Calidad del Agua (ICA)

Según el ICA calculado (tabla 9) con los datos fisicoquímicos y biológicos obtenidos del tramo estudiado del río Catamayo, se categoriza la calidad de su agua como “Regular” en tres de los cinco lugares de muestreo y “Buena” en dos de estos.

Tabla 9 Resultados del Índice de Calidad de Agua

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA			
Código	Río	ICA	Calidad de Agua
P1	Catamayo	70,02	Regular
P2	Catamayo	73,72	Buena
P3	Catamayo	72,18	Buena
P4	Catamayo	70,33	Regular
P5	Catamayo	70,56	Regular

7. Discusión

El índice diatómico general determinó que la calidad del agua del río Catamayo en el tramo estudiado está categorizada como “Regular”, categoría que indica un agua con presencia de contaminantes y nos sugiere que el río experimenta problemas de eutrofización, todo esto basado en los taxones encontrados en cada sector de muestreo, en donde se nota una marcada dominancia del género *Gomphonema* (33811 diatomeas) y la presencia de otros géneros y especies que muestran resistencia a la polución como *Amphora* (266 diatomeas), *Navicula* (442 diatomeas), *Cymbella tumida* (388 diatomeas), *Ulnaria ulna* (90 diatomeas), las cuales se encuentran de manera más frecuente en ecosistemas eutróficos (Moschini, 1999) y *Synedra* (12 diatomeas) que tolera altos niveles de nutrientes y carga orgánica (Rimet y Bouchez, 2012), tan solo estos taxones representan el 81% de toda la comunidad bacillaryophyta del tramo estudiado y en donde simplemente el 19% de la comunidad restante corresponde a taxones con grados de sensibilidad a contaminantes, exceptuando al género *Ulnaria* y a la especie *Hannea arcus*, las cuales no presentan valores de sensibilidad en el IDG.

Estudios realizados en ríos del Ecuador como en el río Atacames realizado por Rita, (2022)., determinó 22 géneros de diatomeas entre las cuales destacaban *Navicula* y *Cymbella*, en concordancia con Echeverría, (2016)., el cual encontró 13 géneros en el mismo río con la aparición de *Navicula* como uno de los más destacados, un estudio realizado en las microcuencas abastecedoras del cantón Yantzaza por Villalta, (2024)., determino la presencia de *Navicula* y *Gomphonema* como las más representativas en zonas de minería, de igual forma un estudio en los ríos del Parque Nacional Cajas (Sardi, 2018) revelo a *Gomphonema*, *Navicula*, *Cymbella* y *Melosira* como los géneros más comunes. La comparación entre estos estudios identifica a los géneros *Gomphonema*, *Navicula*, entre otros, como organismos diatomeicos bioindicadores de calidad de agua, en donde su presencia da por entendido que se posicionan como los más resistentes a contaminación, tomando en cuenta las diferencias altitudinales, físicas y de composición entre estos ríos.

En la relación a los parámetros fisicoquímicos obtenidos en este estudio se determina que la temperatura en el tramo de río no fue menor a 20,13 °C ni superior a 22,57 °C lo que explica en parte la gran cantidad de bacillaryophytas encontradas, puesto que las condiciones de temperatura adecuadas para su desarrollo se ubican de los 18 °C a los 30 °C (Calizaya et al., 2013), de igual forma el pH obtenido fue de un rango de 7,49 a 7,77 lo que factibiliza la presencia de comunidades de diatomeas alcalófilas, por otra parte la medición de oxígeno disuelto superaba los 8,92 mg/lDO y valores de fosfatos mayores a 0,7 mg/l llegando incluso a

3,8 mg/l manteniendo una concordancia que conllevaría a un estado de eutrofización y respondiendo a la marcada dominancia de taxones catalogados como resistentes a la polución, en condiciones comunes de proliferación de bacillaryophyta los requerimientos varían de 5,89 mg/IDO a 6,91 mg/IDO (Stulzer et al., 2017) y una cantidad considerada normal en ríos de 0,075 mg/l de fosfatos (Echeverría, 2016), según el estudio realizado por Tornés et al., (2007) las comunidades de diatomeas proliferan generalmente en concentraciones de nitrato que varían de 1 mg/l a 5 mg/l y a mayores valores la riqueza de taxones disminuye, en conjunto a lo demostrado por Chessman y Growns, (2015)., en donde determinan que valores superiores a 10 mg/l del DBO₅ está estrechamente relacionado con la composición y abundancia de las comunidades diatomeicas en donde resultan favorecidos géneros como *Gomphonema*, lo cual queda reflejado en el presente estudio por la marcada dominancia de este género que prolifera con la elevada concentración orgánica cuyos valores del DBO₅ en el río Catamayo alcanzan y superan ampliamente los 10 mg/l.

La calidad del agua del río Catamayo en los puntos estudiados se determinó como “Regular” en los puntos de muestreo “P1”, “P4”, “P5” y catalogada como “Buena” en los puntos “P2” y “P3”, esto según el ICA-NSF al que fueron sometidos los parámetros fisicoquímicos y biológicos obtenidos, aunque se puede observar una discrepancia entre los dos índices usados, el estudio realizado por Fortes et al., (2023) identifica al ICA-NSF como un índice sujeto a sobreestimar la calidad del agua, esto debido a que el índice resulta con una estructura inflexible ya que utiliza curvas de ponderación y clasificación (Mohebbi et al., 2013), que sujeta el cálculo del mismo a un ámbito generalizado y llevándolo a no necesariamente representar la realidad del cuerpo hídrico al cual se aplica (Gharibi et al., 2012), lo que daría lugar que en el presente estudio el ICA-NFS estaría sobreestimando los valores de calidad.

De acuerdo a los criterios de calidad de aguas superficiales (Registro Oficial del Ecuador, 2015, N° 387) vigentes en la República del Ecuador, los parámetros fisicoquímicos y biológicos obtenidos del río Catamayo se encuentran dentro de los valores permitidos por la normativa, a excepción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno que en todos los casos superan los límites máximos de menor a 2 mg/l para fuentes de agua destinadas a consumo humano y uso doméstico, pero la mayoría de estos cumplen los límites máximos para criterios de preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce de la misma norma vigente, con excepción del parámetro de DBO₅ medido en “P5” el cual supera con 5,74 mg/l el límite permitido en la normativa de 20 mg/l.

Según la recopilación de datos históricos desde 2003 a 2011 sobre parámetros fisicoquímicos de agua del río Catamayo incluidos en el estudio realizado por Carrión, (2013), aquellos parámetros que mostraron cambios significativos a comparación de los últimos estudios realizados son: turbiedad y fosfatos, los cuales pasaron a mostrar valores significativamente menores pero que tomados en cuenta a la calidad podrían denotar el desarrollo de actividades ganaderas y agrícolas en las riberas del río (Maza, 2017), y en el caso del DBO₅ se elevaron significativamente en comparación a los últimos estudios que cubrieron dicho parámetro.

8. Conclusiones

Se puede identificar que el ecosistema acuático del tramo estudiado en el río Catamayo está sufriendo cambios en su calidad biológica, debido al marcado dominio y presencia de géneros y especies catalogadas como resistentes a contaminación y eutrofización del cuerpo hídrico.

El uso del índice diatómico general resultó satisfactoriamente factible en la clasificación de la calidad del agua en el río Catamayo, debido a que la comunidad *bacillaryophyta* permanece en constante interacción con el agua del medio y brinda información confiable respecto a los cambios que sufre el cuerpo hídrico.

9. Recomendaciones

Se sugiere mantener estudios de la comunidad *bacillaryophyta* en base a la temporalidad de invierno y verano en el río Catamayo, así como la implementación de índices de calidad con bioindicadores diatomeicos para determinar los cambios que sufre el ecosistema acuático.

Es recomendable identificar aquellas fuentes de contaminación puntual en el tramo de estudio, para aplicar los procesos correctivos pertinentes a gestión ambiental y determinar relación con las comunidades de diatomeas.

10. Bibliografía

- Alrumman, S., Keshk, S., & El Kott, A. (2016). Water pollution: source & treatment. *American Journal of Environmental Engineering*, 88–89.
- Bain, M., & Stevenson, N. (1999). Aquatic habitat assessment: common methods. *Meryland: American Fisheries Society*, 3.
- Bere, T., & Tundisi, J. G. (2011). Applicability of borrowed diatom-based water quality assessment indices in streams around São Carlos-SP, Brazil. *Hydrobiologia*, 673(1). <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0772-7>
- Biswas, A. K., & Tortajada, C. (2018). *Assessing Global Water Megatrends* (pp. 1–26). https://doi.org/10.1007/978-981-10-6695-5_1
- Blanco Lanza. (2010). Guía de las diatomeas de la cuenca del Duero. *Confederación Hidrográfica del Duero*, 15–17.
- Boyd, C. E. (2015). pH, Carbon Dioxide, and Alkalinity BT - Water Quality: An Introduction. En *Water Quality*.
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A water quality index-do we dare. *Water and sewage works*, 117(10).
- Calizaya Anco, J., Avendaño Cáceres, M., & Delgado Vargas, I. (2013). Evaluación de la calidad del agua fluvial con diatomeas (Bacillariophyceae), una experiencia en Tacna, Perú. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*, 30, 58–63.
- Carrión, Y. M. (2013). *Una revisión de la evaluación de la calidad del agua de los ríos de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe*. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Chessman, B., & Growns, J. (2015). Changes in diatom assemblages at contrasting sites in rivers of eastern Australia. *Marine and Freshwater Research*, 66(5).
- Chilig, U., & Daniel, S. (2017). *Caracterización de la composición florística de diatomeas epilíticas asociadas al grado de eutrofización en el río “la Compañía”, cantón Mejía*. Universidad SEK.
- Código Orgánico del Ambiente [COA]. (2017). *Art. 411. 12 de abril de 2017 (Ecuador)*.

- Constitución de la República del Ecuador [Const]. (2008). *Art. 276. 20 de octubre de 2008 (Ecuador)*.
- Constitución de la República del Ecuador [Const]. (2008). *Art. 313. 20 de octubre de 2008 (Ecuador)*.
- Coste, M., & Ayphassorho, H. (1991). *Etude de la qualité des eaux du bassin Artois-Picardie à l'aide des communautés de diatomées benthiques: application des indices diatomiques*.
- Davies-Colley, R. J., & Smith, D. G. (2001). Turbidity, suspended sediment, and water clarity: A review. En *Journal of the American Water Resources Association* (Vol. 37, Número 5). <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03624.x>
- Echeverría, M. (2016). *Estudio de la comunidad de fitoplancton en el río Atacames provincia de Esmeraldas*. Pontifica Universidad Católica del Ecuador.
- Fortes, A. C. C., Barrocas, P. R. G., & Kligerman, D. C. (2023). Water quality indices: Construction, potential, and limitations. *Ecological Indicators*, 157, 111187. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111187>
- Froelich, P. N. (1988). Kinetic control of dissolved phosphate in natural rivers and estuaries: A primer on the phosphate buffer mechanism. *Limnology and Oceanography*, 33(4part2). <https://doi.org/10.4319/lo.1988.33.4part2.0649>
- Gharibi, H., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Arabalibeik, H., Yunesian, M., & Sowlat, M. H. (2012). A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. *Journal of Environmental Management*, 112, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.007>
- Guillén, V. L., Teck, H. D., Kohlmann, B., & Yeomans, J. (2012). Microorganisms as bioindicators of water quality. *Tierra Tropical: Sostenibilidad, Ambiente y Sociedad*, 8(1), 65–93.
- Häder, D.-P., Banaszak, A. T., Villafañe, V. E., Narvarte, M. A., González, R. A., & Helbling, E. W. (2020). Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: Emerging problems with global implications. *Science of The Total Environment*, 713, 136586. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136586>
- Hazen, T. C. (1988). Fecal coliforms as indicators in tropical waters: A review. *Toxicity Assessment*, 3(5), 461–477. <https://doi.org/10.1002/tox.2540030504>

- Jackson, R. B., Carpenter, S. R., Dahm, C. N., McKnight, D. M., Naiman, R. J., Postel, S. L., & Running, S. W. (2001). Water in a Changing World. *Ecological Applications*, 11(4), 1027. <https://doi.org/10.2307/3061010>
- Jouanneau, S., Recoules, L., Durand, M. J., Boukabache, A., Picot, V., Primault, Y., Lakel, A., Sengelin, M., Barillon, B., & Thouand, G. (2014). Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): A review. En *Water Research* (Vol. 49, Número 1). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.066>
- Kannel, P. R., Lee, S., Lee, Y. S., Kanel, S. R., & Khan, S. P. (2007). Application of water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132(1–3). <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9505-1>
- Karr, J. R. (1991). Biological Integrity: A Long-Neglected Aspect of Water Resource Management. *Ecological Applications*, 1(1), 66–84. <https://doi.org/10.2307/1941848>
- Kelly, M. G., & Whitton, B. A. (1995). The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology*, 7(4), 433–444. <https://doi.org/10.1007/BF00003802>
- Kelly, M., Juggins, S., Guthrie, R., Pritchard, S., Jamieson, J., Rippey, B., Hirst, H., & Yallop, M. (2008). Assessment of ecological status in U.K. rivers using diatoms. *Freshwater Biology*, 53(2), 403–422. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01903.x>
- Klages, S., Heidecke, C., Osterburg, B., Bailey, J., Calciu, I., Casey, C., Dalgaard, T., Frick, H., Glavan, M., D'Haene, K., Hofman, G., Leitão, I. A., Surdyk, N., Verloop, K., & Velthof, G. (2020). Nitrogen surplus-a unified indicator for water pollution in Europe? *Water (Switzerland)*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/W12041197>
- Kuczynska, P., Jemiola-Rzeminska, M., & Strzalka, K. (2015). Photosynthetic pigments in diatoms. En *Marine Drugs* (Vol. 13, Número 9). <https://doi.org/10.3390/md13095847>
- Kwandrans, J., Eloranta, P., Kawecka, B., & Wojtan, K. (1998). Use of benthic diatom communities to evaluate water quality in rivers of southern Poland. *Journal of Applied Phycology*, 10(2). <https://doi.org/10.1023/A:1008087114256>
- Leighton, A., Leland, H., & Porters, S. (1986). *Distribucion of benthic algae in the upper Illinois River basin in relation to geology and land use*. 44(279), 301.

- Lobo, E. A., Heinrich, C. G., Schuch, M., Wetzel, C. E., & Ector, L. (2016). Diatoms as Bioindicators in Rivers. En *River Algae* (pp. 245–271). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31984-1_11
- Mann, D. G. (2002). *DIATOMS: ORGANISM AND IMAGE* (pp. 9–40). https://doi.org/10.1142/9789812777867_0002
- Maza Lema, J. A. (2017). *Cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de iones de fosfato en dos cuencas andinas altas del sur del Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Ministerio de Agricultura, A. y M. A. (2012). *Catálogo y claves de identificación de organismos fitobentónicos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico*.
- Mohebbi, M. R., Saeedi, R., Montazeri, A., Azam Vaghefi, K., Labbafi, S., Oktaie, S., Abtahi, M., & Mohagheghian, A. (2013). Assessment of water quality in groundwater resources of Iran using a modified drinking water quality index (DWQI). *Ecological Indicators*, 30, 28–34.
- Moschini, C. V. (1999). Importância, estrutura e dinâmica da comunidade perifítica nos ecossistemas aquáticos continentais. En *Perspectivas na Limnologia no Brasil* (pp. 1–11). Gráfica e Editora União.
- Pandey, L. K., Lavoie, I., Morin, S., Park, J., Lyu, J., Choi, S., Lee, H., & Han, T. (2018). River water quality assessment based on a multi-descriptor approach including chemistry, diatom assemblage structure, and non-taxonomical diatom metrics. *Ecological Indicators*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.043>
- Paul, M. J., & Meyer, J. L. (2001). Streams in the urban landscape. En *Annual Review of Ecology and Systematics* (Vol. 32). <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040>
- Prygiel, J., & Coste, M. (1993a). The assessment of water quality in the Artois-Picardie water basin (France) by the use of diatom indices. *Hydrobiologia*, 269–270(1), 343–349. <https://doi.org/10.1007/BF00028033>

- Prygiel, J., & Coste, M. (1993b). The assessment of water quality in the Artois-Picardie water basin (France) by the use of diatom indices. *Hydrobiologia*, 269–270(1), 343–349. <https://doi.org/10.1007/BF00028033>
- Prygiel, J., Carpentier, P., Almeida, S., Coste, M., Druart, J.-C., Ector, L., Guillard, D., Honoré, M.-A., Iserentant, R., Ledeganck, P., Lalanne-Cassou, C., Lesniak, C., Mercier, I., Moncaut, P., Nazart, M., Nouchet, N., Peres, F., Peeters, V., Rimet, F., ... Zydek, N. (2002). Determination of the biological diatom index (IBD NF T 90–354): results of an intercomparison exercise. *Journal of Applied Phycology*, 14(1), 27–39. <https://doi.org/10.1023/A:1015277207328>
- Registro Oficial del Ecuador [ROE]. (2015). *Suplemento N°387. 4 de noviembre de 2015 (Ecuador)*.
- Rimet, F., & Bouchez, A. (2012). Biomonitoring river diatoms: Implications of taxonomic resolution. *Ecological Indicators*, 15(1), 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.014>
- Rita, M. C. M. (2022). Caracterización De Diatomeas Como Herramienta Para El Estudio De La Calidad De Agua Del Río Atacames . *PUCESE-Escuela de Gestión Ambiental*.
- Rivera, S. F., & Morales, E. A. (2013). Nuevos taxa de diatomeas (Bacillariophyta) descritos en el Herbario Criptogámico de la Universidad Católica Boliviana San Pablo (HCUCB). *Acta Nova*, 6(1–2), 142–152.
- Rumeau, A., & Coste, M. (1988). Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce. Pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 309. <https://doi.org/10.1051/kmae:1988009>
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación*, 27(3), 172–181.
- Sardi Barzallo, C. (2018). *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*. Universidad del Azuay.
- Shagufta Bibi, Rizwan Ullah Khan, Ruqia Nazir, Pirzada Khan, Hameed Ur Rehman, Shakirullah Khan Shakir, Sonia Naz, M.A. Waheed, & Rahmatullah Jan. (2016). Heavy

- Metals Analysis in Drinking Water of Lakki Marwat District, KPK, Pakistan. *World Applied Sciences Journal*, 3(34), 15–19.
- Singh, J., Yadav, P., Pal, A. K., & Mishra, V. (2020). *Water Pollutants: Origin and Status*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0_2
- Smith, K. (1972). River water temperatures - an environmental review. *Scottish Geographical Magazine*, 88(3), 211–220. <https://doi.org/10.1080/00369227208736229>
- Stevenson, R. J., Pan, Y., & van Dam, H. (2010). Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. En *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences, Second Edition*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511763175.005>
- Stoermer, E. F., & Smol, J. P. (1999). The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences. *Nordic Journal of Botany*, 19(3), 384–384. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1999.tb01132.x>
- Stulzer, E. F., Villalobos-Sand, N., Castro, L. P., & Schulz, C. (2017). Evaluación breve de la presencia de diatomeas y su relación con algunos parámetros físico-químicos en el río Pirro, Heredia, Costa Rica. *Uniciencia*, 31(2), 99–109.
- Tornés, E., Cambra, J., Gomà, J., Leira, M., Ortiz, R., & Sabater, S. (2007). Indicator taxa of benthic diatom communities: a case study in Mediterranean streams. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 43(1), 1–11. <https://doi.org/10.1051/limn/2007023>
- Vargas, E. C. (2014). *Análisis taxonómico de las principales especies de diatomeas (Bacillariophyceae) en seis sitios en la cuenca del río Sarapiquí*. Universidad de Costa Rica.
- Verhougstraete, M. P., Martin, S. L., Kendall, A. D., Hyndman, D. W., & Rose, J. B. (2015). Linking fecal bacteria in rivers to landscape, geochemical, and hydrologic factors and sources at the basin scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(33), 10419–10424. <https://doi.org/10.1073/pnas.1415836112>
- Villalta, S. (2024). *Evaluación de la calidad del agua aplicando el Índice Diatómico General (IDG) en microcuencas abastecedoras de agua de consumo, en la zona urbana del cantón Yantzaza*. Universidad Nacional de Loja.

- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Liermann, C. R., & Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315). <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Walz, R. (2000). Development of environmental indicator systems: Experiences from Germany. *Environmental Management*, 25(6). <https://doi.org/10.1007/s002670010048>
- Whitton, B. A., & Potts, M. (2001). *The Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space* (3a ed., Vol. 39). Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/0-306-46855-7>

11. Anexos

Anexo 1. Fotografías de la recolección de muestras de agua del río Catamayo

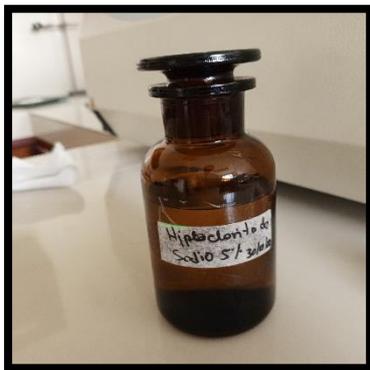
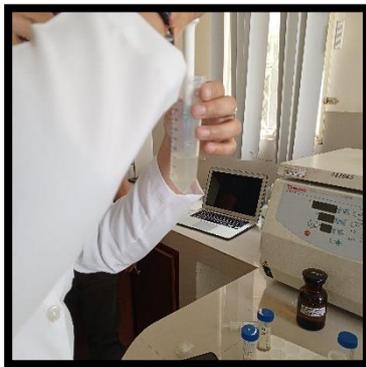


Anexo 2. Fotografías de la identificación del material fitoplanctónico y recolección de muestras en el río Catamayo

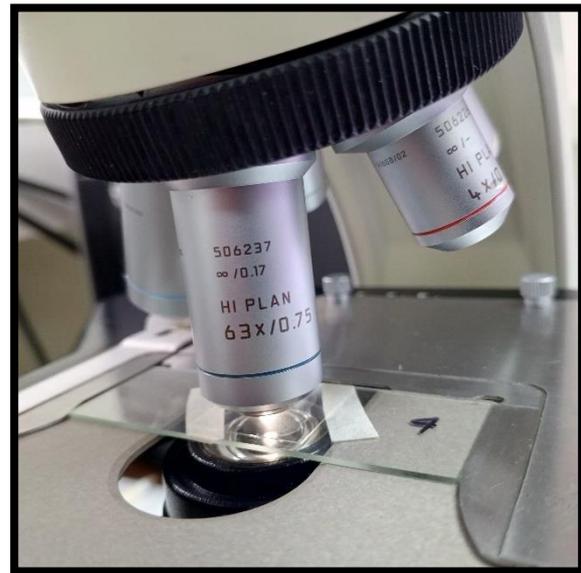


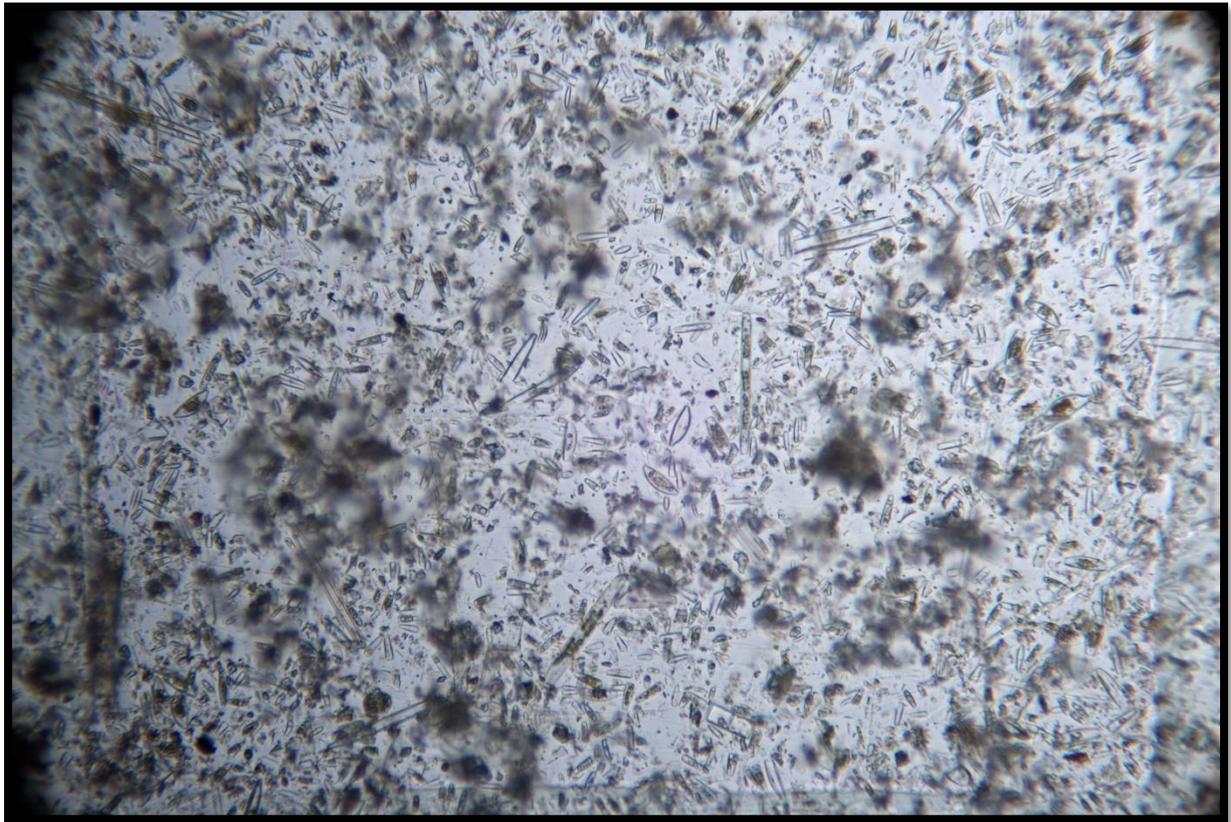


Anexo 3. Fotografías de la limpieza del material orgánico y secado de diatomeas en laboratorio



Anexo 4. Fotografías de la identificación y conteo de diatomeas en microscopio

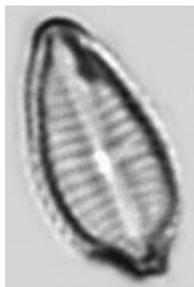




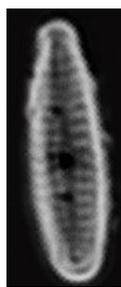
Anexo 5. Fotografías de los géneros y especies de diatomeas en microscopio



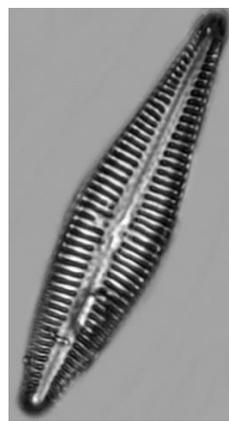
Gomphonema



Gomphonema



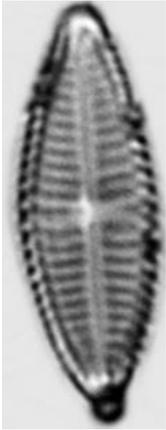
Gomphonema



Gomphonema



Gomphonema



Gomphonema



Gomphonema



Gomphonema



Gomphonema



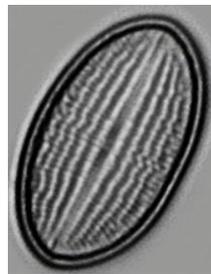
Pinnularia



Navicula



Rhoicosphenia



Cocconeis placentula



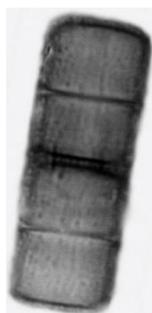
Cymbella



Hannea arcus



Ulnaria



Melosira varians



Amphora



Rhoicosphenia abbreviata



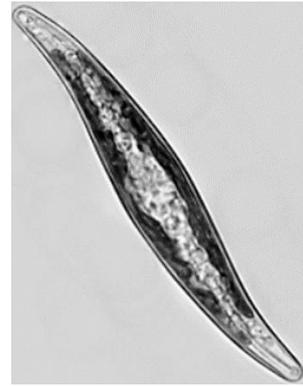
Cymbella tumida



Ulnaria Ulna



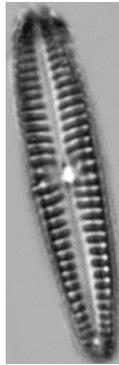
Ulnaria delicatissima



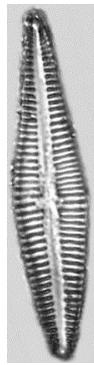
Gyrosigma acuminatum



Synedra



Gomphonema



Gomphonema



Navicula



Rhoicosphenia abbreviata

Loja, 21 de noviembre del 2024

Yo, **Luis Alejandro Torres Agila**, con cédula de identidad **1105398679**; Licenciado en Pedagogía del Idioma Inglés graduado de la Universidad Nacional de Loja con registros de la Senescyt 1008-2023-2598024 respectivamente, certifico:

Que tengo el conocimiento del idioma inglés FCE B2, y que la traducción del resumen de trabajo de titulación: **Evaluación de la calidad de agua del río Catamayo mediante la caracterización de *bacillaryophyta* y de las condiciones físicas y químicas**, cuya autoría del estudiante Jairo Alejandro Cisneros Orozco, con cédula de identidad 1805382601, es verdadero a mi mejor saber y entender.

Atentamente,



Lic. Luis Alejandro Torres Agila

EFL TEACHER