



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

**Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables**

**Carrera de Ingeniería Ambiental**

### **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**

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

**AUTOR:**

Stahil Fernando Villalta Salinas

**DIRECTOR:**

Ing. Víctor Alonso Cartuche Paqui, Ph.D.

Loja – Ecuador

2024

# Certificación

Loja, 24 de marzo de 2023

Ing. Víctor Alonso Cartuche Paqui, PhD.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

## CERTIFICACION:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **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**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Ambiental** de la autoría del estudiante **Stahil Fernando Villalta Salinas**, con **cédula de identidad Nro. 1900783166**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Víctor Alonso Cartuche Paqui, PhD.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **Autoría**

Yo, **Stahil Fernando Villalta Salinas**, 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 mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cédula de Identidad:** 1900783166

**Fecha:** 08 de julio de 2024

**Correo electrónico:** stahil.villalta@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0968395987

**Carta de autorización por parte de la autora para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.**

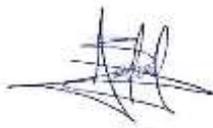
Yo **Stahil Fernando Villalta Salinas**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de la calidad del agua aplicando el Índice Diatómico General (IDG) en microcuencas abastecedoras de agua de consumo, en la zona urbana del cantón Yantzaza**, como requisito para optar 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 ocho días del mes de julio del dos mil veinticuatro.

**Firma:**



Autor: Stahil Fernando Villalta Salinas

Cédula: 1900783166

Dirección: Yantzaza, Zamora Chinchipe

Correo electrónico: stahil.villalta@unl.edu.ec

Teléfono: 0968395987

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Víctor Alonso Cartuche Paqui, PhD.

### **Dedicatoria**

Este trabajo lo dedico a mis padres Stalin Villalta e Hilda Salinas, quienes con paciencia y amor me han apoyado en este proceso. A mis hermanos por ser mi motivación. A mis queridos abuelitos allá en el cielo Hilario y Florinda que me gustaría tenerlos presentes en este importante momento de mi vida. A mis amigos y compañeros con quienes he compartido muchos gratos momentos.

*Stahil Fernando Villalta Salinas*

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por ser mi apoyo incondicional en todo momento, por darme la fuerza y valentía para poder seguir adelante. Muchas gracias a la Universidad Nacional de Loja y a todos sus docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental que con su paciencia me impartieron sus conocimientos para formarme profesionalmente. Mi infinita gratitud al Ing. Alonso Cartuche Ph.D, director de tesis, quien en base a su conocimiento y experiencias me acompañó y orientó en el desarrollo de este proyecto de investigación. Al Ing. Robert Suarez, Ing. Wilson Romero, Ing. Myriam Ortega, quienes me brindaron su ayuda en este trabajo de investigación. Al Departamento de Agua Potable del GAD Municipal de Yantzaza, Universidad Técnica Particular de Loja y EMAPAZ por prestarme sus equipos y laboratorios necesarios para la realización de este trabajo.

*Stahil Fernando Villalta Salinas*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	i
<b>Certificación</b> .....	ii
<b>Autoría</b> .....	iii
<b>Carta de autorización</b> .....	iv
<b>Dedicatoria</b> .....	v
<b>Agradecimiento</b> .....	vi
<b>Índice de contenidos</b> .....	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xii
<b>1. Título</b> .....	1
<b>2. Resumen</b> .....	2
Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	4
<b>4. Marco teórico</b> .....	5
4.1. Calidad del agua.....	5
4.2. Uso de organismos como indicadores biológicos de la calidad del agua.....	6
4.3. Diatomeas.....	7
4.3.1. Morfología de las Diatomeas.....	8
4.3.2. Rasgos morfológicos de carácter diagnóstico.....	10
4.3.3. Reproducción.....	10
4.3.4. Aspectos ecológicos.....	10
4.4. Las diatomeas como bioindicadores.....	11
4.4.1. Ventajas del uso de diatomeas como bioindicadores.....	11
4.5. Características fisicoquímicas y diatomológicas del agua.....	14
4.5.1. Parámetros fisicoquímicos del agua.....	14
4.5.2. Características diatomológicas.....	17
4.6. Índice diatómico general (IDG).....	18
<b>5. Metodología</b> .....	19
5.1. Descripción del área.....	19

5.2.	Definición de puntos de muestreo en los tramos de estudio.....	20
5.3.	Metodología para la caracterización de las condiciones físico-químicas y diatomológicas.....	23
5.3.1.	Determinación de parámetros físico-químicos.....	23
5.3.1.1.	Análisis de laboratorio de nitrato y fosfato.....	23
5.3.2.	Obtención de métricas biológicas.....	24
5.3.2.1.	Análisis de muestras biológicas.....	24
5.3.2.2.	Observación de las comunidades de diatomeas.....	25
5.3.2.3.	Identificación taxonómica de comunidades de diatomeas.....	27
5.3.3.	Determinación de la riqueza y esfuerzo de muestreo de comunidades de diatomeas.....	27
5.3.4.	Determinación de la diversidad y equitatividad de comunidades de diatomeas.....	27
5.4.	Metodología para la evaluación de la calidad del agua a través de la aplicación del Índice Diatómico General.....	29
5.4.1.	Índice diatómico general (IDG).....	29
<b>6.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>31</b>
6.1.	Caracterización de las condiciones físico-químicas y diatomológicas.....	31
6.1.1.	Parámetros fisicoquímicos.....	31
6.1.1.1.	Temperatura.....	33
6.1.1.2.	pH.....	34
6.1.1.3.	Conductividad Eléctrica.....	35
6.1.1.4.	Sólidos Totales Disueltos.....	37
6.1.1.6.	Nitratos y fosfatos.....	39
6.1.2.	Análisis de variables bióticas.....	40
6.1.3.	Determinación de la diversidad y equitatividad de comunidades de diatomeas.....	46
6.2.	Determinación de la calidad del agua a través de la aplicación del Índice Diatómico General (IDG).....	48
6.2.1.	Índice Diatómico General.....	48
<b>7.</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>49</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>55</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>56</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía</b> .....	<b>56</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>70</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Características geográficas del cantón Yantzaza. ....	20
<b>Tabla 2.</b> Coordenadas de puntos de muestreo.....	22
<b>Tabla 3.</b> Distribución de los transectos y campos de visión en la cámara de recuento de Sedgewick Rafter.....	26
<b>Tabla 4.</b> Interpretación del índice de diversidad Alfa de Shannon-Wiener. ....	28
<b>Tabla 5.</b> Valores de sensibilidad asignados para cada taxón.....	29
<b>Tabla 6.</b> Valores de amplitud ecológica asignados para cada taxón. ....	30
<b>Tabla 7.</b> Categorías de calidad de agua para el índice diatómico general. ....	30
<b>Tabla 8.</b> Comparación de los resultados de los parámetros físico-químicos con los límites máximos permisibles de la microcuenca Yantzaza. ....	31
<b>Tabla 9.</b> Comparación de los resultados de los parámetros físico-químicos con los límites máximos permisibles de la microcuenca San Francisco. ....	32
<b>Tabla 10.</b> Resultados de las concentraciones de nitratos y fosfatos en la microcuenca Yantzaza. ....	40
<b>Tabla 11.</b> Resultados de las concentraciones de nitratos y fosfatos en la microcuenca San Francisco .....	40
<b>Tabla 12.</b> Géneros identificados en la microcuenca Yantzaza. ....	42
<b>Tabla 13.</b> Géneros identificados en la microcuenca San Francisco.....	42
<b>Tabla 14.</b> Valores de los índices de diversidad y equitatividad de la microcuenca Yantzaza. .	47
<b>Tabla 15.</b> Valores de los índices de diversidad y equitatividad de la microcuenca San Francisco. ....	47
<b>Tabla 16.</b> Resultados de la aplicación del IDG en las dos microcuencas abastecedoras de agua de consumo para la zona urbana del cantón Yantzaza.....	49

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Membrana celular de las diatomeas.....	8
<b>Figura 2.</b> Tipologías morfológicas de los frústulos de las diatomeas .....	9
<b>Figura 3.</b> Mapa de la zona urbana de Yantzaza y microcuencas de estudio.....	20
<b>Figura 4.</b> Mapa de los puntos de muestreo.....	22
<b>Figura 5.</b> Preparación de muestra en cámara Sedgewick para observación de diatomeas.....	25
<b>Figura 6.</b> Esquema del proceso para la observación y recuento de diatomeas.....	26
<b>Figura 7.</b> Resultados de las mediciones de temperatura de la microcuenca Yantzaza. ....	33
<b>Figura 8.</b> Resultados de las mediciones de temperatura de la microcuenca San Francisco. ...	34
<b>Figura 9.</b> Resultados de la medición de pH de la microcuenca Yantzaza. ....	34
<b>Figura 10.</b> Resultados de la medición de pH de la microcuenca San Francisco. ....	35
<b>Figura 11.</b> Resultados de la medición de conductividad eléctrica en la microcuenca Yantzaza. .....	36
<b>Figura 12.</b> Resultados de la medición de conductividad eléctrica en la microcuenca San Francisco. ....	36
<b>Figura 13.</b> Resultados de la medición de Sólidos Totales Disueltos en la microcuenca Yantzaza. .....	37
<b>Figura 14.</b> Resultados de la medición de Sólidos Totales Disueltos en la microcuenca San Francisco. ....	38
<b>Figura 15.</b> Resultados de la medición de turbiedad de la microcuenca Yantzaza. ....	38
<b>Figura 16.</b> Resultados de la medición de turbiedad de la microcuenca San Francisco. ....	39
<b>Figura 17.</b> Curva de acumulación de géneros para la microcuenca Yantzaza, mediante el estimador no paramétrico ACE. ....	41
<b>Figura 18.</b> Curva de acumulación de géneros para la microcuenca San Francisco, mediante el estimador no paramétrico ACE. ....	41
<b>Figura 19.</b> Individuos identificados en la captación de la microcuenca Yantzaza. ....	43
<b>Figura 20.</b> Individuos identificados en la zona intervenida con agricultura y ganadería de la microcuenca Yantzaza. ....	44
<b>Figura 21.</b> Individuos identificados en la zona con evidencia de minería artesanal de la microcuenca Yantzaza. ....	44
<b>Figura 22.</b> Individuos identificados en la captación de la microcuenca San Francisco. ....	45
<b>Figura 23.</b> Individuos identificados en la zona intervenida con ganadería de la microcuenca San Francisco. ....	46

<b>Figura 24.</b> Individuos identificados en la zona de bosque nativo de la microcuenca San Francisco. ....	46
<b>Figura 25.</b> Resultados de la aplicación del IDG en la microcuenca Yantzaza. ....	48
<b>Figura 26.</b> Resultados de la aplicación del IDG en la microcuenca San Francisco. ....	49

## Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b> Zona de captación de la microcuenca Yantzaza .....	70
<b>Anexo 2.</b> Zona intervenida por agricultura y ganadería.....	70
<b>Anexo 3.</b> Zona con evidencia de minería artesanal .....	70
<b>Anexo 4.</b> Zona de captación de la microcuenca San Francisco .....	71
<b>Anexo 5.</b> Zona intervenida por ganadería.....	72
<b>Anexo 6.</b> Zona de bosque nativo.....	72
<b>Anexo 7.</b> Criterio de recolección de las piedras.....	73
<b>Anexo 8.</b> Raspado de la piedra con 20 ml de agua destilada sobre una jarra de plástico y recolección de la muestra biológica hasta completar 100 ml de los 5 sustratos naturales por cada punto de muestreo. ....	73
<b>Anexo 9.</b> Obtención de muestras para análisis de laboratorio de nitratos y fosfatos.....	74
<b>Anexo 10.</b> Obtención de parámetros fisicoquímicos .....	74
<b>Anexo 11.</b> Obtención de parámetros fisicoquímicos a nivel de laboratorio .....	75
<b>Anexo 12.</b> Preparación de la muestra biológica.....	75
<b>Anexo 13.</b> Observación e identificación de las comunidades de diatomeas.....	76
<b>Anexo 14.</b> Presentación del proyecto en el III simposio de calidad ambiental y biodiversidad .....	77
<b>Anexo 15.</b> Certificado de traducción del resumen.....	78

## **1. Título**

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.

## 2. Resumen

En esta investigación se evaluó la calidad del agua aplicando el Índice Diatómico General (IDG) en microcuencas abastecedoras de agua de consumo para la zona urbana del cantón Yantzaza. Se determinó tres puntos de muestreo en cada una de las zonas de estudio, microcuenca Yantzaza (captación, zona intervenida con agricultura y ganadería, zona con evidencia de minería artesanal) y microcuenca San Francisco (captación, zona intervenida con ganadería, bosque nativo). In situ se midió parámetros fisicoquímicos como: temperatura, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica. El pH, turbiedad, nitratos y fosfatos se midieron a nivel de laboratorio. Para el análisis de comunidades de diatomeas, se tomó muestras de sustratos (piedras pequeñas) en el eje transversal del río que no se encuentren bajo la sombra. En las dos microcuencas se identificó un total de 8.819 individuos pertenecientes a 9 géneros de diatomeas, de los cuales, géneros como *Navicula*, *Nitzschia* y *Gomphonema* tuvieron mayor abundancia, y estos se encuentran descritos como especímenes tolerantes a la contaminación orgánica del agua, como el fósforo que influye en su abundancia a diferencia de otras variables fisicoquímicas como el pH y la temperatura. Los resultados señalan altas concentraciones de fosfatos presentes en estos cuerpos de agua, que puede ser el resultado del desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas, de tal manera que el arrastre de excremento de ganado y residuos agrícolas, estarían afectando a los puntos de captación de agua de consumo para la zona urbana del cantón Yantzaza. Los resultados del IDG reportaron una polución fuerte para la microcuenca Yantzaza, especialmente en la zona intervenida con agricultura y ganadería, y un grado de polución media a moderada para la microcuenca San Francisco.

**Palabras clave:** Diatomeas, Índice Diatómico General, diversidad, actividades agrícolas y ganaderas, minería artesanal.

## **Abstract**

In this research, water quality we investigated by using the General Diatom Index (GDI) across watersheds that supply drinking water to Yantzaza Canton's urban area. The study focused on key sampling points within two main areas: the Yantzaza watershed, which included sites affected by agriculture, livestock, and artisanal mining, and the San Francisco watershed, with zones impacted by livestock and pristine native forest. The fieldwork involved measuring various physicochemical parameters on-site, such as temperature, total dissolved solids, and electrical conductivity. Additionally, we conducted more detailed laboratory analyses of pH, turbidity, nitrates, and phosphates. To assess diatom community structures, we collected substrate samples (small stones) from the riverbed's exposed areas.

A significant presence of diatoms was identified in 8,819 individuals across nine genera. Notably, genera like *Navicula*, *Nitzschia*, and *Gomphonema* were particularly abundant. These genera are known for their resilience to organic water pollution, primarily influenced by phosphorus levels rather than variables such as pH or temperature. The final results revealed elevated phosphate concentrations in these water bodies, likely attributable to agricultural and livestock practices. The runoff from livestock waste and agricultural residues appears to be adversely affecting the drinking water sources for Yantzaza's urban area. According to the General Diatom Index (GDI) results, the Yantzaza watershed exhibits a high degree of pollution, especially in agricultural and livestock-affected zones. In contrast, the San Francisco watershed showed a moderate to moderately high level of pollution.

In summary, this study underscores the impact of agricultural, livestock, and mining activities on water quality in these critical watersheds, emphasizing the need for targeted environmental management strategies.

**Keywords:** Diatoms, General Diatom Index, diversity, agricultural and livestock activities, artisanal mining.

### 3. Introducción

Los ríos del Ecuador a pesar de presentar una gran importancia ecológica, económica y cultural, tanto por ser fuente del recurso hídrico básico para actividades productivas y de subsistencia como por los servicios ecológicos que proporcionan, han sido poco estudiados desde el punto de vista de su ecología como de las alteraciones generadas por las intervenciones antropogénicas, existiendo de esta forma, una ausencia de información y conocimiento que repercutan en la planificación y el manejo sustentable de los recursos hídricos (Merino, 2018).

El problema en la región Sur del Ecuador sobre el manejo y conservación de las fuentes de agua para consumo humano está tomando mayor interés por parte del sector público debido a la alteración de la disponibilidad de agua en cantidad y calidad por diversos factores como: manejo deficiente de las microcuencas (fuentes de agua), el rápido crecimiento demográfico y urbanización sin ordenamiento, la contaminación de ríos y quebradas, la tala de bosques y deterioro del suelo por actividades agrícolas, mineras y el cambio climático (FORAGUA. 2021).

Para evaluar la calidad del agua se requiere del conocimiento en torno a la concentración de varios parámetros que sirven para la determinación de características fisicoquímicas y biológicas (Coral, 2013). Las diatomeas son organismos unicelulares distribuidos ampliamente en todos los ecosistemas acuáticos lóticos y lénticos de la tierra, estas comunidades biológicas son utilizadas como organismos para el monitoreo de la calidad del agua, especialmente en ríos y arroyos debido a la presencia de géneros y especies de acuerdo al grado de contaminación, donde su dominancia cuantitativa y composición taxonómica son indicadores de características ambientales (contaminación orgánica y eutrofización) (Merino, 2018). Las diatomeas se encuentran adheridas a sustratos fijos, y, en consecuencia, se las puede monitorear en cualquier época del año, mostrando una gran ventaja en su aplicación. Por lo tanto, el análisis de la composición de sus comunidades brinda un método sencillo para detectar cambios en el entorno por causas naturales o antrópicas (Urrea & Sabater, 2009).

El estudio, se llevó a cabo en la zona periurbana de la parroquia Yantzaza que según el PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN YANTZAZA 2020 – 2023 cuenta con una población urbana de 12.356 habitantes, donde el 73% de esta población ubicada en el casco céntrico es abastecida por

agua proveniente de la red pública (Castro et al., 2020). La ciudad de Yantzaza se abastece de agua de consumo de dos microcuencas principales, la microcuenca Yantzaza que provee de agua a dos plantas de tratamiento que funcionan juntas y están ubicadas en el barrio Luis Bastidas, y la microcuenca San Francisco que provee de agua a una planta de tratamiento ubicada en el barrio San Francisco (FORAGUA. 2021). Según Paladines (2013), el sistema de las dos plantas que trabajan juntas están por culminar su vida útil, por ende, no asegura un funcionamiento eficaz que brinde una óptima calidad de agua.

En estas microcuencas se presentan amenazas dadas por intervenciones humanas, las cuales generan impactos negativos sobre los cuerpos de agua, principalmente las alteraciones están asociadas a: minería artesanal, agricultura y ganadería, tala de bosques y presencia de actividades pecuarias aguas arriba de las captaciones (FORAGUA. 2021). En este sentido, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuál es la calidad del agua de las dos microcuencas abastecedoras de agua de consumo para la zona urbana de Yantzaza mediante la aplicación de diatomeas como bioindicadores? Por consiguiente, el proyecto planteó el siguiente objetivo general : “Evaluar la calidad del agua de dos microcuencas que abastecen de agua de consumo para la zona urbana del cantón Yantzaza mediante el uso de diatomeas como bioindicadores”, para ello se han planteado los siguientes objetivos específicos: i) Caracterizar las condiciones físico químicas y diatomológicas de dos microcuencas abastecedoras de agua de consumo para la zona urbana del cantón Yantzaza; ii) Determinar la calidad del agua a través de la aplicación del Índice Diatómico General (IDG) en dos microcuencas abastecedoras de agua de consumo para la zona urbana del cantón Yantzaza.

## **4. Marco teórico**

### **4.1. Calidad del agua**

El Ecuador es un país rico en cantidad de agua, pero no en calidad, debido a que alrededor del 70% de sus ríos se hallan en procesos críticos de contaminación, teniendo como principal causa las actividades antrópicas (FLACSO, 2008). Según Jiménez y Borrero (2017), el cambio de uso del suelo y el aumento de la población son los principales causantes del deterioro de los cuerpos de agua dulce tanto en cantidad como en calidad, esto debido a la ausencia de políticas públicas ambientales que gestionen la calidad de los ecosistemas a través de la conservación con enfoque participativo.

En la región Sur del Ecuador la problemática recae sobre el manejo y la conservación de las fuentes de agua para consumo humano motivado por alteraciones provocadas por varias causas como: manejo deficiente de las microcuencas, el rápido crecimiento en la población, urbanización sin orden, explotación minera, el cambio climático, entre otras (FORAGUA. 2021). Estas alteraciones producen residuos que el río no puede depurar por ejemplo metales pesados y plaguicidas, que afectan a las comunidades biológicas cercanas promoviendo una reducción de las condiciones adecuadas para los seres vivos que habitan en el cuerpo de agua (Gómez et al., 2020). En las últimas décadas se ha presentado un creciente interés por conocer el estado de la calidad del agua y cómo ésta evoluciona con el tiempo de manera que, se logre cumplir con los estándares exigidos para satisfacer la demanda de uso de este recurso (Figuerola et al., 2000). En este panorama, es importante aplicar el estudio de estándares físicos, químicos y biológicos, para evaluar y monitorear los cambios de la calidad del agua, y por consiguiente, se pueda calcular el efecto y el alcance de la intervención humana (Canchapoma et al. 2016).

Desde hace muchos años atrás, la calidad del agua es definida no sólo por sus atributos fisicoquímicos, sino por otros criterios importantes, tales como el componente biológico (Nugra et al. 2016). Los datos biológicos brindan una amplia información en variaciones de tiempo, mientras que los parámetros fisicoquímicos facilitan valores puntuales sobre la calidad del recurso agua siendo de gran importancia realizar conjuntamente los dos tipos de análisis (Villamarín et al., 2014).

#### **4.2. Uso de organismos como indicadores biológicos de la calidad del agua**

Se considera como un organismo indicador a aquel espécimen que se encuentra asociado con aguas de buena o mala calidad según sus atributos estructurales y de distribución (Gómez et al., 2020). Al tener en cuenta a toda una comunidad biótica, se minimizan los errores y aumenta la capacidad de detectar alteraciones acuáticas (Swedish Environmental Protection Agency, 2002). Los organismos ayudan a establecer una escala de calidad biológica del agua, de tal manera que se establece como una herramienta para conocer el estado del ecosistema acuático” (Gómez et al., 2020).

Las comunidades biológicas han sido propuestas para la evaluación y seguimiento de los ecosistemas acuáticos debido a que manifiestan respuestas morfológicas y

fisiológicas a estresores ambientales físicos (velocidad de la corriente, turbiedad del agua, diversidad del sustrato) y químicos (dureza, pH, concentración de nutrientes, contenido iónico) (Stancheva y Sheath, 2016). En la actualidad, ya se ha utilizado a estas comunidades acuáticas como una herramienta complementaria para los análisis físico-químicos y microbiológicos para evaluar la calidad del agua, debido a sus sistemas de respuesta ante perturbaciones (Merino, 2018). Estas comunidades pueden ser monitoreadas en una diversidad de medios, donde a partir de los índices biológicos, que integran los conceptos de saprobia y diversidad, se toma en cuenta la composición y adaptabilidad de estos organismos frente a perturbaciones ambientales que los vuelve muy útiles para evaluar el estado de algunos individuos como medida de perturbación o contaminación que se va a medir (Rivas et al., 2010). Otra de las grandes ventajas que presentan los bioindicadores es que pueden ser considerados como un supervisor continuo, debido a que los organismos están presentes en el cuerpo de agua todo el tiempo, y aunque no se puedan registrar los elementos causantes de la contaminación en el momento del muestreo, sus efectos sobre la comunidad serán evidentes, donde si se nota una alteración súbita de la comunidad será necesario realizar un análisis o estudios especializados, que mostrarán o darán razón de lo que sucedió en el río (Gómez et al., 2020).

Según Gómez et al (2020), es muy importante considerar a los indicadores biológicos y los parámetros físico-químicos como complementarios más que como totalmente alternativos, donde al usar las comunidades biológicas como bioindicadores nos permitiría efectuar un monitoreo continuo muy preciso del estado de los cuerpos de agua con un bajo costo, donde en caso de que los bioindicadores muestren un proceso de contaminación será necesario realizar los análisis físicoquímicos específicos que permitan la identificación y cuantificación de las sustancias contaminantes.

### **4.3. Diatomeas**

Según Alegre et al. (2004), las diatomeas son organismos acuáticos, que se encuentran en cuerpos de agua de todo el mundo. En la actualidad se conoce a aproximadamente 10.000 especies que se ha podido utilizar para determinar la calidad o estado de cuerpos de agua mediante su adaptación a diversos rangos ecológicos. Estas algas son de la clase Bacillariophyceae y están relacionadas filogenéticamente con la clase Chrysophyceae. Las diatomeas habitualmente se las encuentra flotando libremente

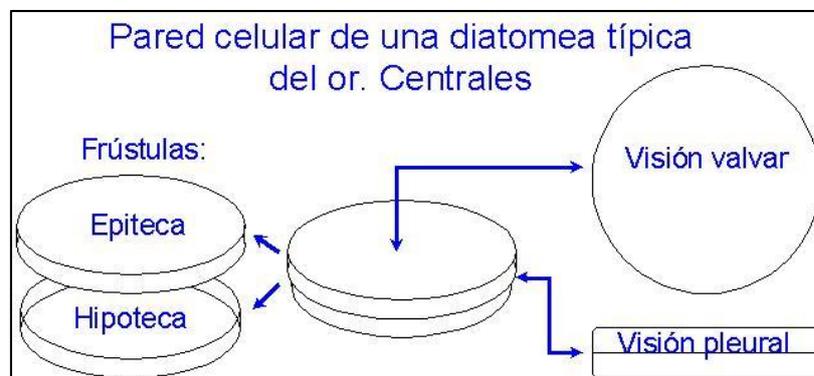
en el agua (plancton) o también se las puede encontrar pegadas al sustrato sólido sumergido (perifitón). Se las considera como un grupo taxonómico fundamental por su presencia en los ríos aproximadamente entre un 80-90% de la comunidad de microorganismos bénticos (Rivas et al., 2010).

#### 4.3.1. *Morfología de las Diatomeas*

Según Blanco et al. (2010), para la identificación y clasificación de las diatomeas se utiliza caracteres relacionados a la morfología y ornamentación del frústulo:

##### a. **Membrana celular.**

Fundamentalmente está compuesta por pectina y fuertemente impregnada en sílice, lo cual la hace resistente a la acción de los ácidos y bases fuertes (Blanco et al., 2010).

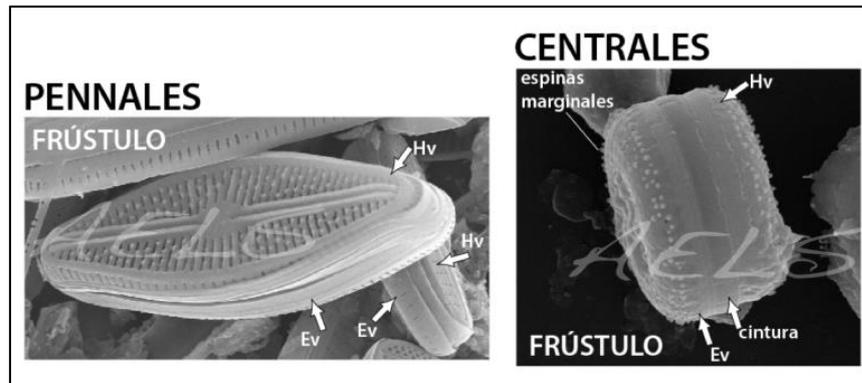


**Figura 1.** Membrana celular de las diatomeas

Tomado de: (Romero, 2017)

##### b. **Frústulo**

Es un caparazón sílico con gran dureza y resistencia que protege a la célula, sobre el cual se basa su taxonomía, es prácticamente inalterable en el tiempo (Almanza & Ramirez, 2018). Se compone de dos mitades encajadas entre sí denominadas tecas, cuenta con una superior llamada epiteca que es siempre mayor y envuelve parcialmente a la inferior llamada hipoteca (Blanco et al., 2010).



**Figura 2.** Tipologías morfológicas de los frústulos de las diatomeas

Tomado de: (AELS, 2017)

### c. Valva

Cada teca está formada por una valva que respectivamente será epi-e hipo valva y un cingulo epi-e hipo cingulo, estos esqueletos están conformados por sílice siendo resistentes a la disolución y ataque bacteriano, preservándose en muy buen estado (Almanza & Ramirez, 2018). En la valva se desarrolla una serie de ornamentaciones que van a permitir la identificación taxonómica para el estudio (Blanco et al., 2010).

### d. Rafe

En algunas especies la valva está atravesada por un agudo surco llamado rafe que va desde la teca hasta el protoplasto, está rodeado por una zona de superficie lisa y sin estructura aparente y que recibe diferentes nombres dependiendo de la zona del mismo con la que se encuentre relacionada (Bastida & Stupak, 1979). Este rafe permite la locomoción de las células debido a un orgánulo en forma de cinta que está formado por fibrillas que permite la contracción rítmica; este orgánulo provoca una secreción en los poros terminales de una sustancia adhesiva que viaja a través de la hendidura (Blanco et al., 2010).

### e. Areolas

Son varias series de líneas de perforaciones en forma de estría que se encuentran perpendiculares al rafe (Blanco et al., 2010).

### f. La cintura

Es la unión de las dos tecas, está formada por cópulas o anillos que cubren y disponen el mismo contorno de la célula (Blanco et al., 2010).

#### **4.3.2. Rasgos morfológicos de carácter diagnóstico**

Como principales rasgos morfológicos se encuentra a la frústula que es de carácter prioritario en la diferenciación de las especies de diatomeas (Blanco et al., 2010).

Según Rivas et al. (2010) en relación a la simetría se pueden clasificar en dos órdenes.

##### **g. Bibdulphiales o centrales**

Tienen simetría axial, son circulares, no tienen rafe, son inmóviles y su reproducción sexual es por oogamia (Rivas et al., 2010).

##### **h. Bacillariales o penales**

Tienen simetría bilateral, valvas alargadas, son móviles y su reproducción sexual es por anisogamia (Almanza & Ramirez, 2018). Su aparato plastidial está formado por dos plastos parietales, por lo tanto, puede haber o no presencia de rafe; cuando carecen de rafe se denominan arrafídeas o arrafídales, y cuando presentan rafe solo en una valva se denominan monorafídeas o monorrafídales y así sucesivamente según la presencia de rafe en las valvas., que generalmente podemos diferenciar dos ejes de simetría en la valva, longitudinal y transversal, con excepción en algunos géneros que muestran valvas asimétricas con respecto a un eje; por ejemplo, los géneros *Cymbella* y *Gomphonema* (Rivas et al., 2010).

#### **4.3.3. Reproducción**

Las diatomeas se reproducen tanto de manera sexual como asexual, principalmente se reproducen por fisión binaria (manera asexual), dividiéndose el ADN y replicándose, como resultado se obtiene dos mitades idénticas, donde las células hijas reciben una de las conchas de la célula materna y debe sintetizar la otra, por ende, una de las células hijas disminuirá su tamaño en cada generación hasta tener un tamaño vital y para poder regresar al tamaño original de las células, las diatomeas deben reproducirse de manera sexual (Colin et al., 2013).

#### **4.3.4. Aspectos ecológicos**

Las diatomeas son capaces de dar información válida hasta los 60 días después de que haya ocurrido algún evento que perturbe las condiciones del medio. Debido a su rápida respuesta y característica a diferentes cambios, se las ha utilizado como bioindicadores para la determinación de la calidad del agua. Por esta razón se ha creado

índices para la determinación ecológica de los cuerpos de agua a partir de la tolerancia a diferentes grados de polución y saporidad que caracteriza a estos microorganismos (Rivas et al., 2010).

#### **4.4. Las diatomeas como bioindicadores**

Las diatomeas han sido ampliamente usadas como eficientes indicadoras para evaluar la calidad del agua, considerando que responden rápidamente a cambios ambientales, especialmente contaminación orgánica y eutrofización, con un amplio espectro de tolerancia, desde condiciones oligotróficas hasta eutróficas (Lobo et al., 2015). Los índices de calidad de agua implementan a las diatomeas como bioindicadores, debido a que son capaces de vivir en todos los ambientes acuáticos (Oropesa, 2014).

Las diatomeas se encuentran prácticamente en todos los hábitats donde esté presente el agua (océanos, lagos, plantas, musgos), tienen una amplia distribución, ya que se considera que su presencia es a nivel mundial, constituyendo el grupo más importante del fitoplancton, que reúnen una serie de características fisiológicas y ecológicas que las convierten en organismos muy útiles para emplearlos como bioindicadores (González, 2022). Habitualmente se las encuentra flotando libremente en el agua (plancton) o también se las puede encontrar pegadas al sustrato sólido sumergido (perifitón) y se las considera como un fundamental grupo taxonómico por su presencia en los ríos aproximadamente entre un 80-90% de la comunidad de microorganismos bénticos (Rivas et al., 2010).

##### ***4.4.1. Ventajas del uso de diatomeas como bioindicadores***

###### **a. Ubicuidad**

Las diatomeas se desarrollan en una gran variedad de formas vitales (planctónicas, coloniales, perifíticas, etc.), esto permite su aplicación como bioindicadores ya que pueden estar presentes en casi todos los sistemas acuáticos que forme parte del biotopo (Lanza et al., 2011).

###### **b. Cosmopolitanismo**

Las diatomeas se distribuyen mundialmente, se encuentran desde los polos hasta en las regiones donde se presentan desiertos, se encuentran en aguas dulces, mares, aguas

salobres, termales e hipersalina, según el rango de condiciones ambientales que presenten (Blanco et al., 2010).

#### **c. Bajo grado de endemismo**

Según Ciutti (2005), el endemismo es la distribución de un taxón que está limitada a un ámbito geográfico reducido y que solo es posible encontrarlo de forma natural en ese lugar.

Para Córdova (2021), existe una gran mayoría de especies que aparecen con abundancia en todo el planeta, haciendo que muchos de los índices diatomológicos se puedan aplicar universalmente para realizar las comparaciones correspondientes tanto en diatomeas de una misma zona como en las de regiones diferentes.

#### **d. Sensibilidad**

Las diatomeas son muy sensibles frente a los cambios de las condiciones ambientales en referencia a la presencia de algunos contaminantes y nutrientes (P, N, Si), por esta razón se los utiliza como bioindicadores del estado ecológico del ambiente (Luque & Martínez de Fabricius, 2000).

#### **e. Diversidad**

Las diatomeas son un grupo de organismos con mucha diversidad debido a que existe un gran número de especímenes con distintas sensibilidades frente a la presencia de contaminantes y cambios ambientales, debido a esto, se convierten en organismos idóneos para ser usados como bioindicadores (Ciutti 2005). En los cuerpos de agua existen decenas de miles de individuos, cada uno de ellos con sus respectivos rangos de tolerancia frente a una gran variedad de factores ambientales, por lo tanto, los índices diatomológicos se basan en grandes inventarios que cuentan con un gran número de taxones, por lo que su capacidad de análisis de la calidad del agua es superior a otros índices bióticos (Blanco et al., 2010).

#### **f. Precisión estadística**

Los índices diatomológicos actuales están basados en la identificación de un mínimo de 400 individuos por muestra (Blanco et al., 2010). Esto presenta una mayor fiabilidad y precisión de los métodos estadísticos debido a que el error cometido en la estimación de la composición de la comunidad se encuentra en menos del 10% en todos

los casos, de tal modo que la utilización de los índices diatomológicos se convierten en métodos fiables por la identificación de individuos (Lanza et al., 2011).

#### **g. Ciclos vitales**

Las diatomeas al ser microorganismos unicelulares presentan ciclos vitales cortos y homogéneos, se reproducen rápidamente en respuesta inmediata frente a eventuales cambios del medio (Lanza et al., 2011). En este sentido, la composición de la comunidad de diatomeas muestra la calidad biológica del agua durante determinados periodos de tiempo, y no sólo la condición puntual que muestra un análisis físico-químico (Blanco et al., 2010).

#### **h. Facilidad de muestreo**

Las diatomeas tienen la ventaja de poder ser colectadas fácil y rápidamente, sin la necesidad de utilizar muchos materiales ni ocupar demasiado tiempo (López Fuerte y Siqueiros Beltrones, 2011). Estas pueden muestrearse en cualquier tramo fluvial sobre una gran variedad de sustratos tanto naturales como artificiales sin que esto condicione significativamente la naturaleza de la comunidad de diatomeas (Blanco et al., 2010).

#### **i. Facilidad de tratamiento, procesado y almacenaje**

El tratamiento necesario para la obtención de muestras y preparación microscópica es factible, sencillo y barato, además, las muestras ocupan poco espacio y se pueden almacenar sin existir la alteración ni la necesidad de tratamientos que ayuden en su conservación. (Lanza et al., 2011). Esto permite el almacenaje de un importante número de muestras para su análisis y la creación de ficotecas que servirán como referencia para próximos estudios biológicos, facilitando el intercambio de muestras entre laboratorios (Blanco et al., 2010).

#### **j. Estudios temporales**

A diferencia de otros organismos, los frústulos de las diatomeas sobre los que se basa su taxonomía, tienen la capacidad de ser inalterables con el tiempo, es decir, se pueden recuperar en estado fósil o subfósil en los estratos y sedimentos fluviales, como resultado permite inferir sobre el estado anterior del agua (Blanco et al., 2010).

## **4.5. Características fisicoquímicas y diatomológicas del agua**

### **4.5.1. *Parámetros fisicoquímicos del agua***

Estos parámetros son de suma importancia para los ecosistemas acuáticos debido a su utilidad como indicadores de la composición y dinámica de los agentes contaminantes que sirven de ayuda para la evaluación de la calidad del agua (Pérez & Restrepo, 2008). El análisis de los parámetros fisicoquímicos es la técnica más utilizada para la determinación de la calidad del agua debido a que su análisis se puede realizar de forma rápida y su monitoreo se puede ejecutar con mayor frecuencia (Samboni et al., 2007). Para su determinación normalmente se utiliza parámetros como la temperatura, pH, conductividad eléctrica, turbiedad, sólidos totales disueltos, nitratos (NO<sub>3</sub>) y fosfatos (PO<sub>4</sub>) (Flores et al., 2018).

#### **a. Temperatura**

Las variaciones de temperatura afectan a las propiedades químicas y microbiológicas del agua debido a que este parámetro se determina por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido, es decir, está ligada a la irradiación recibida en las aguas superficiales, mientras que en las aguas profundas experimentan una secuencia cíclica (Galvín, 2008). Además, las variaciones en la temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en el agua (Marín, 2010). También, dichas variaciones en un cuerpo de agua determinan la viscosidad y las velocidades de las reacciones químicas de los contaminantes presentes, ya que elevan el potencial tóxico de los compuestos y provocan la disminución del oxígeno disuelto (Sierra, 2011).

La disminución del oxígeno disuelto por su parte influye en la distribución de las especies, la tasa metabólica para la producción de energía y los procesos vitales asociados al crecimiento, maduración y reproducción de las especies habitantes en el ecosistema (Jill et al., 2003)

#### **b. pH**

Este parámetro es útil para medir la acidez relativa del agua, donde un nivel de pH 7,0 se considera neutro; mientras que el agua que muestre un nivel de pH menor a 7,0 es considerada ácida; y, aquellas aguas con un pH mayor a 7,0 se consideran alcalinas o básicas (García et al., 2019). El pH del agua va a depender de la concentración de iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>), en tanto que, cuanto mayor sea la concentración de dichos iones mayor

será la acidez del agua (Vázquez y Rojas, 2016). Con respecto a la vida vegetal y las especies de animales, no estarán presentes en las fuentes de agua dulce que contengan un pH inferior a 5,0 o mayor a 9,5 debido a que no soportan estos niveles de pH (CIESE, 2006). Sin embargo, las especies suelen adaptarse en estos medios por la alta disponibilidad de nutrientes y CO<sub>2</sub> que presenta la columna de agua, sobretodo en épocas de invierno, donde se muestra la presencia de valores de pH ácido (Vélez et al., 2016).

Por otro lado, las actividades antropogénicas donde se vierten residuos como los desechos de agricultura, drenajes ácidos mineros y fuga de combustibles fósiles, son los principales causantes de la variación del pH en el agua. En condiciones naturales el pH del agua puede variar por factores como la geología de la zona y los minerales presentes; además, la descomposición de la materia orgánica en el agua podría llegar a generar ácidos que disminuyan los valores de pH, inclusive la fotosíntesis de plantas acuáticas provocaría un aumento de pH durante el día por la absorción del CO<sub>2</sub> (García et al., 2019).

### **c. Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica indica la presencia de sales ionizadas, como cloruros o iones de sodio, entre otros (Galvín, 2008). Además, muestra valores que sirven como un índice aproximado de concentración de solutos (Vázquez y Rojas, 2016). En el agua natural se encuentran iones en disolución y su conductividad es mayor en relación a la cantidad y características de los electrolitos (CIESE, 2006).

Uno de los factores más importantes por los que se ve influenciada la conductividad eléctrica en el agua es la concentración de iones disueltos, esto debido a que iones como el calcio (Ca<sup>2+</sup>), sodio (Na<sup>+</sup>), magnesio (Mg<sup>2+</sup>), etc., podrían contribuir en la variación de la conductividad (Iturri et al., 2022). Por otro lado, la descomposición de la materia orgánica podría esparcir una serie de iones que causen un efecto en los valores de conductividad (Fuentes et al., 2015); otro de los parámetros influyentes es la temperatura, donde existe una relación directamente proporcional con la conductividad, puesto que un aumento en la temperatura significaría un incremento en la conductividad eléctrica del agua, esto como consecuencia de la energía cinética de las moléculas de agua y la disolución de iones. También la presencia de gases disueltos en el agua juega un papel importante en el parámetro de la conductividad, por ejemplo, al unirse el dióxido de carbono con el agua se provoca una reacción que da como producto ácido carbónico, el

cuál es un compuesto que puede hacer variar a la conductividad eléctrica (Aumassanne y Fontanella, 2015)

#### **d. Sólidos totales disueltos**

Este parámetro mide la cantidad de sustancias orgánicas, inorgánicas y sales inorgánicas disueltas en el agua tales como el calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos (Cruz et. al, 2018). Esto puede llegar a afectar adversamente la calidad del agua o a un efluente de múltiples formas como es la penetración de luz en la columna de agua y la absorción selectiva de longitudes de onda que integran el espectro visible (CIESE, 2006). Ciertos niveles de sales disueltas en el agua son beneficiosos para la vida acuática, pero los cambios en sus concentraciones es el principal factor que daña la biota acuática, si las concentraciones de sólidos totales disueltos son muy bajas o muy altas, puede limitarse el crecimiento de la vida acuática y puede conllevar a la muerte de los organismos (Gualdrón, 2018). Por lo tanto, el aumento de las sales en el agua eleva su conductividad y aquí es donde los sólidos totales disueltos están estrechamente relacionados con la conductividad eléctrica (García, 2013).

#### **e. Turbiedad**

Este parámetro permite medir el nivel de transparencia de la luz en el cuerpo de agua relacionado a la materia suspendida coloidal y residual, donde la interacción entre la luz y las partículas depende de su tamaño, su forma y la longitud de onda de la luz del instrumento (Deloya, 2006). La turbiedad es la presencia de materias en suspensión como arcilla, limos, coloides orgánicos, plancton y microorganismos que muestran cuán clara o cuán turbia se encuentra el agua, donde la baja presencia de materias en suspensión muestra un bajo nivel de turbidez, y una alta presencia de estas materias en suspensión muestra un alto nivel de turbidez que impiden el ingreso de la luz necesaria para las plantas fotosintéticas presentes en el medio que son las encargadas de suministrar oxígeno (Galvín, 2008).

Varía en relación a las propiedades de absorción de luz del material suspendido que se deposita en los lechos del río, afectando a la reproducción de organismos acuáticos y a su cadena alimenticia, generando depósitos de lodos y situaciones anaeróbicas en la columna de agua. Un incremento en la turbidez disminuye la cantidad de luz que puede ingresar en el agua, lo cual tendrá un efecto negativo en la vegetación acuática que realiza fotosíntesis, haciendo que el crecimiento de las mismas disminuya o a su vez mueran.

Pero no solo esto, además se podría provocar una alteración en la temperatura de la fuente hídrica puesto que las partículas que se encuentren suspendidas podrían absorber y al mismo tiempo dispersar la energía proveniente del sol (Trujillo et al., 2014).

#### **f. Fosfatos**

Los fosfatos son fundamentales en los procesos de eutrofización de los cuerpos de agua, son nutrientes de la vida acuática y un limitante del crecimiento de las plantas, es un indicador de la cantidad de detergentes sintéticos que son vertidos a una corriente que se caracterizan por poseer entre 12 y 13% de fósforo en sus formulaciones (Barrenechea, 2006). En el agua se encuentran compuestos químicos de fósforo como ortofosfatos, fosfatos condensados (piro-, meta- y polifosfatos) y los fosfatos orgánicos (Lida y Shock, 2009). La presencia de estos fosfatos se asocia con problemas de crecimiento de las algas indeseables en embalses y lagos, y la acumulación de sedimentos (Barrenechea, 2006). El fósforo que está presente en las aguas superficiales es proveniente de las aguas residuales y actividades relacionadas con la agricultura, por lo tanto, el uso excesivo de fertilizantes fosforados que son utilizados para aumentar el rendimiento de los cultivos, ocasiona que el fósforo se adhiera a las partículas del suelo y posteriormente ser arrastrado por el riego y la escorrentía de la lluvia, terminando en ríos cercanos donde estimularán el crecimiento de las algas (Lida y Shock, 2009).

#### **g. Nitratos**

Son el resultado de la disolución de rocas y minerales, descomposición de materias vegetales y animales, contaminación por efluentes agrícolas e industriales, su presencia en aguas de superficie no contaminadas no supera los 10 mg/L, mientras que en aguas subterráneas contaminadas pueden superar los 50 mg/L (Galvín, 2008). El nitrógeno inorgánico como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), el nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) se encuentran disponibles en medios acuáticos de forma natural por efectos de la deposición atmosférica, la disolución de depósitos geológicos y la descomposición biológica de la materia orgánica, sin embargo, las actividades antropogénicas han alterado el ciclo del nitrógeno, causando problemas como la acidificación de lagos y ríos, eutrofización de las aguas y proliferación de algas tóxicas (Camargo y Alonso, 2007).

### **4.5.2. Características diatomológicas**

#### **a. Índice de diversidad de Shannon**

El índice de Shannon refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa, mostrando una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad (Shannon y Weaver, 1949). Muestra la uniformidad de los valores de importancia, mediante todas las especies de la muestra, reflejando la heterogeneidad de una comunidad en base a su abundancia relativa y al número de especies (Mendoza, 2013).

Este índice considera la riqueza de especies y la distribución de las abundancias de las mismas. Este valor se incrementa según el aumento en la diversidad de las especies y llegará a cero cuando tan solo existe una especie en el ambiente analizado. Es importante mencionar que el índice de Shannon es ampliamente utilizado para realizar comparaciones de diversidad de especies en el tiempo y entre distintas zonas estudiadas. Además, con este tipo de datos se puede determinar y evaluar impactos positivos o negativos en el ambiente (Flores-Miranda, 2019).

#### **b. Índice de equitatividad de Pielou**

El índice de equitatividad de Pielou fue construido con base en medidas de amplitud de datos haciendo énfasis en algunos atributos comunitarios, como la presencia de especies dominantes y especies raras (Narváez, 2021). Este índice se utiliza para medir la proporción de la diversidad obtenida con relación a la máxima diversidad esperada, mostrando un valor que va de 0 a 1, de tal manera que 1 corresponde a zonas donde todas las especies son igualmente abundantes y el 0 señala la ausencia de uniformidad (Martínez, 2015).

#### **4.6. Índice diatómico general (IDG)**

El Índice Diatómico General (IDG) es un índice de calidad normalizado por la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR), tomado de guías de diversidad francesa, donde su principio se basa en la sensibilidad de cada taxón en referencia a la polución, su amplitud ecológica y la cantidad relativa de los taxones (Ministerio de Energía y Minas, 2015). Este índice que se basa en la utilización de la comunidad de las Bacillariophytas (diatomeas) para estimar la calidad del agua (León & Quispe, 2008), Estas comunidades son muy sensibles a la polución, especialmente al nitrógeno y fósforo (Dell'Uomo, 2004), constituyendo una de varias clases de algas unicelulares (Tapia,

2018). Además, el IDG es un índice muy complejo debido a los datos requeridos, que muestra la calidad del agua en un rango de 1-5 (Coste y Ayphassorho, 1991).

Este índice se puede aplicar en todos los ecosistemas de agua dulce debido a que las diatomeas son caracterizadas por ser cosmopolitas y además son el grupo más diverso de micro algas fitoplanctónicas, por lo tanto, sus requerimientos ecológicos son conocidos a nivel de género, donde estos organismos son sensibles a la eutrofización, contaminación orgánica y mineral, es decir, la estimación del índice es muy fiable para determinar el grado de contaminación donde los otros métodos no lo son (Yana, 2015). Además, los índices diatómicos se basan en datos cuantitativos donde la estimación es más acertada y más sensible que los métodos caracterizados por ser estrictamente cualitativos (Segura et al., 2012)

## **5. Metodología**

La investigación respondió a un estudio de carácter observacional y descriptivo no experimental, con un enfoque cuantitativo debido a que no se ejerció influencia en las variables. De acuerdo a los objetivos que fueron propuestos en la presente investigación, se llevó a cabo una jornada de muestreo *in situ* para obtener valores de variables físicoquímicas tales como pH, conductividad, temperatura, turbidez y sólidos totales disueltos mientras que a nivel de laboratorio se determinó parámetros como nitratos y fosfatos. Para determinar las métricas biológicas, se aplicó técnicas de microscopía de células de diatomeas, determinándose variables como riqueza, abundancia relativa, diversidad y equitatividad. El estudio taxonómico a nivel de género permitió determinar la variabilidad y sensibilidad de los especímenes, información útil para la aplicación del Índice Diatómico General “IDG”, que posteriormente permitió determinar la calidad ecológica de los cuerpos de agua (Baylón et al., 2018).

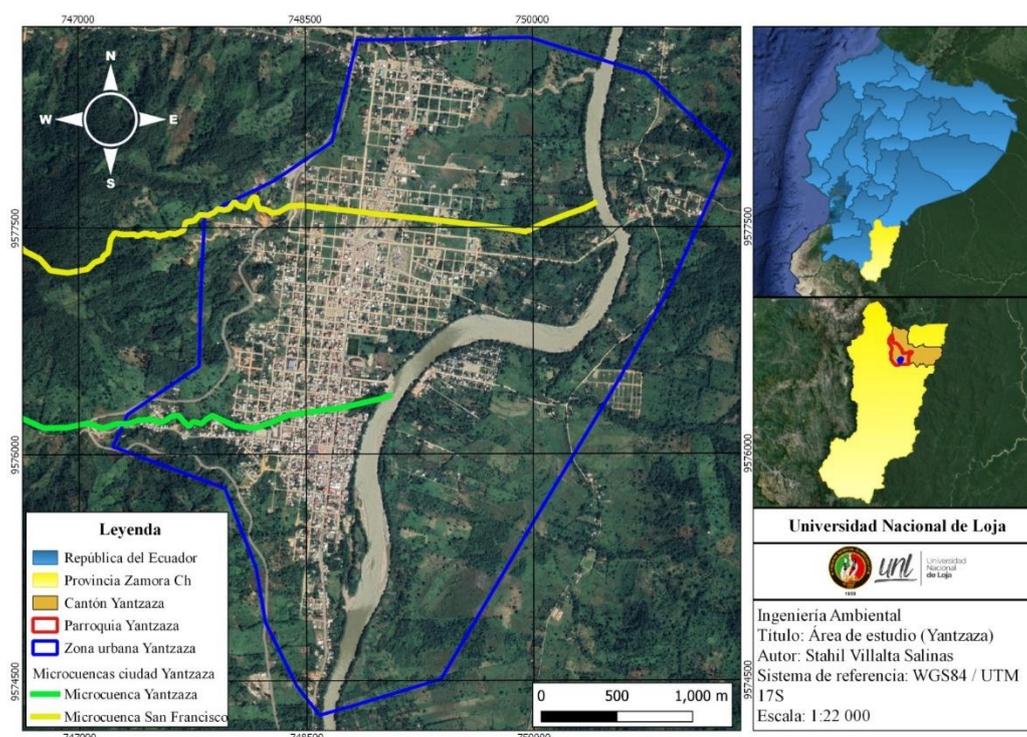
### **5.1. Descripción del área**

El presente estudio se realizó en dos microcuencas que abastecen de agua de consumo a la zona urbana del cantón Yantzaza, microcuenca Yantzaza y microcuenca San Francisco. Las dos microcuencas abastecen de agua a unos 9.170 habitantes de la zona urbana de Yantzaza. La microcuenca Yantzaza se ubica al suroeste de la ciudad, mientras que la microcuenca San Francisco se encuentra al noroeste (Figura 3).

**Tabla 1.** Características geográficas del cantón Yantzaza.

Características geográficas	
Clima	Tropical húmedo
Humedad relativa	90%
Temperatura promedio anual	22,5°C
Precipitaciones	1500-2000 mm/año
Altura	600 a 1200 msnm

Tomado de: (Paladines, 2013)



**Figura 3.** Mapa de la zona urbana de Yantzaza y microcuencas de estudio

## 5.2. Definición de puntos de muestreo en los tramos de estudio.

Una vez definidas las zonas de estudio, se establecieron los puntos de muestreo para cada una de ellas (Tabla 2). El criterio para la definición de estos puntos fue la presencia de evidentes alteraciones en la ribera de las microcuencas, esto implicó la detección de alteraciones visibles en las riberas de ambas microcuencas, las mismas que se pudieron atribuir a distintas actividades humanas. Algunos de los problemas asociados que se observaron fueron: la minería, donde se pueden identificar excavaciones, remociones de tierra y depósitos de residuos; además, se identificaron impactos relacionados con actividades agrícolas, como la deforestación de áreas ribereñas, y la

erosión del suelo debido a prácticas no sostenibles. Estas observaciones sugirieron una vinculación significativa entre el ser humano y las microcuencas, con potenciales consecuencias ambientales adversas. Dichas alteraciones en las riberas de las microcuencas de estudio, abarcan desde cambios en la vegetación hasta la modificación física del paisaje; todas estas pautas fueron esenciales para la identificación de los puntos de interés en la investigación.

En este sentido, para el caso de la microcuenca Yantzaza, se definieron tres puntos de muestreo. El primer punto correspondió a la zona de captación; el segundo se ubicó a una distancia de 500 m de la captación, aguas arriba, donde se evidenció la presencia de actividades agrícolas y/o ganaderas; mientras que, el tercer punto se lo ubicó 250 m más arriba, en una zona con presencia de actividades mineras a pequeña escala (Figura 4).

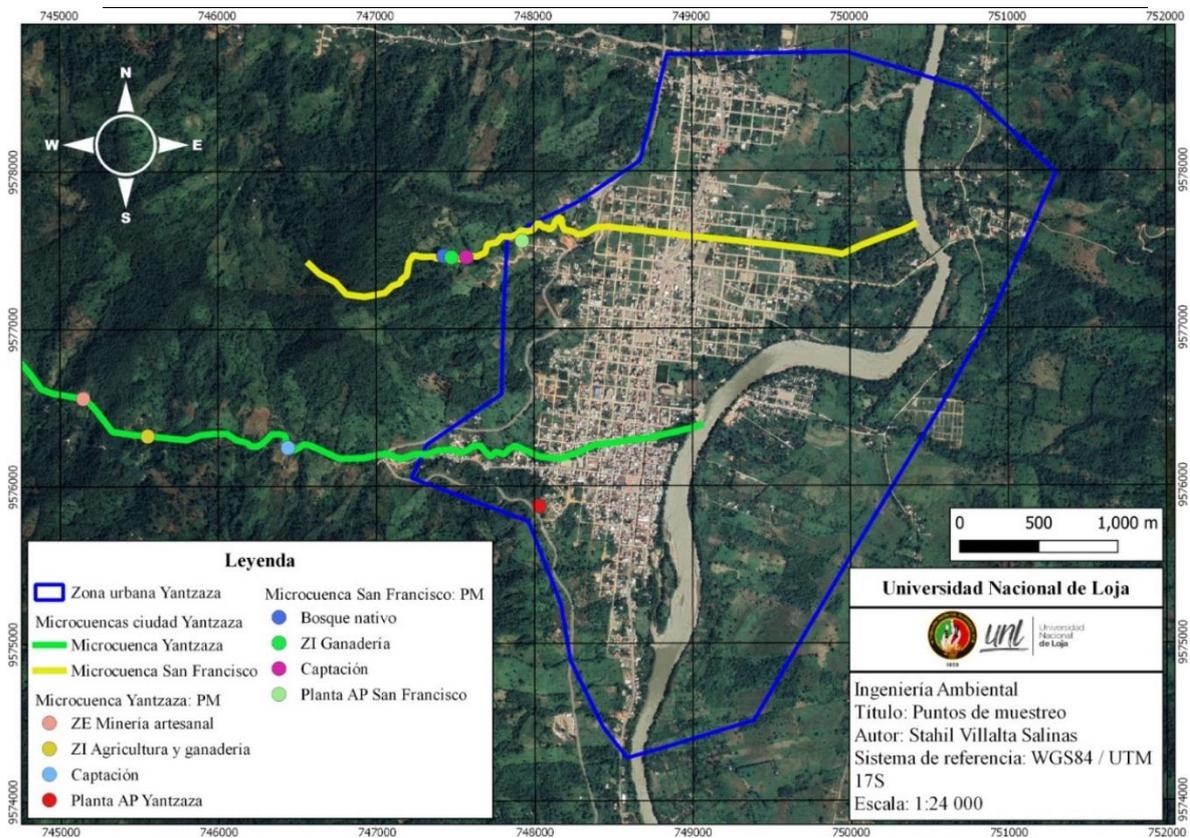
Respecto a la microcuenca San Francisco se definieron tres puntos con una distancia de 50 m entre ellos. Esto tomando en consideración la representatividad del área, debido a que se debe abarcar una muestra significativa y así poder conseguir determinar la viabilidad de las condiciones del agua; además, la densidad de observación, ya que la distancia determinada permite cubrir una gran cobertura del área investigada, lo que facilita la identificación de patrones a lo largo de las microcuencas; y por último, la practicidad ya que con esta distancia se cubre tanto la necesidad de obtener datos suficientes, como la eficiencia del muestreo. La zona de captación correspondió al punto uno de muestreo, posteriormente, el segundo punto le correspondió a una zona intervenida por ganadería, mientras que el punto tres se ubicó en una zona de ribera con vegetación nativa, es decir sin alteraciones (Figura 4).

El muestreo se realizó durante la mañana en una sola ocasión en las coordenadas que se indican en la Tabla 2. La toma de decisión de realizar una sola campaña de muestreo consideró algunas variables como: limitaciones en el tiempo, debido a que la disponibilidad temporal para realizar la presente investigación fue bastante corta, lo cual dificultó la realización de múltiples campañas de muestreo, esta restricción en el tiempo fue consecuencia de los plazos ajustados para la presentación de los resultados del estudio; por otra parte, la poca accesibilidad a los instrumentos y equipos para realizar las mediciones; es por el contexto en las restricciones de recursos y tiempo que se tuvo que priorizar al menos una campaña con la finalidad de obtener datos iniciales sobre la calidad del agua de esta zona lo cual servirá para próximas investigaciones en la misma línea de

objetivos. En la microcuenca Yantzaza se realizó el día 23 de noviembre mientras que en la microcuenca San Francisco el día 24 de noviembre de 2022.

**Tabla 2.** Coordenadas de puntos de muestreo

Microcuenca	Punto de muestreo	X	Y
Yantzaza	Zona de captación	7877357	382140
	Zona intervenida por agricultura y ganadería	7878892	383024
	Zona con evidencia de minería artesanal	7879259	382808
San Francisco	Zona de captación	747573	9577454
	Zona intervenida por ganadería	747523	9577435
	Zona de bosque nativo	747477	9577452



**Figura 4.** Mapa de los puntos de muestreo

### **5.3. Metodología para la caracterización de las condiciones físico-químicas y diatomológicas.**

#### **5.3.1. Determinación de parámetros físico-químicos.**

En los puntos de muestreo señalados en la Tabla 2, se tomaron lecturas de parámetros físico-químicos tales como: temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y turbidez.

Los parámetros físico-químicos como temperatura, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos, fueron determinados mediante un equipo digital portátil multiparamétrico de marca HACH sension5 de propiedad del departamento de Agua Potable del GAD Municipal de Yantzaza.

Para la determinación de pH y turbiedad, las muestras de agua fueron colectadas según la metodología adaptada de Custodio y Chanamé (2016), la cual señala que las muestras deben ser tomadas en dirección opuesta al flujo de la corriente, en botellas de plástico de 100 ml, esterilizadas. Las muestras fueron almacenadas en un cooler, el cual contenía hielo para conservarlas en frío y posteriormente fueron trasladadas hasta la ciudad de Zamora para realizar el análisis en el laboratorio facilitado por EMAPAZ (Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Zamora). Para el análisis de pH se utilizó un pH-metro de marca HQ11d y para el análisis de turbidez se utilizó un turbidímetro de marca HACH 2100P.

##### **5.3.1.1. Análisis de laboratorio de nitrato y fosfato.**

Para el análisis de fosfato, se aplicó el método de ácido ascórbico usando un equipo marca HACH DR 2800 perteneciente al Laboratorio de Aguas de la Universidad Técnica Particular de Loja, para ello se determinó un valor blanco de reactivo para cada análisis utilizando agua desionizada en lugar de la muestra para poder restar la lectura del blanco a la lectura de la muestra y obtener el resultado deseado. Para el análisis de la muestra se utilizó sobres de reactivo en polvo de fosfato PhosVer 3. Además, se usó 2 cubetas cuadradas de análisis de 1 pulg y de 10 ml de capacidad. La reacción tuvo una duración de 2 minutos y el resultado se presentó en mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$  (HACH COMPANY, 2000).

Para el análisis de nitrato, se realizó mediante un equipo marca HACH DR 2800 perteneciente al Laboratorio de Aguas de la Universidad Técnica Particular de Loja. Se determinó un valor en blanco por cada nuevo lote utilizando agua desionizada en lugar de la muestra, para posteriormente restar la lectura del blanco a la lectura de la muestra, debido a que el instrumento compara automáticamente con el ajuste del blanco. El análisis de la muestra requirió de un sobre de reactivo nitrato NitraVer 5 en polvo. Además, se usó 2 cubetas cuadradas de análisis de una pulgada de una capacidad de 10 ml. La reacción tuvo una duración de un minuto y el resultado se presentó en mg/l NO<sub>3</sub>-N (HACH COMPANY, 2000).

### **5.3.2. *Obtención de métricas biológicas***

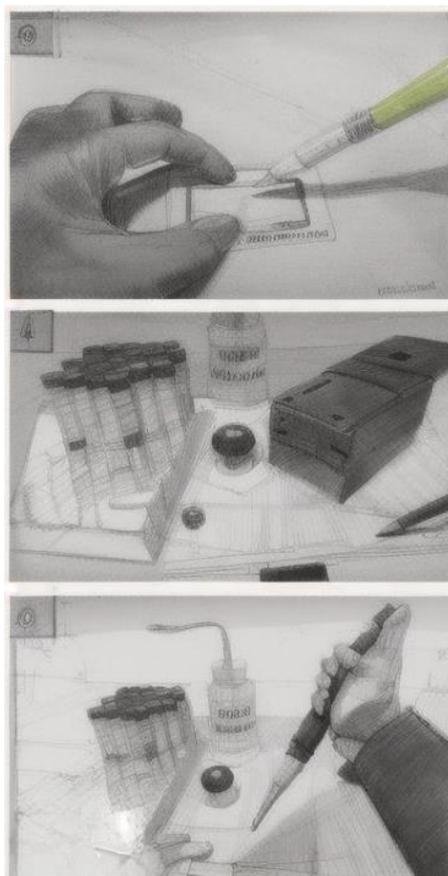
Para la obtención de las métricas en torno a las comunidades de diatomeas, se utilizó la metodología adaptada de Fetscher et al. (2009), donde, en cada punto de muestreo definido, se obtuvo una muestra compuesta a partir de la recolección al azar de biofilm de 5 sustratos naturales (pequeñas piedras), tomadas en el eje transversal del río. El criterio de recolección del sustrato fue que, el biofilm debe ser de coloración café oscuro o verde, considerando que no se encuentre bajo sombra. Para la extracción de células de diatomeas presentes en el biofilm de los sustratos recolectados, primero se elaboró un delimitador de goma a partir de un tubo de neumático de motocicleta, al cual se le realizó un agujero de un área de 3.79 cm<sup>2</sup> reforzada con una arandela. Luego cada sustrato se marcó con el delimitador en la superficie expuesta al agua y se procedió a raspar esta área con un cepillo de dientes. Seguido al proceso de raspado se realizó el lavado del sustrato con 20 ml de agua destilada, sobre una jarra de plástico. Finalmente, el agua recolectada en la fuente se almacenó en un frasco esterilizado de 100 ml. El proceso se repitió hasta completar los 100 ml, de las 5 piedras seleccionadas. Por último, se etiquetó el frasco y para conservar las muestras se adicionó Lugol al 1%. Las muestras finalmente fueron depositadas y transportadas en un cooler con hielo.

#### **5.3.2.1. Análisis de muestras biológicas.**

El análisis de las muestras de agua se realizó en el Laboratorio de Biología Acuática de la Universidad Técnica Particular de Loja, usando el microscopio marca ZEISS Axiolab 5. Para la observación de las comunidades biológicas, adaptamos la

metodología de Guzman y Leiva (2017), para ello se usó un frasco de muestra de 100 ml, una pipeta de 10 ml y una cámara de recuento celular de Sedgewick Rafter.

El procedimiento consistió en agitar vigorosamente el frasco de la muestra con el propósito de homogenizar las células de diatomeas. Posteriormente se obtuvo una alícuota de 1 ml de la muestra y se colocó en la cámara de recuento Sedgewick Rafter.

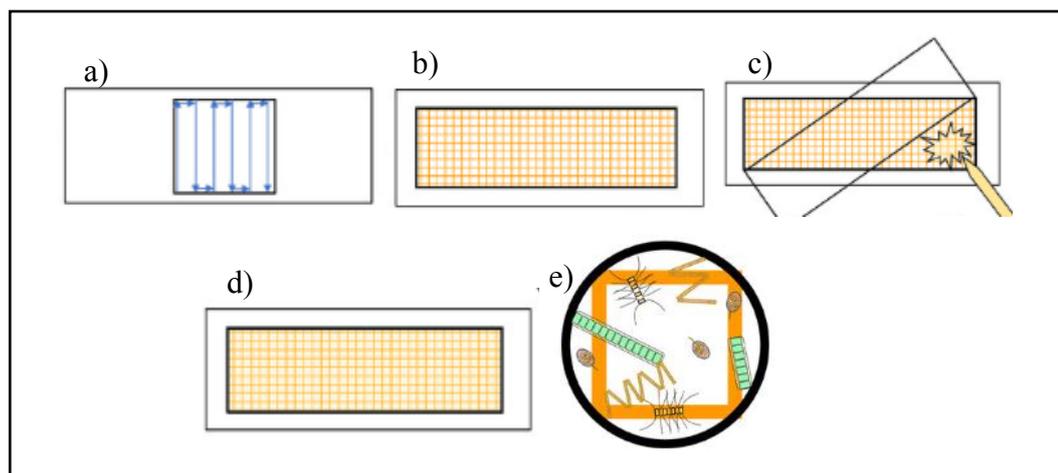


**Figura 5.** Preparación de muestra en cámara Sedgewick para observación de diatomeas  
Tomado de: Manual para el monitoreo e identificación de la microalga bentónica *Didymosphenia geminata*, AMAKAIK (2013).

### **5.3.2.2.Observación de las comunidades de diatomeas.**

La observación de comunidades de diatomeas se realizó añadiendo 1 ml de muestra en la cámara de conteo y cubriéndolo con un cubreobjetos (Figura 5). Seguido, se procedió a realizar un barrido general con el fin de confirmar si hay células por medio del lente 10x integrado al microscopio ZEISS Axiolab 5. Con la finalidad de observar e identificar los especímenes de diatomeas presentes en la muestra se utilizó la metodología aplicada por McAlice (1971), donde se definieron 30 campos de visión que permitieron

determinar entre el 90 y el 95 % de las especies presentes en una muestra, tomando en cuenta que los organismos se dispersan al azar a través del área de conteo.



**Figura 6.** Esquema del proceso para la observación y recuento de diatomeas.

Nota: a) Observación de la muestra en zig-zag. b) Cámara de Sedgwick-Rafter. c) Colocación de la muestra y sobre ella el cubreobjetos. d) Cámara cerrada. e) Conteo de los organismos en cada campo de visión.

Tomado de: Fitoplacton. Zamudio et al., (2023).

En la Tabla 3 se indica la ubicación de los campos de visión en cada uno de los 6 transectos a lo largo de la cámara de conteo celular. Se definieron 5 filas y 6 columnas (celdas de color gris).

**Tabla 3.** Distribución de los transectos y campos de visión en la cámara de recuento de Sedgewick Rafter.

	5	13	621	29	37	45
4	1	2	3	4	5	6
7	12	11	10	9	8	7
10	13	14	15	16	17	18
13	24	23	22	21	20	19
16	25	26	27	28	29	30

Para el registro de las comunidades de diatomeas, se elaboró una matriz donde se ilustraron las formas celulares y se indicó el número de veces registrada en cada transecto. La visualización y conteo se realizó por medio del software LabScope con un aumento de 10x, esta magnificación permitió encontrar formas definidas de las células, lo que facilitó su identificación. Finalmente, se realizó las microfotografías de las células mediante un lente de aumento 40x.

### **5.3.2.3. Identificación taxonómica de comunidades de diatomeas.**

La determinación de los géneros de diatomeas se realizó mediante la identificación de las características morfométricas de las microfotografías celulares. Se desarrolló una identificación preliminar por medio de claves morfométricas de Steinitz-Kannan y Cooper (2007) y estudios taxonómicos de Céspedes (2014). Esta identificación se corroboró con la coordinación entre el Docente director de este trabajo, Víctor Alonso Cartuche.

### **5.3.3. Determinación de la riqueza y esfuerzo de muestreo de comunidades de diatomeas**

En cada punto de muestreo se determinó la riqueza de especímenes mediante la elaboración de un inventario del número de géneros encontrados. Adicionalmente, se calculó la abundancia relativa de los géneros de diatomeas, que indica la relación porcentual del número de individuos pertenecientes a cada género con respecto al número total de individuos de las comunidades encontradas (Ecuación 1) (Chen et al., 2016). Para la estimación del esfuerzo de muestreo, es decir, el esfuerzo mínimo requerido y necesario para determinar la riqueza específica máxima de diatomeas (Trapero, 2011); se realizó una curva de acumulación de géneros, por medio del estimador no paramétrico ACE (Abundance-based Coverage Estimator) en el software EstimateS versión 9.1.0

$$Ai \% = \frac{Ai}{At} \times 100\% \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

**Ai** = número de individuos de la especie

**At** = total de individuos

### **5.3.4. Determinación de la diversidad y equitatividad de comunidades de diatomeas**

Con la finalidad de estudiar la diversidad y equitatividad de los puntos estudiados a lo largo de las dos microcuencas, se aplicó el índice de diversidad de Shannon-Wiener y equitatividad de Pielou (Ecuación 2, 3 y 4).

$$pi = \frac{ni}{N} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$p_i$  = proporción de individuos de la especie  $i$  respecto al total de individuo

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

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

$$H' = - \sum p_i \times \ln p_i \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$p_i$  = proporción de individuos de la especie  $i$  respecto al total de individuo

$H'$  = índice de diversidad de Shannon-Wiener

$$J' = \frac{H'}{\ln S} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$J'$  = índice de equitatividad de Pielou

$H'$  = índice de Shannon

$S$  = Número de especies

El análisis del índice de diversidad se caracteriza por ser un buen indicador del impacto que ejerce la calidad del ecosistema sobre los organismos biológicos, se basa en que la diversidad disminuye según incrementa el grado de contaminación (Calizaya et al., 2013).

En la Tabla 4, se muestra la interpretación del índice según Magurran (1988), que clasifica la diversidad con valores que van desde 0,1 y 4,5 como un valor máximo para una alta diversidad. Mientras que, para el caso del índice de equitatividad, su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes y el 0 señala la ausencia de uniformidad (Martínez, 2015).

**Tabla 4.** Interpretación del índice de diversidad Alfa de Shannon-Wiener.

Valores	Interpretación
0,1-1,5	Diversidad baja

1,6-3	Diversidad media
3,1-4,5	Diversidad alta

Tomado de: (Magurran, 1988)

## 5.4. Metodología para la evaluación de la calidad del agua a través de la aplicación del Índice Diatómico General.

### 5.4.1. Índice diatómico general (IDG)

El Índice Diatómico General viene dado por la fórmula de (Zelinka & Marvan, 1961).

$$\text{Índice} = \frac{\sum_{j=1}^j A_j * S_j * V_j}{\sum_{j=1}^n A_j * S_j} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

$A_j$  = abundancia relativa, es decir la cantidad de las especies en relación a la muestra.

$V_j$  = variabilidad de la especie o amplitud ecológica.

$S_j$  = sensibilidad a la contaminación.

La sensibilidad ( $S_j$ ) se distribuye entre 1 y 5, donde el menor valor indica una mayor resistencia a condiciones ecológicas adversas por parte de los taxones; y valor más alto indica una mayor sensibilidad a las condiciones ecológicas presentes en el cuerpo de agua (Tabla 5).

**Tabla 5.** Valores de sensibilidad asignados para cada taxón.

Sensibilidad	Taxón (especie)
1	<i>Hantzschia sp.</i> , <i>Nitzschia (otras)</i> .
2	<i>Attheya sp.</i> , <i>Craticula sp.</i> , <i>Rhizosoenia sp.</i> , <i>Stephanodiscus sp.</i> , <i>Thalassiosira sp.</i>
3	<i>Amphora sp.</i> , <i>Cyclotella sp.</i> , <i>Gomphonema sp.</i> , <i>Melosira sp.</i> , <i>Navicula (otras)</i> , <i>Surirella.</i> , <i>Synedra sp.</i>
4	<i>Asterionella sp.</i> , <i>Caloneis sp.</i> , <i>Cocconeis sp.</i> , <i>Cymatopleura sp.</i> , <i>Diatoma sp.</i> , <i>Fragilaria sp.</i> , <i>Gomphoneis sp.</i> , <i>Gyrosigma sp.</i> , <i>Neidium sp.</i> , <i>Pinnularia.</i> <i>Rhopalodia.</i>
5	<i>Achnantes sp.</i> , <i>Amphipleura sp.</i> , <i>Anomoeoneis sp.</i> , <i>Campylodiscus sp.</i> , <i>Ceratoneis sp.</i> , <i>Cymbella sp.</i> , <i>Denticula sp.</i> , <i>Diploneis sp.</i> , <i>Encyonema.</i> <i>Epithemia sp.</i> , <i>Eutonia sp.</i> , <i>Frustulia sp.</i> , <i>Meridion sp.</i> , <i>Stauroneis sp.</i> , <i>Stenopterobia sp.</i> , <i>Tabellaria sp.</i> , <i>Tetracyclus sp.</i>

Tomado de: Modificado de Coste y Ayphassorho, 1991

Para los valores de la amplitud ecológica ( $V_j$ ) existe una variación entre 1 y 3, indicando que el menor valor hace referencia a las especies que son capaces de desarrollarse en diversos ambientes; mientras que un mayor valor hace referencia a ciertas especies que necesitan de condiciones más específicas para su desarrollo (Tabla 6).

**Tabla 6.** Valores de amplitud ecológica asignados para cada taxón.

Variabilidad	Taxón (especie)
1	<i>Achnantes sp.</i> , <i>Asterionella sp.</i> , <i>Cocconeis sp.</i> , <i>Cyclotella sp.</i> , <i>Cymbella sp.</i> , <i>Diatoma sp.</i> , <i>Diploneis sp.</i> , <i>Eunotia sp.</i> , <i>Fragilaria sp.</i> , <i>Melosira sp.</i> , <i>Meridion sp.</i> , <i>Navicula sp.</i> , <i>Nitzschia sp.</i> , <i>Rhoiscophenia sp.</i> , <i>Rhopalodia sp.</i> , <i>Stephanodiscus sp.</i> , <i>Synedra sp.</i> , <i>Tabellaria sp.</i>
2	<i>Amphora sp.</i> , <i>Anomoeoneis sp.</i> , <i>Caloneis sp.</i> , <i>Campylodiscus sp.</i> , <i>Ceratoneis sp.</i> , <i>Cymatopleura sp.</i> , <i>Encyonema sp.</i> , <i>Epithemia sp.</i> , <i>Frustulia sp.</i> , <i>Gomphoneis sp.</i> , <i>Gomphonema sp.</i> , <i>Stauroneis sp.</i>
3	<i>Amphipleura sp.</i> , <i>Attheya sp.</i> , <i>Craticula sp.</i> , <i>Denticula sp.</i> , <i>Gyrosigma sp.</i> , <i>Hantzschia sp.</i> , <i>Neidium sp.</i> , <i>Pinnularia sp.</i> , <i>Rhizosoenia sp.</i> , <i>Stenopterobia sp.</i> , <i>Surirella sp.</i> , <i>Tetracyclus sp.</i> , <i>Thalassiosira sp.</i>

Tomado de: Modificado de Coste y Ayphassorho, 1991

El Índice Diatómico General enfoca su análisis en los niveles de polución, la abundancia y la capacidad de adaptación presentados por los organismos a través de rangos de 1-5, el cual permite determinar la calidad del agua (Rita, 2022). Por lo tanto, mediante la implementación de este índice se puede clasificar la calidad de agua en orden decreciente de los niveles de contaminación, donde se mostrará un mayor valor al tratarse de una óptima calidad de agua y valores menores para una mala calidad de agua.

**Tabla 7.** Categorías de calidad de agua para el índice diatómico general.

Valor	Significado
IDG>4,5	Calidad biológica óptima
4<IDG<4,5	Calidad normal-polución débil
3,5<IDG<4	Polución moderada-eutrofización
3<IDG<3,5	Polución media-eutrofización acentuada
2<IDG<3	Desaparición de especies sensibles-polución fuerte
1<IDG<2	Polución muy fuerte
IDG=0	Polución tóxica-por debajo de 10 individuos por mm <sup>2</sup>

Tomado de: Modificado de Coste y Ayphassorho, 1991.

## 6. Resultados

### 6.1. Caracterización de las condiciones físico-químicas y diatomológicas.

#### 6.1.1. Parámetros físicoquímicos

En la Tabla 8 y 9, se muestran los resultados de los parámetros físico-químicos de las dos microcuencas abastecedoras de agua de consumo para la zona urbana de la parroquia Yantzaza y los respectivos límites máximos permisibles para cada parámetro.

**Tabla 8.** Comparación de los resultados de los parámetros físico-químicos con los límites máximos permisibles de la microcuenca Yantzaza.

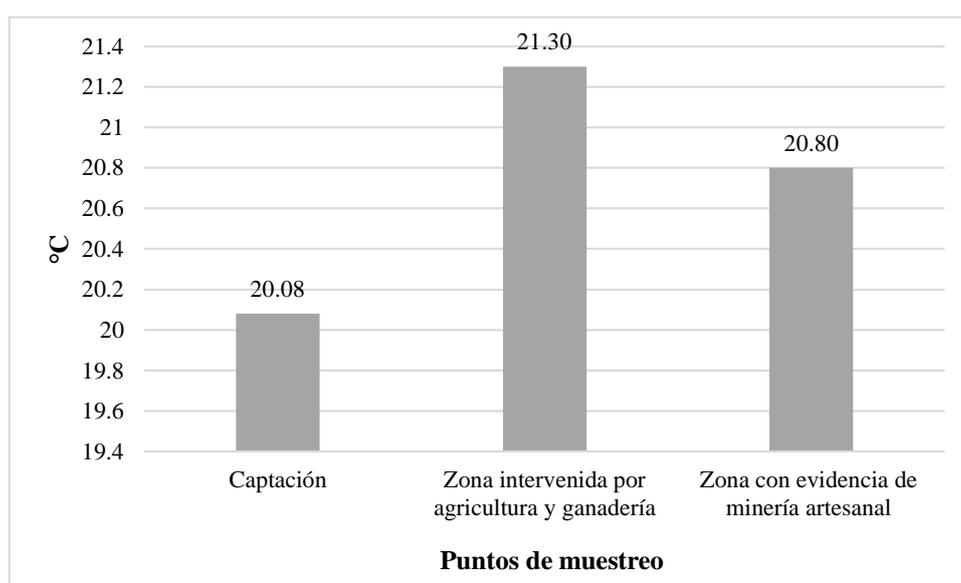
Microcuenca Yantzaza					
Parámetros /unidades	Captación	Zona intervenida por agricultura y ganadería	Zona con evidencia de minería artesanal	Límites máximos permisibles	Normativa
Temperatura (°C)	20,8	21,3	20,8	Condiciones naturales +-3	TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1-TABLA 1
pH	7,93	7,02	7,85	6 a 9	TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1-TABLA 1
Conductividad eléctrica (µs /cm)	69,7	81,6	69,5	150 –500	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA,1933)
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	69,8	81,7	69,6	< 1000	TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1-TABLA 1
Turbiedad (NTU)	2,97	0,63	2,77	100	TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1-TABLA 1
Nitratos (mg/l)	< 5	< 5	< 5	< 10	TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1-TABLA 1
Fosfatos (mg/l)	0,17	0,1	0,17	< 0,1	Criterios Ecológicos de Calidad

**Tabla 9.** Comparación de los resultados de los parámetros físico-químicos con los límites máximos permisibles de la microcuenca San Francisco.

<b>Microcuenca San Francisco</b>					
<b>Parámetros</b>	<b>Captación</b>	<b>Zona intervenida por ganadería</b>	<b>Zona de bosque nativo</b>	<b>LMP</b>	<b>Normativa</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	21,2	21,1	21,1	Condiciones naturales +-3	TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1-TABLA 1
<b>pH</b>	8,04	7,95	7,91	6 a 9	TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1-TABLA 1
<b>Conductividad eléctrica (µs /cm)</b>	80,6	80,6	80,7	150 – 500	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA,1933)
<b>Sólidos Totales Disueltos (mg/l)</b>	80,7	80,6	80,7	< 1000	TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1-TABLA 1
<b>Turbiedad (NTU)</b>	3,36	0,58	0,97	100	TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1-TABLA 1
<b>Nitratos (mg/l)</b>	< 5	< 5	< 5	< 10	TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1-TABLA 1
<b>Fosfatos (mg/l)</b>	0,14	0,35	0,18	< 0,1	Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89

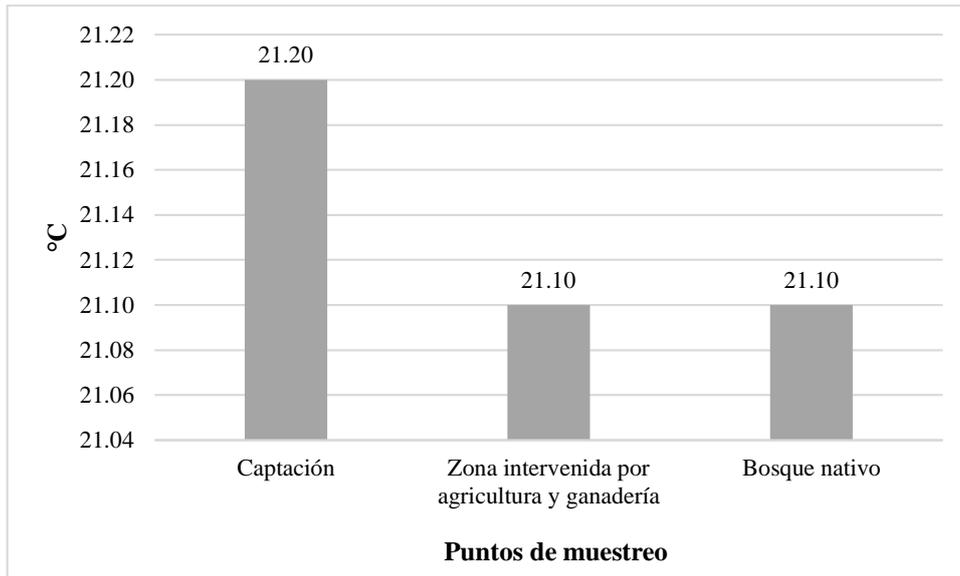
### 6.1.1.1. Temperatura.

De acuerdo con la Figura 7, se puede evidenciar los resultados de la medición de temperatura en la microcuenca Yantzaza, donde en la zona de captación se registró la temperatura de 20,08 °C, mientras que en la zona intervenida por agricultura y ganadería la temperatura fue más alta 21,30 °C. Finalmente, en la zona con evidencia de minería artesanal se obtuvo una temperatura de 20,80 °C. De acuerdo a los valores de temperatura descritos, la microcuenca Yantzaza se encuentra dentro de los límites máximos permisibles (condiciones naturales + - 3), de acuerdo al TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1- TABLA 1.



**Figura 7.** Resultados de las mediciones de temperatura de la microcuenca Yantzaza.

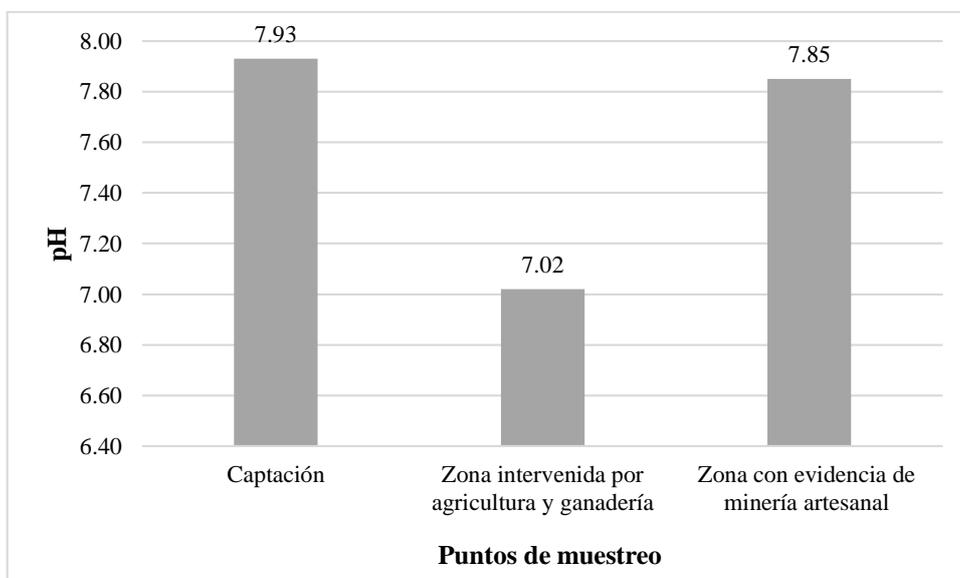
Por otro lado, el resultado de la medición de temperatura en la microcuenca San Francisco (Figura 8) muestra que se mantienen valores constantes. La zona de captación mostró una temperatura de 21,20 °C, mientras que en la zona intervenida por ganadería y la zona de bosque nativo el valor fue de 21,10 °C. De acuerdo a estos valores de temperatura, la microcuenca San Francisco se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (condiciones naturales + - 3), de acuerdo al TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1- TABLA 1.



**Figura 8.** Resultados de las mediciones de temperatura de la microcuenca San Francisco.

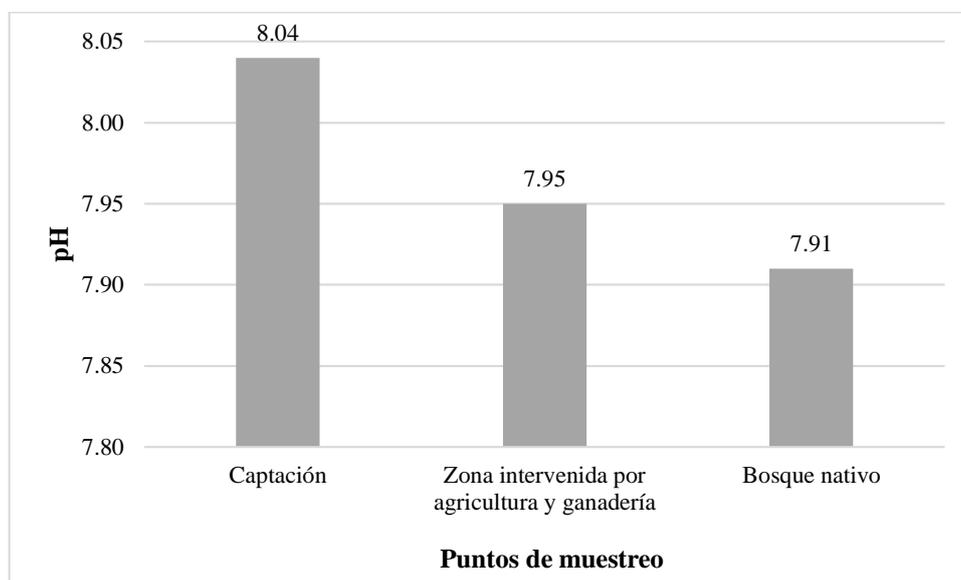
### 6.1.1.2.pH.

Con referencia a los valores de pH medidos en la microcuenca Yantzaza (Figura 9), en la zona de captación se registró un valor de 7,93 (ligeramente alcalino), mientras que en la zona intervenida por agricultura y ganadería se presentó un valor más bajo de 7,02 (neutro). Finalmente, en la zona con evidencia de minería artesanal se registró un valor de 7,85 (ligeramente alcalino). Por lo tanto, según el TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1- TABLA 1 se encuentra dentro de los límites máximos permisibles (6-9).



**Figura 9.** Resultados de la medición de pH de la microcuenca Yantzaza.

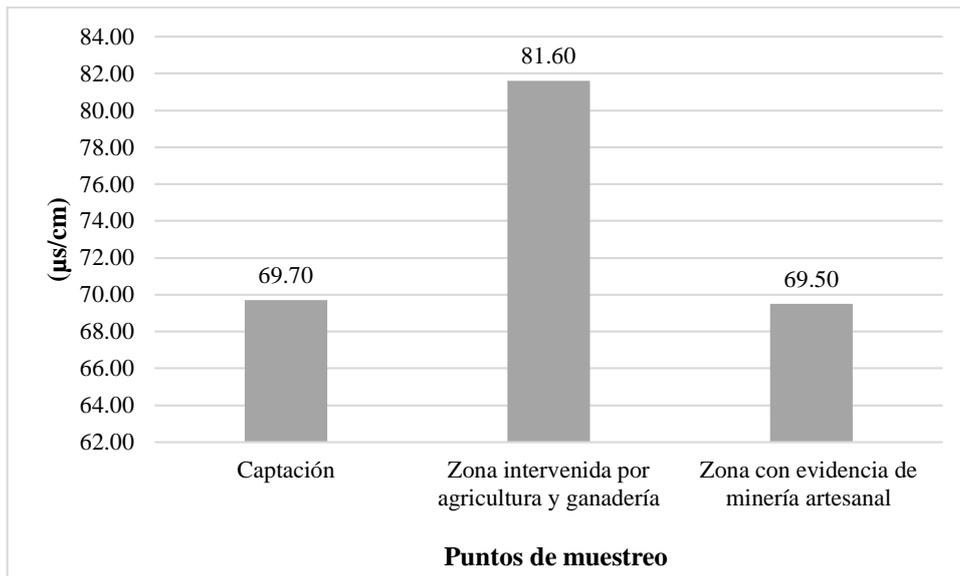
Con respecto a la medición de pH en la microcuenca San Francisco (Figura 10), en la zona de captación se obtuvo un valor alto de 8,04 (ligeramente alcalino), mientras que en la zona intervenida por ganadería se obtuvo un valor de 7,95 (ligeramente alcalino). Finalmente, en la zona de bosque nativo se presentó un valor más bajo de 7,91 (ligeramente alcalino). Por lo tanto, según el TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1- TABLA 1 se encuentra dentro de los límites máximos permisibles (6-9).



**Figura 10.** Resultados de la medición de pH de la microcuenca San Francisco.

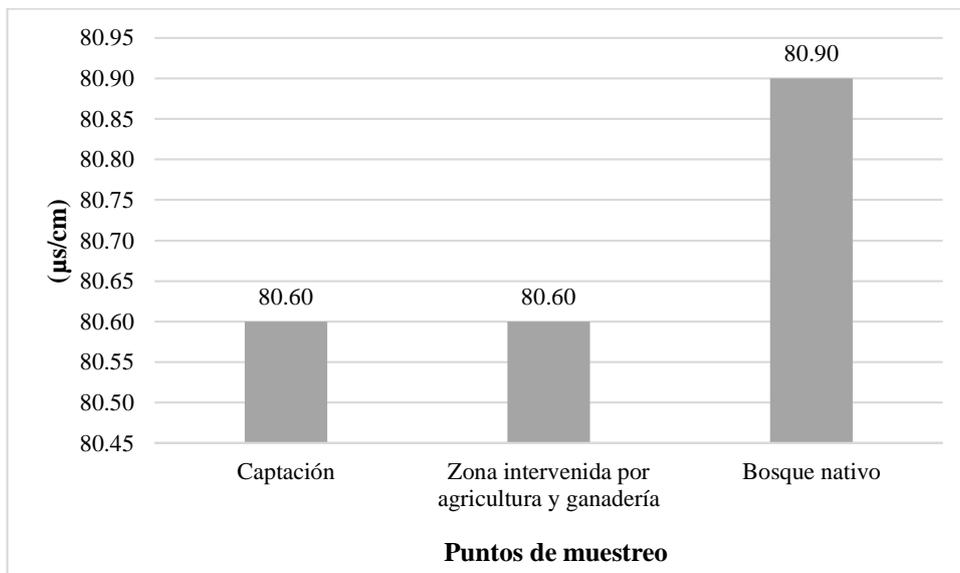
### 6.1.1.3. Conductividad Eléctrica.

Según el resultado de la medición de conductividad eléctrica en la microcuenca Yantzaza (Figura 11), en la zona de captación se obtuvo un valor de 69,70  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , mientras que en la zona intervenida por agricultura y ganadería se obtuvo un valor alto de 81,60  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Para la zona con evidencia de minería artesanal se obtuvo un valor bajo de 69,50  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Por lo tanto, según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), los valores de conductividad obtenidos en la microcuenca Yantzaza se encuentran por debajo del rango máximo establecido, el cual es de 150 – 500  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .



**Figura 11.** Resultados de la medición de conductividad eléctrica en la microcuenca Yantzaza.

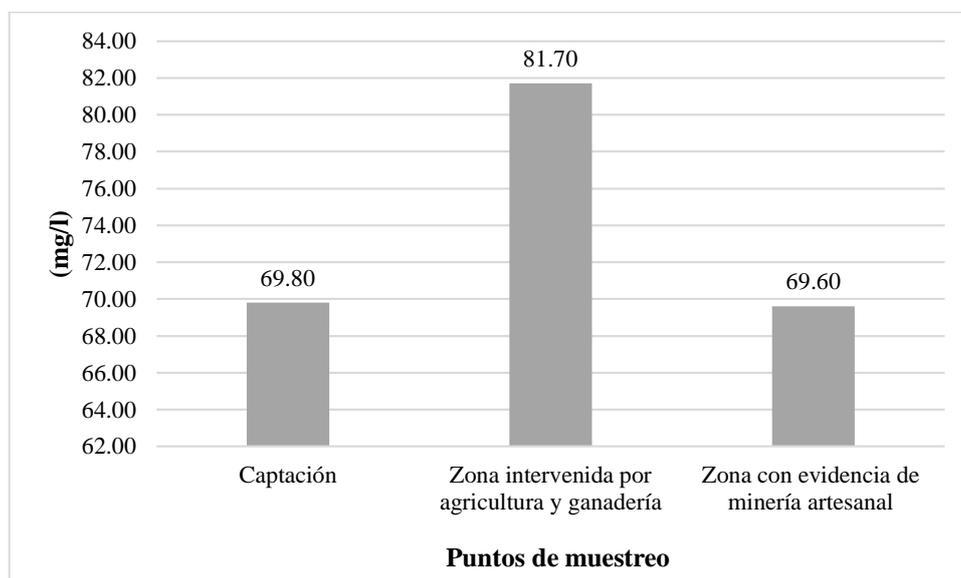
El resultado de la medición de la conductividad eléctrica en la microcuenca San Francisco (Figura 12) muestran que en la zona de captación y zona intervenida por ganadería se obtuvieron valores de 80,60  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Para la zona de bosque nativo se obtuvo el valor más alto con 80,90  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Por lo tanto, según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), los valores de conductividad obtenidos en la microcuenca San Francisco se encuentran por debajo del rango máximo establecido, el cual es de 150 – 500  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .



**Figura 12.** Resultados de la medición de conductividad eléctrica en la microcuenca San Francisco.

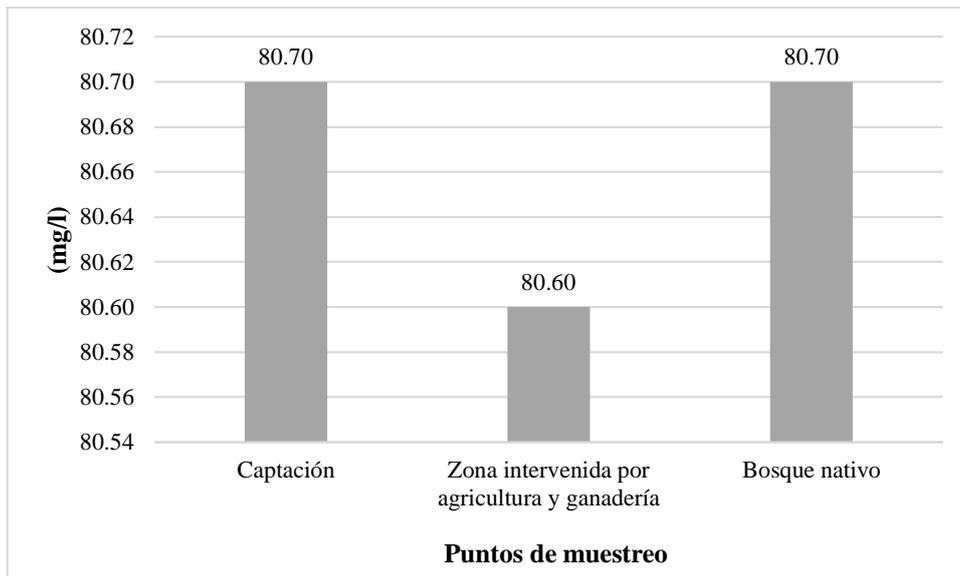
#### 6.1.1.4.Sólidos Totales Disueltos.

De acuerdo a los datos obtenidos de la medición de Sólidos Totales Disueltos en la microcuenca Yantzaza (Figura 13), en la zona de captación se presentó el valor de 69,80 mg/l, mientras que en la zona intervenida por agricultura y ganadería se presentó un valor alto de 81,70 mg/l. En la zona con evidencia de minería artesanal se observó un valor bajo de 69,60 mg/l. Por lo tanto, según el TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1- TABLA 1, la microcuenca Yantzaza se encuentra dentro de la normativa (<1000 mg/l).



**Figura 13.** Resultados de la medición de Sólidos Totales Disueltos en la microcuenca Yantzaza.

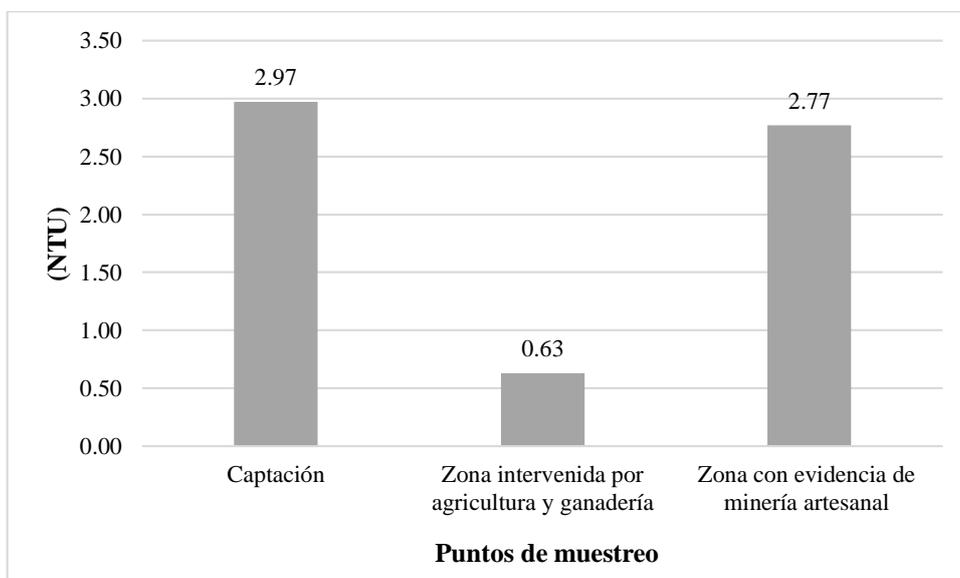
En la microcuenca San Francisco se reflejaron valores constantes, según la (Figura 14) en la zona de captación se presentó un valor de 80,70 mg/l, mientras que en la zona intervenida por ganadería se observó un valor de 80,60 mg/l. Para la zona de bosque nativo se obtuvo un valor de 80,70 mg/l, es decir, se evidenció valores constantes. Por lo tanto, según el TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1- TABLA 1, la microcuenca San Francisco se encuentran dentro de la normativa (<1000 mg/l).



**Figura 14.** Resultados de la medición de Sólidos Totales Disueltos en la microcuenca San Francisco.

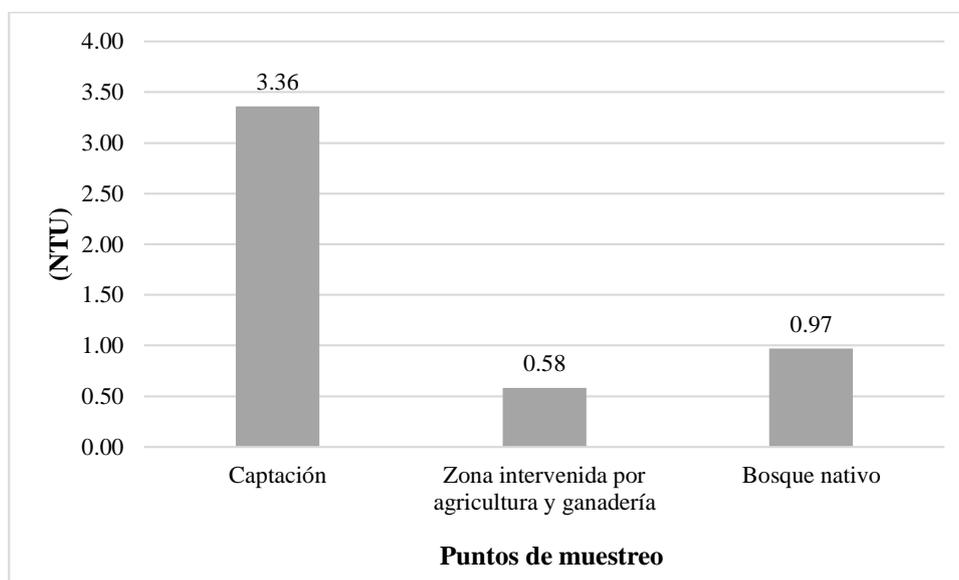
#### 6.1.1.5. Turbiedad.

Según el resultado obtenido de la medición de turbiedad (Figura 15) en la microcuenca Yantzaza, en la zona de captación se presentó un valor alto de 2,97 NTU, mientras que en la zona intervenida por agricultura y ganadería se obtuvo un valor bajo de 0,63 NTU. En la zona con evidencia de minería artesanal se presentó un valor de 2,77 NTU. Por lo tanto, según el TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1- TABLA 1, la turbidez de la microcuenca Yantzaza se encuentra dentro de los límites máximos permisibles (<20 NTU).



**Figura 15.** Resultados de la medición de turbiedad de la microcuenca Yantzaza.

En el caso de la microcuenca San Francisco (Figura 16), se pudo evidenciar que en la zona de captación se obtuvo un valor alto de 3,36 NTU, mientras en la zona intervenida por ganadería se obtuvo un valor bajo de 0,58 NTU. Finalmente, en la zona de bosque nativo se presentó un valor de 0,97 NTU. Por lo tanto, según el TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1- TABLA 1, la turbidez de la microcuenca San Francisco se encuentra dentro de los límites máximos permisibles (<20 NTU).



**Figura 16.** Resultados de la medición de turbiedad de la microcuenca San Francisco.

#### 6.1.1.6. Nitratos y fosfatos.

De acuerdo a la Tabla 10 y 11, los resultados nos indican que la concentración de nitratos en las dos microcuencas se ubicó por debajo de los 5 mg/l, es decir, cumplen con los límites máximos permisibles según el TULSMA-LIBRO VI-ANEXO 1- TABLA 1 que es de 10 mg/l.

En el caso de la concentración de fosfatos, en la microcuenca Yantzaza solamente la zona intervenida por agricultura y ganadería se encuentra dentro de los valores permitidos. Por el contrario, la concentración de fosfatos alcanzó un valor alto en todas las zonas de estudio de la microcuenca San Francisco, mientras que en la microcuenca Yantzaza la zona de captación y zona con evidencia de minería artesanal rebasan estos valores, es decir, no se encuentra dentro de los límites máximos permisibles según los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, donde el límite máximo para la protección de la vida acuática en agua dulce es de 0.1 mg/l (Centro de Calidad Ambiental, 1989).

**Tabla 10.** Resultados de las concentraciones de nitratos y fosfatos en la microcuenca Yantzaza.

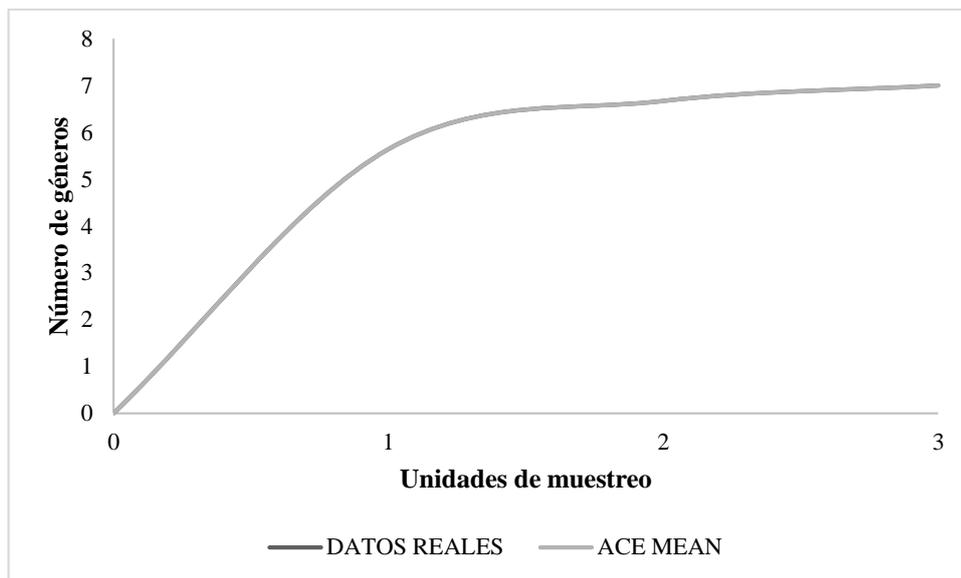
<b>Microcuenca Yantzaza</b>			
<b>Parámetros químicos</b>	<b>Captación</b>	<b>Zona intervenida por agricultura y ganadería</b>	<b>Zona con evidencia de minería artesanal</b>
<b>Nitratos (mg/l)</b>	<5	<5	<5
<b>Fosfatos (mg/l)</b>	0,17	0,1	0,17

**Tabla 11.** Resultados de las concentraciones de nitratos y fosfatos en la microcuenca San Francisco

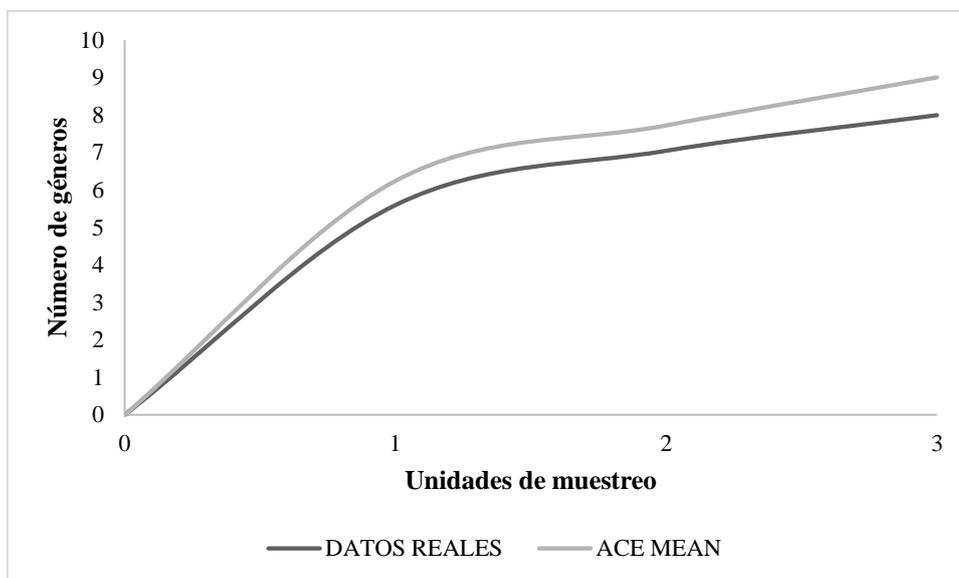
<b>Microcuenca San Francisco</b>			
<b>Parámetros químicos</b>	<b>Captación</b>	<b>Zona intervenida por ganadería</b>	<b>Bosque nativo</b>
<b>Nitratos (mg/l)</b>	<5	<5	<5
<b>Fosfatos (mg/l)</b>	0,14	0,35	0,18

### **6.1.2. Análisis de variables bióticas**

La curva de acumulación de géneros, basada en el estimador ACE (Abundance-based Coverage Estimator) mostró una riqueza total esperada de 7 géneros para la microcuenca Yantzaza (Figura 17), mientras que, para la microcuenca San Francisco de 9 géneros (Figura 18). Las Figuras 17 y 18, nos muestran una tendencia hacia una asíntota en cada microcuenca de estudio, esto se corrobora con el estimador ACE que indica un muestreo eficiente, en tal sentido, como muestra la tabla 11, se registró el 100% de los géneros para la microcuenca Yantzaza (7 géneros), mientras que en la microcuenca San Francisco se registró el 89% (8 géneros) como lo indica la Tabla 13.



**Figura 17.** Curva de acumulación de géneros para la microcuenca Yantzaza, mediante el estimador no paramétrico ACE.



**Figura 18.** Curva de acumulación de géneros para la microcuenca San Francisco, mediante el estimador no paramétrico ACE.

Según los datos obtenidos, en las tres zonas de estudio de la microcuenca Yantzaza se registraron 7 géneros de diatomeas, con un total de 7357 individuos. Los géneros registrados en esta microcuenca fueron los siguientes: *Navicula*, *Nitzschia*, *Gomphonema*, *Eutonia*, *Cocconeis*, *Pinnularia* y *Encyonema*, la mayor cantidad de individuos se registraron en la zona con evidencia de minería artesanal con 2800 individuos, seguido por la zona intervenida por agricultura y ganadería con 2782 individuos, mientras la menor cantidad fue en la zona de captación con 1775 especímenes.

Por otro lado, en las tres zonas de estudio de la microcuenca San Francisco se registró 8 géneros de diatomeas, con un total de 1462 individuos. Los géneros registrados en esta microcuenca fueron los siguientes: *Navicula*, *Nitzschia*, *Gomphonema*, *Encyonema*, *Eutonia*, *Cocconeis*, *Rhopalodia* y *Craticula*, la mayor cantidad de individuos se registraron en la zona de bosque nativo con 558 especímenes, seguido por la zona intervenida por ganadería con 506 especímenes, mientras la menor cantidad fue en la zona de captación con 398 individuos.

**Tabla 12.** Géneros identificados en la microcuenca Yantzaza.

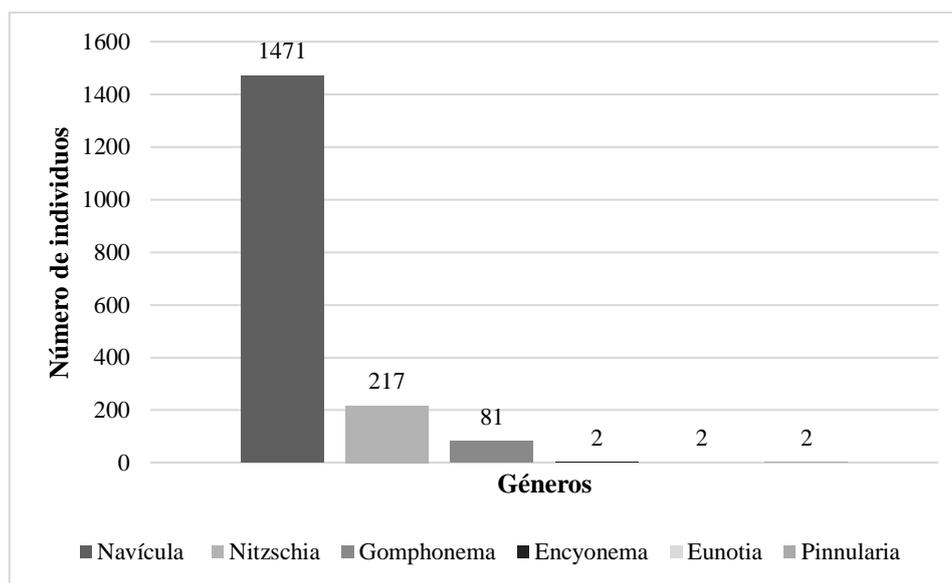
<b>Microcuenca Yantzaza</b>			
<b>Género</b>	<b>Individuos</b>		
	<b>Captación</b>	<b>Zona intervenida por agricultura y ganadería</b>	<b>Zona con evidencia de minería artesanal</b>
<i>Navicula</i>	1471	1799	1807
<i>Nitzschia</i>	217	490	614
<i>Gomphonema</i>	81	198	146
<i>Eutonia</i>	2	103	44
<i>Cocconeis</i>	0	140	189
<i>Pinnularia</i>	2	52	0
<i>Encyonema</i>	2	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>1775</b>	<b>2782</b>	<b>2800</b>

**Tabla 13.** Géneros identificados en la microcuenca San Francisco.

<b>Microcuenca San Francisco</b>			
<b>Género</b>	<b>Individuos</b>		
	<b>Captación</b>	<b>Zona intervenida por ganadería</b>	<b>Bosque nativo</b>
<i>Navicula</i>	214	391	275
<i>Nitzschia</i>	20	8	32
<i>Gomphonema</i>	38	2	194
<i>Encyonema</i>	0	61	0
<i>Eutonia</i>	16	43	57
<i>Cocconeis</i>	108	1	0
<i>Rhopalodia</i>	1	0	0

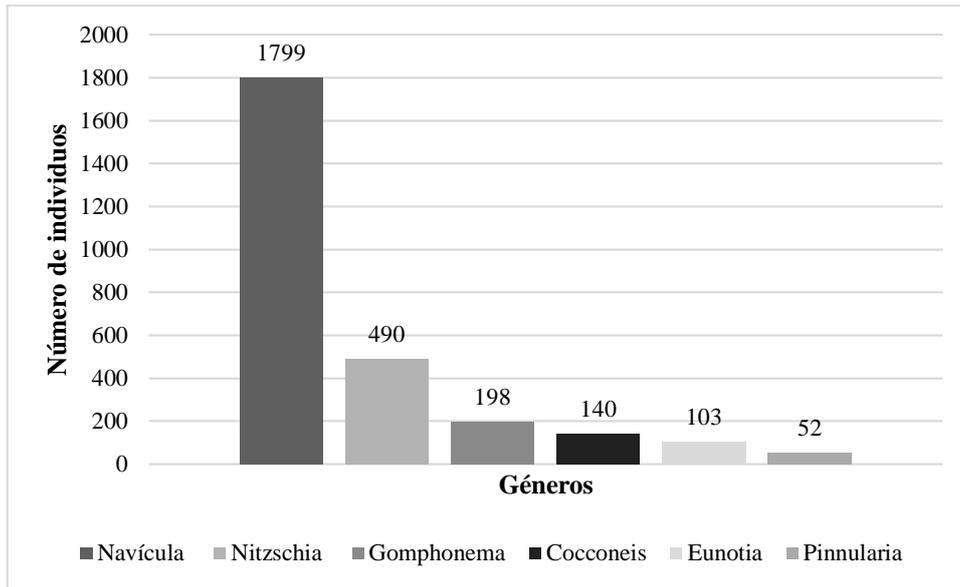
<i>Craticula</i>	1	0	0
<b>TOTAL</b>	398	506	558

Al analizar la comunidad fitoplanctónica por estación, se observa que en la zona de captación de la microcuenca Yantzaza (Figura 19), se reportaron un total de 6 géneros entre ellos están *Navícula*, *Nitzschia*, *Gomphonema*, *Encyonema*, *Eutonia* y *Pinnularia*, predominando los géneros *Navícula* y *Nitzschia*. En este punto se registró un menor número de células con un total de 1775 individuos.



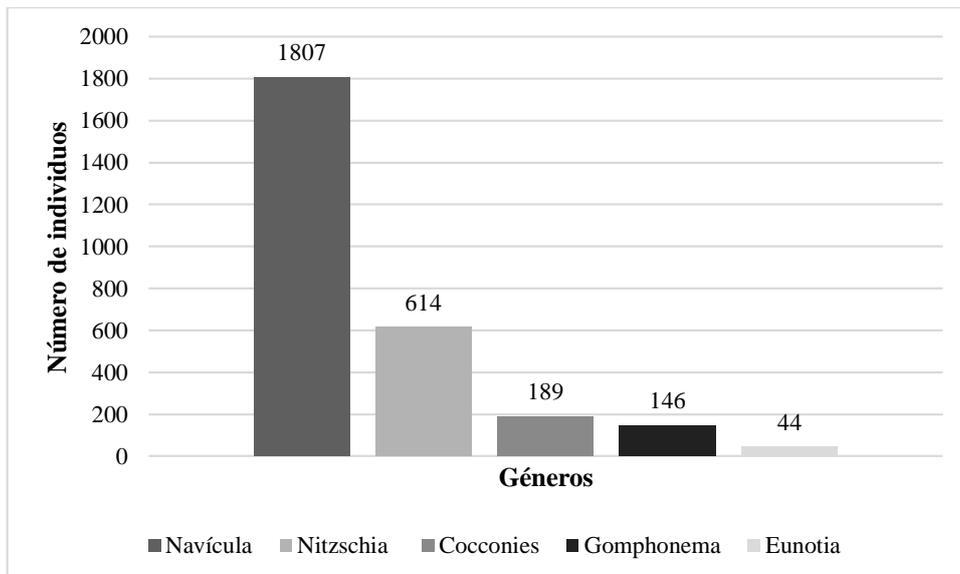
**Figura 19.** Individuos identificados en la captación de la microcuenca Yantzaza.

La zona intervenida por agricultura y ganadería de la microcuenca Yantzaza (Figura 20) presentó agua estancada, que pudo influir en el aumento del número de células, ya que no son arrastradas de igual forma que en otras partes del cauce. En este punto se identificaron 6 géneros *Navícula*, *Nitzschia*, *Gomphonema*, *Cocconeis*, *Eutonia* y *Pinnularia*, donde predominan los géneros *Navícula* y *Nitzschia*. El total de individuos en este punto ascendió a 2782.



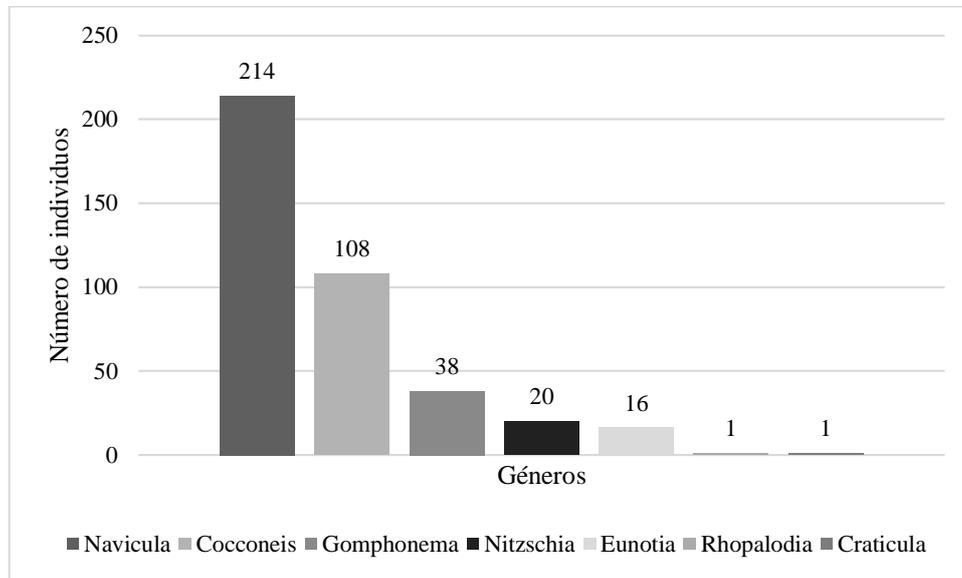
**Figura 20.** Individuos identificados en la zona intervenida con agricultura y ganadería de la microcuenca Yantzaza.

En la zona con evidencia de minería artesanal de la microcuenca Yantzaza (Figura 21) se identificó un total de 5 géneros *Navícula*, *Nitzschia*, *Cocconeis*, *Gomphonema* y *Eunotia*, predominando los géneros *Navícula* y *Nitzschia*. De igual manera que en la zona intervenida con agricultura y ganadería, el agua cuenta con menor movimiento, lo cual permite que las Diatomeas no sean arrastradas. El número total ascendió a 2800 individuos.



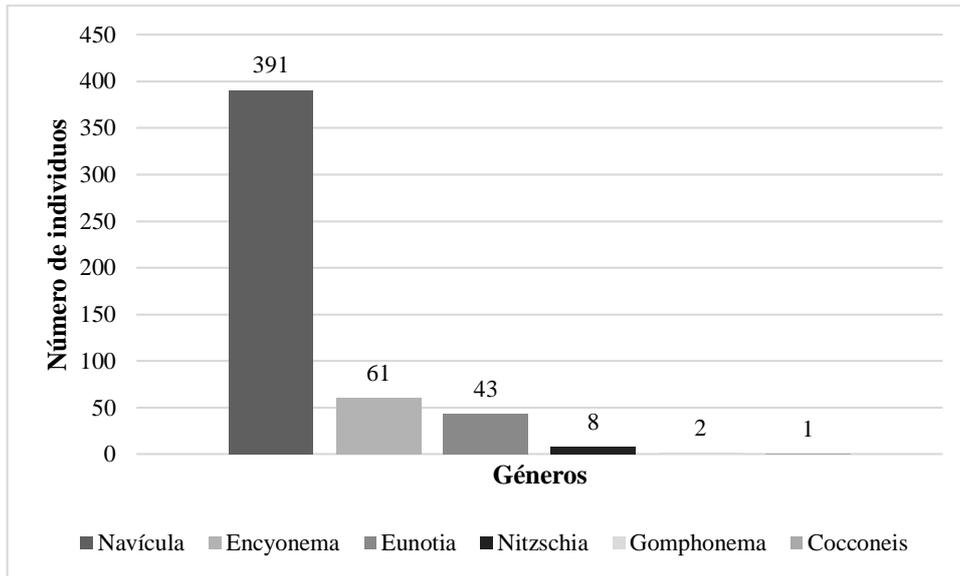
**Figura 21.** Individuos identificados en la zona con evidencia de minería artesanal de la microcuenca Yantzaza.

Por otro lado, en la zona de captación de la microcuenca San Francisco (Figura 22) se logró identificar un total de 7 géneros entre ellos están *Navícula*, *Cocconeis*, *Gomphonema*, *Nitzschia*, *Eunotia*, *Rhopalodia* y *Craticula*, donde predominaron los géneros *Navícula* y *Cocconeis*. En este punto se registró un menor número de células con un total de 398 individuos.



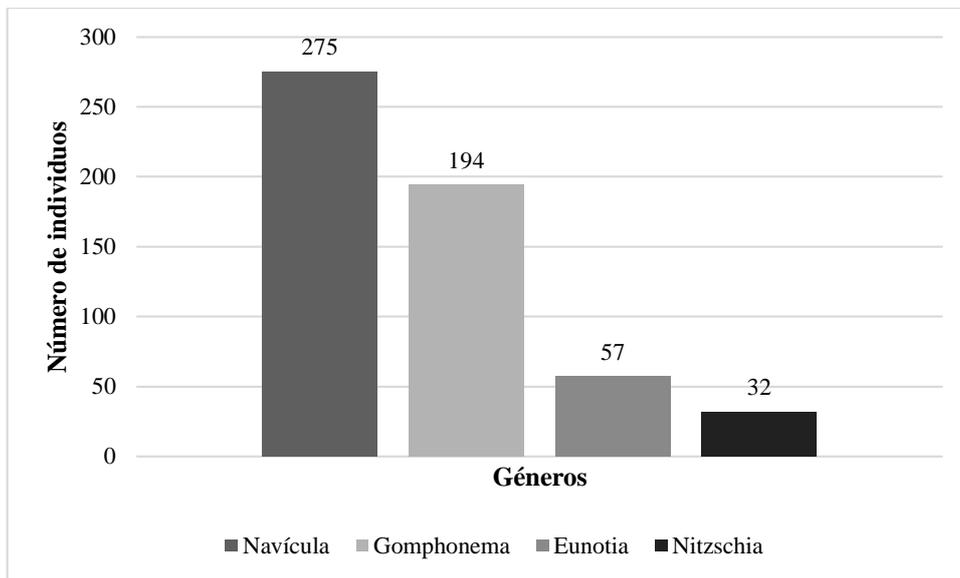
**Figura 22.** Individuos identificados en la captación de la microcuenca San Francisco.

La zona intervenida por ganadería de la microcuenca San Francisco (Figura 23) cuenta con un total de 6 géneros *Navícula*, *Encyonema*, *Eunotia*, *Nitzschia*, *Gomphonema* y *Cocconeis*, donde predominan los géneros *Navícula* y *Encyonema*. El total de individuos en este punto ascendió a 506.



**Figura 23.** Individuos identificados en la zona intervenida con ganadería de la microcuenca San Francisco.

Finalmente, en la zona de bosque nativo de la microcuenca San Francisco (Figura 24) se registró 4 géneros *Navícula*, *Gomphonema*, *Eunotia* y *Nitzschia*, donde predominan los géneros *Navícula* y *Gomphonema*. Teniendo un total de 558 individuos.



**Figura 24.** Individuos identificados en la zona de bosque nativo de la microcuenca San Francisco.

### 6.1.3. Determinación de la diversidad y equitatividad de comunidades de diatomeas

De acuerdo al análisis del índice de Shannon y de equitatividad de Pielou, se puede observar en la Tabla 14 y 15 los resultados obtenidos.

En la microcuenca Yantzaza, la zona de captación presentó una diversidad baja de 0,58 y una equitatividad igualmente baja de 0,32. En el caso de la zona intervenida por agricultura y ganadería se reflejó una diversidad baja de 1,12 y una equitatividad media de 0,63. Para la zona con evidencia de minería artesanal también se observó una diversidad baja de 1,01 y una equitatividad media de 0,63.

Para la microcuenca San Francisco los resultados reflejaron valores un poco más altos, así en la zona de captación se observó una diversidad baja de 1,22 y una equitatividad media de 0,63, mientras que en la zona intervenida por agricultura se observa una diversidad baja de 0,76 y una equitatividad baja de 0,43. Para la zona de bosque nativo se presentó una diversidad baja de 1,11 y una equitatividad alta de 0,80.

Un aspecto importante del índice de equidad es el hecho de que tiende a disminuir si existe una inequidad en el punto de muestreo o una dominancia de cierto género como se puede observar en la Tabla 14, donde en la zona de captación de la microcuenca Yantzaza los géneros *Navícula*, *Nitzschia* y *Gomphonema* abarcan el mayor número de individuos, es decir que existe una equidad menor que en la zona intervenida por agricultura y ganadería, y la zona con evidencia de minería artesanal.

En el caso de la microcuenca San Francisco, en la zona intervenida por agricultura, los géneros *Navícula*, *Nitzschia* y *Gomphonema* abarcan el mayor número de individuos, es decir que existe una equidad menor que en la zona de captación. Por otra parte, en la zona de bosque nativo existe una mayor equitatividad.

**Tabla 14.** Valores de los índices de diversidad y equitatividad de la microcuenca Yantzaza.

<b>Microcuenca Yantzaza</b>		
<b>Punto de muestreo</b>	<b>Diversidad (H')</b>	<b>Equitatividad (J)</b>
Captación	0,58	0,32
Zona intervenida por agricultura y ganadería	1,12	0,63
Zona con evidencia de minería artesanal	1,01	0,63

**Tabla 15.** Valores de los índices de diversidad y equitatividad de la microcuenca San Francisco.

<b>Microcuenca San Francisco</b>		
<b>Punto de muestreo</b>	<b>Diversidad (H')</b>	<b>Equitatividad (J)</b>
Captación	1,22	0,63

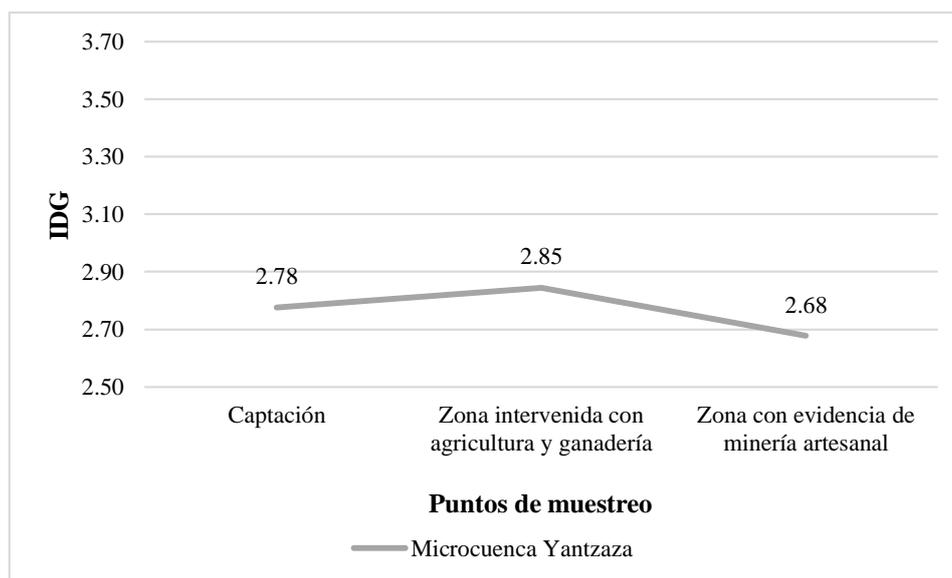
Zona intervenida por ganadería	0,76	0,43
Bosque nativo	1,11	0,80

## 6.2. Determinación de la calidad del agua a través de la aplicación del Índice Diatómico General (IDG)

### 6.2.1. Índice Diatómico General

Una vez aplicado el Índice Diatómico General (IDG) y de acuerdo a la categorización de la Tabla 7, se designó los valores obtenidos para las dos microcuencas.

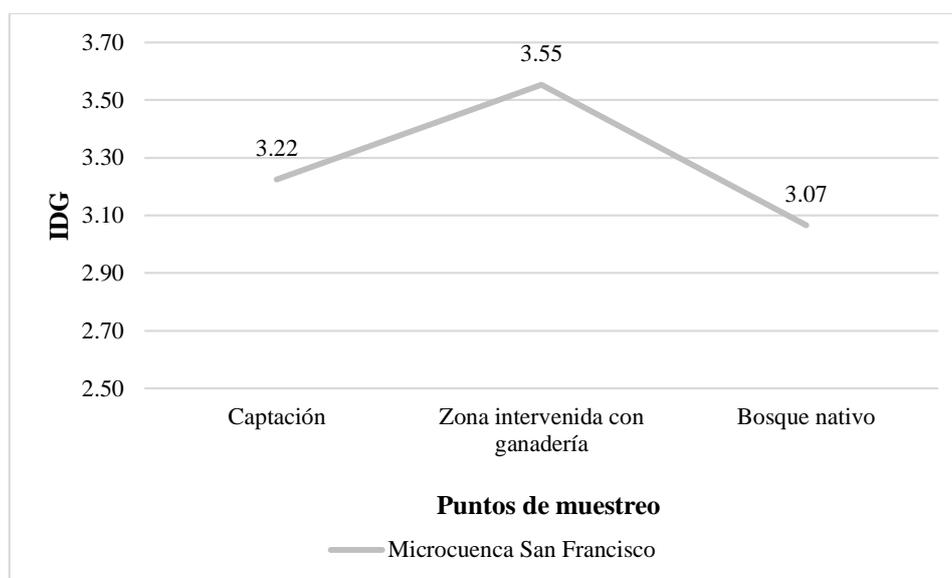
Según los resultados reportados en la microcuenca Yantzaza, de acuerdo a la Figura 25, en la zona de captación se obtuvo un valor del IDG de 2,78, que evidencia una polución fuerte (desaparición de especies sensibles). En el caso de la zona intervenida por agricultura y ganadería se obtuvo un valor del IDG de 2,85 que igualmente muestra una polución fuerte. Finalmente, en la zona con evidencia de minería artesanal se obtuvo un valor bajo del IDG de 2,68, reflejando de igual manera una polución fuerte. Como resultado se muestra un grado de polución fuerte en toda la microcuenca.



**Figura 25.** Resultados de la aplicación del IDG en la microcuenca Yantzaza.

Con respecto a los resultados obtenidos en la microcuenca San Francisco, se puede apreciar que, de acuerdo a la Figura 26 en la zona de captación se obtuvo un valor del IDG de 3,22 que refleja una polución media (eutrofización acentuada). En el caso de la zona intervenida por ganadería, muestra un valor alto del IDG de 3,55 que refleja una

polución moderada (eutrofización). Para la zona de bosque nativo se obtuvo un valor del IDG de 3.07, reflejando una polución media (eutrofización acentuada). Por ende, la microcuenca San Francisco presenta una contaminación media-moderada.



**Figura 26.** Resultados de la aplicación del IDG en la microcuenca San Francisco.

**Tabla 16.** Resultados de la aplicación del IDG en las dos microcuencas abastecedoras de agua de consumo para la zona urbana del cantón Yantzaza.

Microcuenca	Punto de muestreo	IDG	Interpretación
<b>Yantzaza</b>	Captación	2,7753	Desaparición de especies sensibles-polución fuerte
	Zona intervenida por agricultura y ganadería	2,8252	Desaparición de especies sensibles-polución fuerte
	Zona con evidencia de minería artesanal	2,6772	Desaparición de especies sensibles-polución fuerte
<b>San Francisco</b>	Captación	3,2337	Polución media-eutrofización acentuada
	Zona intervenida por ganadería	3,5536	Polución moderada-eutrofización
	Bosque nativo	3,0664	Polución media-eutrofización acentuada

## 7. Discusión

En esta investigación se evaluó la calidad de agua de dos microcuencas abastecedoras de agua de consumo para la parroquia Yantzaza, basada en comunidades fotosintéticas como las diatomeas. Mediante el monitoreo de comunidades del perifiton,

se identificaron géneros de diatomeas sensibles a perturbaciones ambientales, lo que permitió el empleo del índice diatómico general (IDG). La aplicación del índice determinó que en la microcuenca Yantzaza existe una contaminación fuerte, donde las condiciones ecológicas de las zonas y puntos estudiados, propiciaron el desarrollo en abundancia y sensibilidad de géneros de diatomeas como *Navicula*, *Nitzschia* y *Gomphonema*. Así mismo en el año 2023 un estudio realizado en la microcuenca Nangaritzza, la cual limita con los cantones de Yantzaza y Paquisha, demostró a través de un análisis de la comunidad fitoplanctónica, tener una calidad de agua catalogada como muy contaminada, lo cual corrobora que las fuentes hídricas ubicadas en estas mismas zonas son propensas a estar altamente contaminadas por el tipo de actividades desarrolladas (Rivera, 2023).

En la microcuenca San Francisco, los resultados reportaron una contaminación media (zona de captación y bosque nativo) y moderada (zona intervenida por ganadería). Las condiciones ecológicas en esta microcuenca propiciaron el desarrollo en abundancia y sensibilidad de géneros de diatomeas como *Navicula* y *Nitzschia*. Para investigadores como Rivas et al. (2010) los valores del IDG están en función de la sensibilidad, la amplitud y la abundancia de los géneros de diatomeas identificadas, es por ello que en una contaminación fuerte a moderada se pueden registrar células de diatomeas pequeñas y tolerantes a la contaminación, como el caso de *Nitzschia sp.*, *Navicula sp.* y *Pinnularia sp.* (Baylón et al., 2018).

Para Maldonado (2022), la identificación de géneros de diatomeas tiene relación con el IDG, basado en la sensibilidad de los especímenes a la contaminación de los ecosistemas acuáticos. En las zonas de estudio se observó un alto número individuos de géneros como *Navicula*, *Nitzschia*, *Encyonema*, *Gomphonema* y *Cocconeis* que son indicadores de agua de mala calidad mostrando con la aplicación del IDG una polución moderada a fuerte. Un estudio realizado en Polonia en un arroyo del pueblo de Nozdrzec, llamado Baryczka, menciona que entre los géneros de diatomeas mayormente encontrados en la zona son *Nitzschia*, *Navicula*, *Planothidium* y *Cocconeis* por lo cual concluyeron que el agua se encuentra en un estado ecológico de clase III a V lo cual significa que es moderada a mala. Esto indica que al igual que en el presente estudio los taxones que predominaron fueron los alcalófilos ( $\text{pH} > 7$ ), esto debido a que algunas de las condiciones naturales de ambos estudios se asemejan. Por otra parte, la investigación

menciona que la presencia de las especies se puede deber a factores antrópicos como la presencia de contaminantes, confluencia de fertilizantes por actividades agrícolas, y la falta de un sistema de alcantarillado, esto conduce a una aglomeración en especial del género *Navicula* (Noga et al., 2013).

Investigadores como Nhiwatiwa et al. (2017) han demostrado que la mayoría de géneros y especies de diatomeas responden a las variaciones de las concentraciones de parámetros físico-químicos y características morfométricas (profundidad de los ríos) e índices biológicos (diversidad, riqueza y equitatividad). De tal forma, los géneros *Navicula* y *Nitzschia* registrados en las dos microcuencas, se encuentran descritos como especímenes tolerantes a la contaminación orgánica del agua, condición ecológica que influye en su abundancia a diferencia de otras variables físicoquímicas como el pH y la temperatura (Palmer, 1969).

Para Passy (2007), los géneros *Navicula* y *Nitzschia* se adaptan a los ambientes con altas concentraciones de nutrientes como el fosfato, por lo que su proliferación es un indicador de una mala calidad de agua. Este parámetro solamente cumplió con los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89 ( $< 0,1$  mg/l) en la zona intervenida por agricultura y ganadería de la microcuenca Yantzaza. Es decir, el resto de puntos de muestreo están sobrepasando los límites máximos permisibles, donde la zona intervenida por agricultura de la microcuenca San Francisco alcanzó el valor más alto llegando a  $0,35$  mg/l, mostrando un alto contenido de fosfatos, pero con valores por debajo a los presentados en el estudio planteado por (Ríos et al 2021) donde en los cantones Mera y Pastaza en el curso del río Puyo, llegan a presentar concentraciones de fosfatos desde  $0,24$  mg/l hasta  $0,78$  mg/l. Estas altas concentraciones de este compuesto influyen en el crecimiento desmedido de algas como las diatomeas, por ende, su alta proliferación afectaría a la cantidad de oxígeno disponible en la columna de agua, propiciando ambientes acuáticos anóxicos, donde no existe vida acuática (Bolaños-Alfaro et al., 2017).

Además, investigadores como Maza (2017), señalan que las altas concentraciones de fosfatos en cuerpos de agua, puede ser el resultado del desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas, en este sentido, dada la presencia de zonas ganadera y de agricultura a lo largo de los puntos estudiados, se considera que existen relaciones con los valores altos de fósforo registrados, lo cual estaría afectando a los puntos de captación

de agua de consumo para la zona urbana del cantón Yantzaza. Por su parte, el género *Cocconeis* registrado en la zona de captación y zona intervenida por agricultura de la microcuenca San Francisco, así como en la zona con evidencia de minería artesanal de la microcuenca Yantzaza, es un indicador de mala calidad según Ayala (2021) señala que este género habita en ambientes eutrofizados con alto contenido de fosfato, esto se contrasta con el alto contenido de fósforo registrado en las zonas estudiadas. El género *Pinnularia* registrado únicamente en la zona de captación de la microcuenca Yantzaza, según Echeverría (2015) lo describe como un organismo indicador de una buena calidad de agua, sin embargo, el IDG evidenció que se pueden desarrollar con poca abundancia en sistemas acuáticos con una contaminación fuerte.

En las dos microcuencas de estudio, la turbidez cumple con los valores permisibles para aguas de uso estético. Para Arcos-Pulido y Gómez (2006), la turbidez es un factor que influye en la productividad fotosintética del fitoplancton, debido a que la poca presencia de luz altera la productividad biológica, afectando al crecimiento y reproducción de organismos fotosintéticos. En el estudio realizado por López et al. en los ríos Pacayacu y Sacha de la Amazonía Ecuatoriana en 2011, muestra una turbidez media de 22,47 NTU, donde muestra niveles altos de turbidez y es más difícil de desinfectar con propósitos de potabilización. Por lo tanto, los niveles de turbidez obtenidos en este estudio, con el valor más alto en la zona de captación de la microcuenca San Francisco (3,36 NTU), están por debajo de los valores presentados en el estudio mencionado anteriormente, es decir, las dos microcuencas abastecedoras de agua de consumo presentan un mejor nivel de turbidez que los ríos Pacayacu y Sacha.

Morales et al. (2006), señalan que las microalgas como las diatomeas, pueden desarrollarse en ecosistemas acuáticos con un pH entre 6 a 9, predominando donde existe una mayor disponibilidad de nutrientes y de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), lo que explicaría su presencia en la microcuenca Yantzaza con niveles de pH de 7,02 a 7,93 y la microcuenca San Francisco con valores de 7,91 a 8,04, mismas que presentaron un pH neutro-ligeramente alcalino, mientras que Zabala en su estudio realizado en el río Tena en 2016 muestra un valor de pH de 7,63, reflejando una condición similar de los ríos y manteniéndolos dentro de los límites máximos permisibles y ofreciendo una óptima calidad de agua. Para García et al. (2019) los factores que pueden generar cambios en el

pH y el desarrollo de comunidades de diatomeas son los desechos de agricultura, los drenajes ácidos mineros y las emisiones de combustibles (García et al., 2019).

La temperatura es un factor importante en la distribución de organismos acuáticos que influye en las tasas metabólicas para la producción de energía y proceso vitales como lo es el crecimiento, la maduración y la reproducción de organismos acuáticos como las diatomeas (Jill et al., 2003). En este sentido, en la microcuenca Yantzaza se obtuvo valores de temperatura que van desde los 20,08°C hasta los 21,30°C, mientras que en la microcuenca San Francisco los valores de temperatura van desde los 21,10°C hasta los 21,20°C. López et al. (2011) mencionan que el parámetro de temperatura no establece si el agua es o no apta para su consumo, donde en su estudio en los ríos Pacayacu y Sacha obtuvieron valores de temperatura que van desde 22,40°C hasta 30,20°C que muestran niveles por encima de los obtenidos en este proyecto. La conservación y protección de las zonas riparias en las microcuencas Yantzaza y San Francisco es crucial para mantener una buena calidad del agua. En primer lugar, la vegetación riparia desempeña un papel importante en la regulación de la temperatura y el oxígeno disponible en el agua al minimizar la radiación solar. Al contrario, la deforestación en estas dos zonas, alteraría los ciclos naturales de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, lo que afecta la estructura y composición del perifiton y puede conducir a procesos de eutrofización. Por lo tanto, es esencial tomar medidas para proteger estas zonas y evitar la deforestación en las microcuencas mencionadas (Lozano-Peña et al., 2019).

De acuerdo a los niveles de sólidos totales disueltos, Terneus et al. en su estudio de evaluación ecológica del río Lliquino de Pastaza en 2012, obtuvieron valores bajos (30 mg/l) en comparación a los valores obtenidos en este estudio, mostrando una mejor calidad del agua que las dos microcuencas de estudio, donde en la microcuenca Yantzaza los valores van desde los 69,60 mg/l hasta los 81,70 mg/l, mientras que en la microcuenca San Francisco sus valores van desde los 80,60 mg/l hasta los 80,70 mg/l. Según Rebolledo y Jiménez (2012), los sólidos disueltos en altas concentraciones afectan de manera directa la disponibilidad de oxígeno presente en los cuerpos de agua. En este sentido, la microcuenca Yantzaza y San Francisco al estar dentro de los límites máximos permisibles se encuentran en óptimas condiciones para el crecimiento y la reproducción de diversos organismos acuáticos. Por otro lado, López et al. (2011) mencionan que la conductividad eléctrica del agua es un indicador indirecto de la cantidad total de sólidos disueltos en el

agua. Frente a este contexto, la microcuenca Yantzaza obtuvo niveles de conductividad entre 69,50  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y 81,60  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , mientras que la microcuenca San Francisco no tuvo diferencias significativas y mostró valores entre 80,60  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y 80,90  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , valores que están por debajo de la normativa ambiental de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (150 – 500  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ). Terneus et al. (2012), en su estudio en el río Lliquino de Pastaza presentaron valores de conductividad similares a los presentados en este estudio (70  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), reflejando una condición parecida en cuanto a este parámetro, donde estos niveles podrían provocar altibajos en los patrones de estructura y composición de la fauna béntica en el cuerpo de agua.

Por otro lado, Sabater et al. (1987), mencionan que cuanto mayor es la diversidad de diatomeas en un ecosistema acuático, el agua mostrará una mejor calidad, afirmación que contrastaría con los resultados obtenidos en los puntos de muestreo, donde la microcuenca San Francisco reflejó valores de diversidad bajos con una equitatividad media y alta en la distribución de sus individuos, por lo tanto, indica una polución media y moderada en el cuerpo de agua. En la microcuenca Yantzaza se obtuvo valores bajos de diversidad y valores de equitatividad baja y media, con una dominancia de géneros como *Nitzschia*, *Navicula* y *Gomphonema*, mostrando una baja calidad de agua, es decir una fuerte contaminación en todas sus zonas. Higgins et al. (2005), mencionan que la diversidad de diatomeas en los ríos andinos, puede ser el fundamento para la creación de planes regionales que permitan identificar áreas críticas de conservación de la vegetación ribereña.

Por lo tanto, Tinoco-Pérez et al. (2019) mencionan que es importante evaluar la integridad ecológica de los sistemas acuáticos, basándose de características físicoquímicas y biológicas (diversidad, riqueza, equitatividad). Los datos obtenidos en esta investigación permitieron evaluar la calidad de agua de las principales microcuencas abastecedoras de agua de consumo para la parroquia Yantzaza a partir de la identificación de géneros de diatomeas que son bioindicadores de la calidad del agua, evidenciando que existen actividades antrópicas que generan una contaminación fuerte en la microcuenca Yantzaza y contaminación media de la microcuenca San Francisco. Las alteraciones generadas por la presencia de intervenciones humanas son debido a la ausencia de conciencia social y de políticas ambientales enfocadas a la protección y gestión sostenible de los recursos hídricos. Por tal razón, es fundamental la promulgación de políticas

ambientales que protejan y restauraren la vegetación ribereña debido a su impacto en la salud de los ecosistemas acuáticos.

## 8. Conclusiones

Las concentraciones de fosfato y la abundancia de individuos se relacionaron a zonas con intervención antropogénica. En la microcuenca Yantzaza, en sus 3 zonas de estudio se mostró una abundancia en géneros como *Navicula*, *Nitzschia* y *Gomphonema*. Para la microcuenca San Francisco, en la zona de captación se obtuvo una gran abundancia de géneros como *Cocconeis* y *Navicula*, mientras que en la zona intervenida por agricultura y la zona de bosque nativo predominaron los géneros *Navicula* y *Gomphonema*.

El fosfato solamente cumplió con el límite máximo permisible para la protección de la vida acuática en agua dulce ( $< 0.1$  mg/l) en la zona intervenida por agricultura y ganadería de la microcuenca Yantzaza, mientras que en la microcuenca San Francisco ninguna zona cumple con la normativa. La presencia de altas concentraciones de fosfato en la zona con evidencia de minería artesanal de la microcuenca Yantzaza y la zona intervenida por ganadería de la microcuenca San Francisco muestran que efectivamente se realizan estas actividades las mismas que fueron evidenciadas en la fase de muestreo, por lo cual estas dos zonas están siendo intervenidas y no están en su mejor estado de conservación.

El Índice Diatómico General determinó un enriquecimiento de fósforo en la microcuenca San Francisco, así en la zona intervenida por ganadería presenta un estado de polución moderada, mientras que en la zona de captación y zona de bosque nativo muestra una eutrofización acentuada. En la microcuenca Yantzaza el IDG reportó un estado de polución fuerte en las tres zonas.

Consideramos que, este proyecto marca una pauta para el planteamiento e implementación de nuevas líneas de investigación en cuanto a ecología acuática, en este sentido, estos resultados logrados aportan con información científica importante y necesaria para la generación de una línea base sobre los géneros y aspectos ecológicos de las comunidades de diatomeas presentes en las microcuencas abastecedoras de agua de consumo. Por lo tanto, estos resultados serían aplicables para futuras investigaciones relacionadas con el biomonitoreo de la calidad del agua.

## 9. Recomendaciones

- Se deberá evaluar, en forma periódica el impacto que la creciente actividad minera ocasiona sobre la calidad de las aguas de la microcuenca Yantzaza y optar por un programa de áreas protegidas para toda la zona de la microcuenca y preservar su uso.
- Es necesario realizar más estudios de calidad de agua de las dos microcuencas a efectos de construir un plan de manejo colectivo, informando e involucrando a la comunidad haciendo conciencia y comprometiéndolos a reducir la alteración de estas fuentes de agua.
- Con respecto a las actividades agrícolas y ganaderas, se debe capacitar a los actores principales para el uso de mejores prácticas amigables con el ambiente, teniendo en cuenta que se utiliza mucho el recurso hídrico para diferentes etapas de crianza y cultivos.

## 10. Bibliografía

- AELS, (2017). Tipologías morfológicas de los frústulos de las diatomeas. Recuperado el 26 de octubre de 2022 de <https://i0.wp.com/aulaestudiolagosanabria.info/wp-content/uploads/2017/10/tipos-morfo.png?resize=768%2C338&ssl=1>
- Alegre, E., Blanco, S., Castejón, M., López, R. & Sánchez, L. (2004). Segmentación autónoma y extracción de características geométricas en diatomeas. XXV Jornadas de Automática. Ciudad Real, 8-10 de septiembre de 2004. España.
- Almanza Hernandez, F. D., & Ramirez Calderon, O. G. (2018). Caracterización física, química y microscópica de un suelo conformado por diatomeas fósiles en la Ciudad de México.
- Arcos-Pulido, M., y Gómez, A. (2006). Microalgas perifíticas como indicadores del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C., Colombia. *Nova*, 4(6), 60. <https://doi.org/10.22490/24629448.362>
- Aumassanne, C., & Fontanella, D. (2015). Variaciones en la conductividad eléctrica del agua para riego en la cuenca del río Colorado, Argentina. In Congreso Nacional del Agua. 25. CONAGUA 2015. 2015 06 15-19, 15 al 19 de junio de 2015. Paraná, Entre Ríos. AR.
- Ayala Matute, D. E. (2021). Uso de Diatomeas epilíticas como bioindicadoras de calidad de agua de la cuenca media-baja del Río Yanuncay en época seca.

- Barrenechea, A. (2006). Aspectos Fisicoquímicos de la Calidad del Agua. Manual. España. 55pp.
- Bastida, R., & Stupak, M. E. (1979). Las diatomeas de las comunidades incrustantes del puerto de Mar del Plata. *Anales CIDEPIINT* 1979.
- Baylón, M., Roa, K., Libio, T., Tapia, L., Jara, E., Macedo, D. & Dextre, A. (2018). Evaluación de la diversidad de algas fitoplanctónicas como indicadores de la calidad del agua en lagunas altoandinas del departamento de Pasco (Perú). *Ecología aplicada*, 17(1), 119-132.
- Bianchini F. 2009. Evaluación de la Calidad de los Recursos Hídricos en la Provincia de Pasco y de la Salud en el Centro Poblado de Paragsha. Asociación Civil Centro de Cultura Popular Labor.
- Blanco, S., Álvarez, I., Cejudo, C. & Bécares, E. (2010). Guía de las Diatomeas de la cuenca del Duero. Confederación Hidrográfica del Duero, España. 210 pp.
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., y Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Briñez, K. J., Guarnizo, J. C., & Arias, S. A. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30(2), 175-182.
- Calizaya J., Avendaño M. y Delgado I. (2013). Evaluación de la calidad Fluvial con Diatomeas (Bacillariophyceae), una experiencia en Tacna, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 30: 58-63.
- Camargo, J. A., y Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas*, 16(2), 1–13. <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/457>
- Canchapoma Palomino, K., Casas Soto, K., Palacin Oscanoa, A., Rojas Vilcahuaman, D., & Vargas Echevarria, I. (2016). Macroinvertebrates biodiversity as indicators of water quality in the rivers of Junín.

- Carmona-Jiménez, J., & Necchi, O.Jr., (2002). Taxonomy and distribution of *Paralemanea* (Lemaneaceae, Rhodophyta) in Central Mexico. *Cryptogamie Algologie*, 23, 39-49.
- Caro-Borrero, A., Carmona-Jiménez, J., Varley, A., De Garay-Arellano, G., Mazari-Hiriart, M., & Adams, D. (2017). El potencial del conocimiento ecológico local y científico como fuente de información en una subcuenca periurbana: un estudio de caso de la Ciudad de México. *Ecología Aplicada e Investigación Ambiental*, 15, 541-562. [http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1501\\_541562](http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1501_541562)
- Castro, D., Poma, J., Cango, P., Castro, G., & Adrianzen, Y. (2020, 13 noviembre). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN YANTZAZA 2020 - 2023*. Yantzaza.gob.ec. Recuperado 27 de marzo de 2023, de <https://www.yantzaza.gob.ec/images/PDyOT/RESUMEN-EJECUTIVO.pdf>
- Centro de Calidad Ambiental. (1989). Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001 / 89. Diario Oficial de la Federación, 1–18. <http://legismex.mty.itesm.mx/acu/acca001.pdf>
- Céspedes, E. (2014). Análisis taxonómico de las principales especies de diatomeas (Bacillariophyceae) en seis sitios en la cuenca del río Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. En *Escuela De Historia: Vol. I*. <http://www.biologia.ucr.ac.cr/TesisLic/EdwinCespedesVargas.pdf>
- Chen, X., Zhou, W., Pickett, S., Li, W., Han, L., y Ren, Y. (2016). Diatoms are better indicators of urban stream conditions: A case study in Beijing, China. *Ecological Indicators*, 60, 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.039>
- CIESE (2006). Center of Innovation in Engineering and Science Education, Stevens Institute of Technology. *Libreta de Campo para las Pruebas de las Muestras de Agua*. Disponible en: <http://www.k12science.org/curriculum/dipproj2/es/fieldbook/index.html> (acceso: 02 de mayo del 2014).
- Ciutti, F. 2005. Il monitoraggio dei corsi d'acqua con indicatori algali (diatomee). *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità* 41: 393–397.

- Colín-García, M., Heredia, A., Dos-Santos-Rodríguez, C., Figueira, E., Almeida, S. F., Basiuk, V. A., ... & Vrieling, E. G. (2013). Sílice de las Algas Diatomeas (Clase Bacillariophyceae) como material complejo y su importancia nanotecnológica. *La Granja*, 17(1), 5-15.
- CONAMA. 2005. Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas. Chile. 18p.
- Coral, (2013). Evaluación y Control de la contaminación de aguas residuales (Universidad Internacional SEK, Vol. Tomo 5). Quito-Ecuador
- Córdova Zúñiga, J. J. (2021). Establecimiento de la calidad del agua mediante Diatomeas epilíticas durante la época lluviosa en el río Yanuncay.
- Coste, M. & Ayphassorho, H. 1991. Étude de la qualité des eaux du Bassin Artois Picardie a l'aide des communautés de diatomées benthiques (Application des indices diatomiques). Rapport Cemagref. Bordeaux-Agence de l'Eau Artois. Picardie, Douai. France. 227p.
- Cruz, A., Troyo, E., Murillo, J., García, J., y Murillo, B. (2018). Familias de agua subterránea y distribución de sólidos totales disueltos en el acuífero de La Paz Baja California Sur, México. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(1), 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.316>
- Custodio Villanueva, M., & Chanamé Zapata, F. C. (2016). Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú. *Scientia Agropecuaria*, 7(1), 33-44.
- Deloya, A. (2006). Métodos de análisis físicos y espectrofotométricos para el análisis de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*, 19(2), 31-40. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835509.pdf>
- Dell'Uomo A 2004. L'indice diatomico di eutrofizzazione/polluzione (EPI-D) nel monitoraggio delle acque correnti. Linee guida. APAT Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, Roma, 101 p.
- Echeverría, M. (2015). Estudio de la comunidad de fitoplancton en el río Atacames provincia de Esmeraldas en el periodo Enero – Abril del 2015. Esmeraldas.

- EPA, A. D. (2017). Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
- Fernandez, A. (1999). Manual de las Diatomeas Peruanas. Ed. Hortus Boanicus Truxillense. Trujillo, Perú.
- Fetscher, A., Busse, L., Fetscher, A., y Ode, P. (2009). Standard Operating Procedures for Collecting Stream Algae Samples and Associated Physical Habitat and Chemical Data for Ambient Bioassessments in California. En In California State Water Resources Control Board Surface Water Ambient Monitoring Program (SWAMP) Bioassessment SOP, 2. 59
- Figueroa, R.; Araya. E.; Parra, O. & Valdovinos, C., 2000. Macroinvertebrados Bentónicos como indicadores de calidad de agua. Centro de Ciencias Ambientales, EULA-Chile, Universidad de Concepción, Chile.
- Fuentes Rivas, R. M., Ramos Leal, J. A., Jiménez Moleón, M. D. C., & Esparza Soto, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. Revista internacional de contaminación ambiental, 31(3), 253-264.
- FLACSO. Sede Ecuador, Ministerio del Ambiente de Ecuador & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. GEO Ecuador 2008 Inf sobre el estado del medio Ambient Capítulo 3 Estado del Agua 55-72. 2008; 1:105.
- Flores, C. M., Del-Angel, E., Frías, D. M., & Gómez, A. L. (2018). Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. Tecnología y ciencias del agua, 9(2), 39-57.
- Flores Miranda, S. J. (2019). Relevamiento de flora del área protegida Bosque de Bolognia para la obtención de un índice de diversidad Shannon Wiener a través de una aplicación móvil. Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia, 17(17), 215-238.
- Galvín, R. (2008). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. España: EMACSA.
- García, C. (2013). Parámetros fisicoquímicos del agua. Pv Albeitar, 1-4. [https://www.avideter.com/ftp\\_public/A3081113.pdf](https://www.avideter.com/ftp_public/A3081113.pdf)

- García, S., Arguello, A., Parra, R., y Pincay, M. (2019). Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal. *INNOVA Research Journal*, 4(2), 59–71. <https://doi.org/https://doi.org/10.33890/innova.v4.n2.2019.909>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Yantzaza y Fondo Regional del Agua (FORAGUA). 2021. Diagnóstico y Caracterización de las Áreas de Interés Hídrico que abastecen a los Sistemas de Agua Potable de la Ciudad de Yantzaza y Parroquia Rural de Chicaña, Cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe.
- González, M. 2022. Modelos de funcionamiento hidrogeoquímico de embalses afectados por AMD en base a indicadores biológicos. Interés y relevancia de las diatomeas en el caso de la Faja Pirítica Ibérica.
- Gómez, N., Domínguez, E., Rodrigues Capitulo, A., & Fernandez, H. R. (2020). Los indicadores biológicos.
- Gualdrón, L. E. (2018). Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos. *Dinámica ambiental*, 1, 83–102. <https://doi.org/10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593>
- Guzman, B., y Leiva, D. (2017). Diatomeas como bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas - Perú. *Revista Científica 60 UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(1), 16. [https://www.researchgate.net/publication/321204426\\_Diatomeas\\_como\\_bioindicadores\\_para\\_la\\_evaluacion\\_de\\_la\\_calidad\\_del\\_agua\\_en\\_la\\_cuenca\\_del\\_rio\\_Utcubamba\\_Amazonas\\_-\\_Peru](https://www.researchgate.net/publication/321204426_Diatomeas_como_bioindicadores_para_la_evaluacion_de_la_calidad_del_agua_en_la_cuenca_del_rio_Utcubamba_Amazonas_-_Peru)
- HACH COMPANY. (2000). Manual de análisis de agua. *Cell*, 3(970), 220. <https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984469>
- Higgins, J., Bryer, M. T., Khouri, M. L., Fitzhugh, T. (2005). A freshwater classification approach for biodiversity conservation planning. *Conservation Biology*. 19 (2): 43-445.
- Kalyoncu, H., Lerzan, N., Akköz, C., & Yorulmaz, B. (2009). Comparative performance of diatom indices in aquatic pollution assessment. *African Journal of Agricultural Research*, IV(10), 1032-1040. doi:1991-637X

- INEN 1108. (2014). AGUA POTABLE. REQUISITOS. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1108.pdf>
- INN 1978. Norma chilena Oficial N° 1333 (NCH 1333 OF. 1978). Aprobada por Decreto Supremo N°867 del 07/04/1978 del Ministerio de Obras Públicas. Publicado en el diario oficial del 22/05/1978. Chile. 11p.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. 2010. Datos del Censo de Población y Vivienda 2010. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-2010/>
- Iturri, A., Kloster, N. S., Alvarez, C., Isasti, J., & Díaz-Zorita, M. (2022). ¿Qué medimos cuando analizamos la conductividad eléctrica de aguas y suelos? Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa.
- Jill, S., Baron, N., Leroy Poff, L., C, A., Dahm, P., Gleick, N., R, H., Jackson, C. Johnston, B., Steinman, R., y Steinman. (2003). Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems. Issues in Ecology, Ecological Society of America. Washington DC-EEUU. <https://www.esa.org/wpcontent/uploads/2013/03/issue10.pdf>
- Kelly, M. G., Adams, C., Graves, A. C., Jamieson, J., Krokowski, J., Lycett, E. B., Murray-Bligh, J., Pritchard, S., & Wilkins, C. (2001). Preparation of diatoms for microscopy. En: The Trophic Diatom Index: a user's manual. Environment Agency, Bristol. Inglaterra, 17-24
- Lanza, S., Álvarez, I., Cejudo, C., Bécares, E., Ector, L., García, C., & Rodríguez, I. Guía de las diatomeas de la Cuenca del Duero. España, 2011.
- Lee, R.E. 1989. Phycology. Cambridge University Press, Cambridge, 645 pp
- Lenntech. (2020). River wáter quality and pollution. <https://lenntech.com/rivers-pollution-quiality.htm#:~:text=Chemical waste products from industrial, other animals are killed immediately.>
- León, P. F., & Quispe, L. S. (2008). Evaluación socio-ambiental del bofedal Huaytire de la provincia de Candarave-Tacna. Ciencia & Desarrollo, (12), 93-98.
- Lida, C. L., y Shock, C. C. (2009). El Dilema del Fósforo. Panacea, 16(42), 189. 61 [https://ir.library.oregonstate.edu/concern/open\\_educational\\_resources/b2773w01b](https://ir.library.oregonstate.edu/concern/open_educational_resources/b2773w01b)

- Lobo, E. A., Schuch, M., Heinrich, C. D., Costa, A. B., Düpont, A., Wetzel, C. E., & Ector, L. (2015). Development of the Trophic Water Quality Index (TWQI) for subtropical temperate Brazilian lotic systems. *Environmental Monitoring Assessment*, 187: 354-366.
- Lobo, E. (2016). Índice trófico de qualidade da água: guia ilustrado para sistemas lóticos subtropicais e temperados brasileiros. (EDUNISC, vol. 7, Issue 2). [www.uniscbr/edunisc](http://www.uniscbr/edunisc)
- López Fuerte, F. & Siqueiros Beltrones, D. (2011). Diatomeas como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur, México. *CONABIO. Biodiversitas*, 99: 8–1.
- López, S., Nevels, D., & Kading, T. (2011). Análisis de la calidad de agua en las microcuencas de los ríos Pacayacu y Sacha en la Amazonía Ecuatoriana. Universidad de Washington Bothell.
- Lozano-Peña, S., Vasquez-Moscoso, C., Rivera-Random, C., Zapata, A., y Ortiz-Moreno, M. (2019). Efecto de la vegetación riparia sobre el fitoperifiton de humedales en la Orinoquía colombiana. *Acta Biológica Colombiana*, 24(1), 67–85. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n1.69086>
- Lozano, Y., Vidal, L., & Navas, G. (2010). Listado de diatomeas (Bacillariophyta) registradas para el Mar Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 39(1), 83-116.
- Luque, M. & Martínez de Fabricius, A. (2000). Ficoflora fitoplanctónica y epilítica del río Piedra Blanca (Córdoba, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 35(1-2): 21-32.
- Magurran, A. (1988). Ecological diversity and its measurement. 19-23.
- Marín, R. (2010). Características Físicas, Químicas Y Biológicas de las aguas. Emacsa, 1(c), 37. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente48099.pdf>
- Martínez Silva, P. (2015). Variación espacio-temporal de microalgas acuáticas del embalse de Betania–Huila y su relación con la calidad del agua. *Intropica*, 11-19.
- Maza, J. (2017). *Cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de iones de fosfato*

*en dos cuencas andinas altas del sur del Ecuador* [Universidad Politécnica Salesiana].

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14968/1/UPSCT007384.pdf>

McAlice, B.J. (1971). Phytoplankton sampling with the Sedgewick Rafter Cell. *Limnol. Oceanogr.*, 16, 19-28.

Morales, N., Arévalo, K., Ortega, J., Briceño, B., Andrade, C., y Morales, E. . (2006). El pH y la fuente nitrogenada como moduladores del crecimiento de la macrófita *Lemna* sp. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23, 70–83. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S037878182006000100007&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S037878182006000100007&nrm=iso)

Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana, University of Illinois Press.

Steinitz-Kannan, M., y Cooper, J. (2007). The diatoms (Bacillariophyta). *New Survey of Clare Island*, 6, 115-139,200,217-232.

Terneus, E., Hernández, K., & José Racines, M. (2012). Evaluación ecológica del río Lliquino a través de macroinvertebrados acuáticos, Pastaza-Ecuador. *Revista de Ciencias*, 16.

Maldonado, M. (2022). *Caracterización de diatomeas como herramineta para el estudio de la calidad de agua del río Atacames* [Pontificada Universidad Católica del Ecuador].

[https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/2993/1/Maldonado Chasing Marta Rita.pdf](https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/2993/1/Maldonado%20Chasing%20Marta%20Rita.pdf)

Merino Salazar, K. P. (2018). Determinación de la calidad de agua mediante el uso de diatomeas bentónicas en el tramo padre Carollo-Paus, del Rio Blanco. parroquia Rio Blanco, cantón Morona, provincia de Morona Santiago (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).

Ministerio de Energia y Minas. (2015). Proyecto de Perforación de 115 Pozos de Desarrollo Adicionales en los lotes II y XV. Recuperado de: <http://www.minem.gob.pe/minernlarchivos/file/DGGAE/DGGAE/ARCHNOS/E>

IAPETROLERA%20MONTERRJCOLOTE%20II%20Y%20XV/LBB%20Y%20A NEXOS.pdf

- Ministerio del Ambiente. (2017). TULSMA. En Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-mar.-2003 (Número 3399). <https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- Montoya, Y. 2008. Variaciones nictemerales de algunas variables climáticas, físicas y químicas en una laguna somera en Guatapé (Antioquia), Colombia Actual. Biol., 30 (88): 83-96
- Montoya-Moreno, Y., y Aguirre, N. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Gestión y ambiente*, 16(3), 91–117.
- Narváez, F. D. B. (2021). Propiedades de los índices de equidad según su relación con atributos comunitarios. *South Sustainability*, 2(1), e030-e030.
- Nhiwatiwa, T., Dalu, T., y Sithole, T. (2017). Assessment of river quality in a subtropical Austral river system: a combined approach using benthic diatoms and macroinvertebrates. *Applied Water Science*, 7(8), 4785–4792. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0599-0>
- Noga, T., Stanek-Tarkowska, J., Kochman, N., Pajaczek, A., & Woźniak, K. (2013). Application of diatoms to assess the quality of the waters of the Baryczka Stream, left-side tributary of the River San. *Journal of Ecological Engineering*, 14(3), 8-23.
- Nugra, I. G., & Vidueira Mera, P. (2018). Presupuesto participativo: una revisión de la investigación científica y sus implicaciones democráticas del 2000 al 2016. *Universitas-XXI, Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, (28), 159-176.
- Oropesa, M. (2014). Estudio preliminar de las condiciones medioambientales del Río Pudio. Recuperado de: [aula.aguapedia.org/pluginfile.php/9922/mod.../rio\\_pudio.pdf](http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/9922/mod.../rio_pudio.pdf). España.
- Paladines, S. (2013). VULNERABILIDAD A NIVEL MUNICIPAL CANTÓN YANTZAZA. Loja. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/51065818.pdf>

- Palmer, C. M. (1969). A composite rating of algae tolerating organic pollution. *Journal of Phycology*, 5(1), 78–82. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1969.tb02581.x>
- Passy, S. (2007). Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany*, 86, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2006.09.018>
- Pérez, G., & Restrepo, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia.
- Poikane, S., Kelly, M., & Cantonati, M. (2016). Benthic algal assessment of ecological status in European lakes and rivers: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 568, 603-613. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.027>
- Rebolledo M, E. R., & Jiménez, P. (2012). Afectaciones a la calidad del agua en el norte de la provincia de esmeraldas producto de la minería aurífera ilegal en el año 2011.
- Reolón, (2010). PROGRAMA DE FORMACIÓN IBEROAMERICANO EN MATERIA DE AGUAS. En Área Temática 3.3. Calidad de las Aguas (p. 77 p.). Buenos Aires-Argentina: MVOTMA. Recuperado a partir de [www.DINAMA.GUB.UY](http://www.DINAMA.GUB.UY)
- Ríos Rodríguez, F. A., Abril Saltos, R. V., Carvajal, E. X., López Adriano, K. P., & Rodríguez Naranjo, H. E. (2021). Concentración de nitratos, fosfatos, tensoactivos y su relación con las precipitaciones en río Puyo. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 42(3), 3-21.
- Rita, M. C. M. (2022). Caracterización De Diatomeas Como Herramienta Para El Estudio De La Calidad De Agua Del Río Atacames (Doctoral dissertation, Ecuador-PUCESE-Escuela de Gestión Ambiental).
- Rivas Flores, A.W., Gómez Orellana, R. E. & A.J. Monterrosa Urías. 2010. Consideraciones generales para el estudio y monitoreo de diatomeas en los principales ríos de El Salvador. En: Sermeño Chicas, J.M. & M. Springer (eds.). Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Proyecto Universidad de El Salvador (UES) - Organización de los Estados Americanos (OEA). Editorial Universitaria UES, San Salvador, El Salvador. 48 pág.

- Rivera Guamán, J. C. (2023). Calidad del agua del río Nangaritza mediante el análisis de la comunidad fitoplanctónica.
- Roldán Pérez, G., Ramírez Restrepo, J. J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia.
- Romero, C. (2017). Pared celular de una diatomea típica del or. Centrales. Recuperado el 26 de octubre de 2022 de [https://personal.us.es/zarco/carronzar/Botanica\\_I/Figuras\\_Botanica\\_I/centrales.jpg](https://personal.us.es/zarco/carronzar/Botanica_I/Figuras_Botanica_I/centrales.jpg)
- Rosa, G. M Petry, T Carlesso. (2000). Disponibilidad, Eficiencia y Racionalidad en la utilización De Los Recursos Hídricos. Brasil: Ciencia y Ambiente.
- Sabater, S., Sabater, F., & Armengol, J. (1987). Comunidades de diatomeas en localidades altamente contaminadas del Río Ter (Cataluña, NE España). *limnetica*, 3, 103-109.
- 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.
- Segura-García V., Cantoral-Uriza E. A., Israde I. & Maidana, N. 2012. Diatomeas epilíticas como indicadores de la calidad del agua en la cuenca alta del río Lerma, México. *Hidrobiológica*. 22: 16-27.
- Severiche, C., Barreto, A. & Acevedo, S. 2014. Efecto de las Lluvias sobre la Calidad del Agua en La Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Avances Investigación en Ingeniería*. 10 (1): 58-67
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana, University of Illinois Press.
- Sierra, C. A. (2011). Calidad del agua evaluación y diagnóstico. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Número 9). [https://www.academia.edu/9511155/Calidad\\_del\\_agua\\_evaluación\\_y\\_diagnóstico](https://www.academia.edu/9511155/Calidad_del_agua_evaluación_y_diagnóstico)

- Stancheva, R., & Sheath, R. G. (2016). Benthic soft-bodied algae as bioindicators of stream water quality. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 417, 15. <https://doi.org/10.1051/kmae/2016002>
- Streble, H. y Krauter, D. 1987. Atlas de los Microorganismos de Agua Dulce. Omega, Barcelona, 337 pp.
- Soler, A., Pérez, M., Aguilar, E., & Villarreal, I. (2012). Autoridad del Canal de Panamá. Universidad de Panamá. Diatomeas del canal de Panamá, Bioindicadores y otros estudios pioneros. Panamá: ACP. Revista de Investigación de la Universidad de Panamá Scientia, 23, 27-34.
- SWEDISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2002). Bottom fauna. Consultado el 6 julio de 2003 en: <http://www.internat.naturvardsverket.se/indice.php3?main=/documents/legal/assess/assedoc/lakedoc/bottfna.htm>
- Tapia Zurita, L. (2018). Análisis de la calidad hídrica del humedal de Mantagua, Región de Valparaíso, y su relación con el entorno social.
- Taylor, J., Prygiel, A., Vosloo, P. y Rensburg, L. (2007). Can diatom-based pollution indices be used for biomonitoring in South Africa? A case study of the Crocodile West and Marico water management area. *Hydrobiología*, 592, 455-464.
- Terneus-Jácome, E., & Yáñez, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 36-50.
- Tinoco-Pérez, L. I., Navarrete, K. A. S., Aparicio, I. A. H., Ortega, M. A. H., Mejía, G. C. M., & Mejía, J. C. (2019). Water quality study of the Actopan river in the localities of Santa Rosa and La Linda, Veracruz using macroinvertebrates and diatoms as bioindicators. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 7(1), 146-150.
- Trapero-Quintana, A., Reyes-Tur, B., & Cuellar, N. (2011). Esfuerzo de muestreo necesario para estimar la riqueza específica máxima en tres comunidades de Odonata en Cuba empleando exuvias. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 49, 285-290.
- Trujillo, D., Duque, L. F., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., y Herrera, O. F. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación /

- floculación usando almidón de plátano. *Revista ION*, 27(1), 17–34.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-100X2014000100003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2014000100003)
- Urrea, G., Sabater, S. (2009). Epilithic diatoms assemblages and their relationship to environmental characteristics in an agricultural watershed. Brasil: Guadiana River.
- Van den Hoek, C., Mann, D.G. y Jahns, H.M. 1995. *Algae: an Introduction to Phycology*. Cambridge University Press, Cambridge, 623 pp.
- Vázquez, E., y Rojas, T. (2016). pH: Teoría y 232 problemas. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-delmagdalena/bioquimica/p-h-teoria-y-232-problemas-2019/564167>
- Vélez, A., Lozano, S., y Cáceres, K. (2016). Diversidad De Fitoplancton Como Indicador De Calidad De Agua En La Cuenca Baja Del Río Lurín, Lima, Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 1–12. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.745>
- Villamarín, C., Prat, N., & Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin american journal of aquatic research*, 42(5), 1072-1086.
- Wanielista, M., R. Kersten y R. Eaglin, 1997. *Hydrology and Water Quality Control*, 2ª edición. Ed. Wiley. 557p
- Yana Añamuro, K. S. (2015). Impacto de la actividad minera sobre las comunidades acuáticas del río Uchusuma-Vila Vilani.
- Zabala Pozo, D. F. (2016). “DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO TENA DESDE LA UNIVERSIDAD IKIAM A LA PARROQUIA MUYUNA DEL CANTÓN TENA
- Zelinka, M., Marvan, P. 1961. Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. *Archiv für Hydrobiologie* 57: 389–407.

## 11. Anexos

### Anexo 1. Zona de captación de la microcuenca Yantzaza



### Anexo 2. Zona intervenida por agricultura y ganadería



### Anexo 3. Zona con evidencia de minería artesanal



**Anexo 4.** Zona de captación de la microcuenca San Francisco



**Anexo 5.** Zona intervenida por ganadería



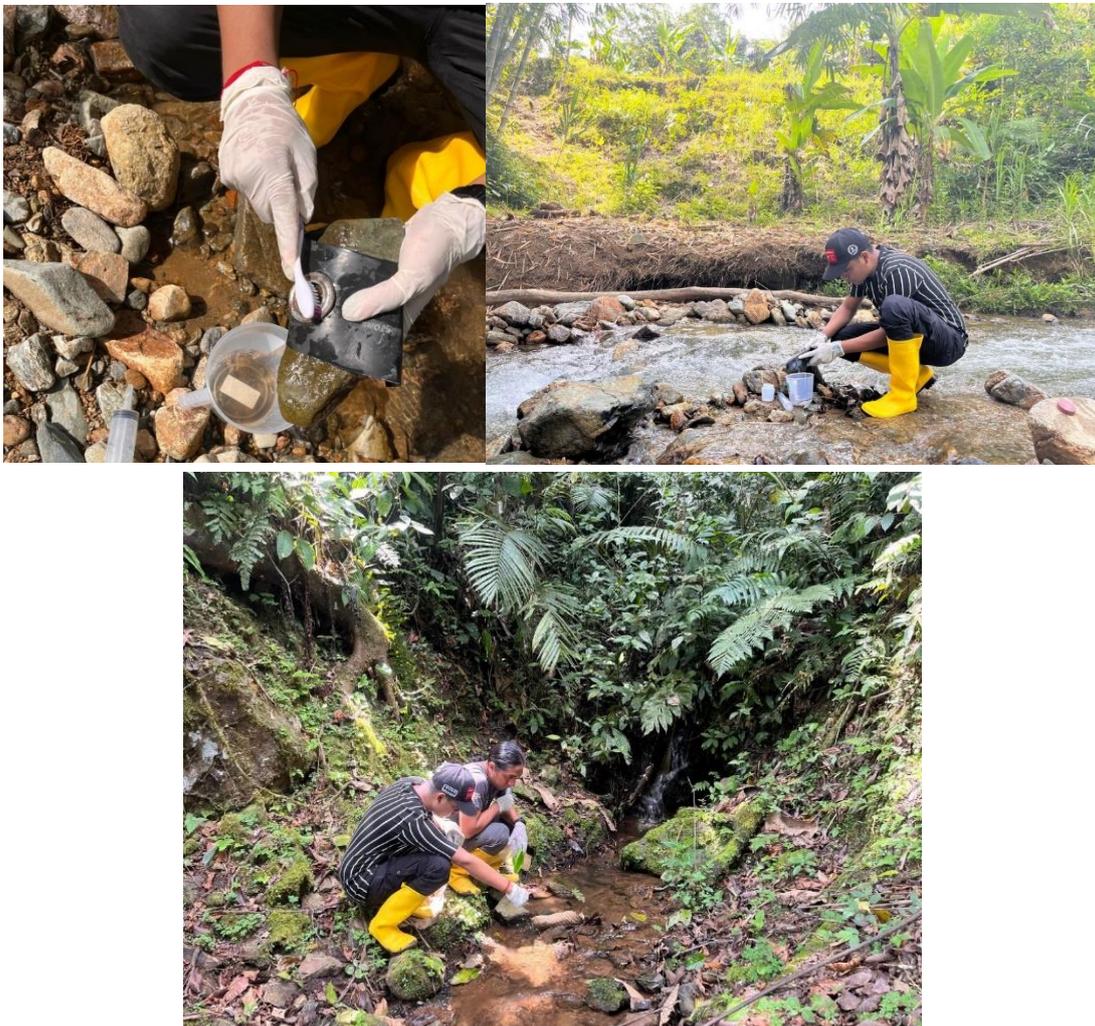
**Anexo 6.** Zona de bosque nativo



**Anexo 7.** Criterio de recolección de las piedras



**Anexo 8.** Raspado de la piedra con 20 ml de agua destilada sobre una jarra de plástico y recolección de la muestra biológica hasta completar 100 ml de los 5 sustratos naturales por cada punto de muestreo.



**Anexo 9.** Obtención de muestras para análisis de laboratorio de nitratos y fosfatos



**Anexo 10.** Obtención de parámetros fisicoquímicos



**Anexo 11.** Obtención de parámetros fisicoquímicos a nivel de laboratorio



**Anexo 12.** Preparación de la muestra biológica



**Anexo 13.** Observación e identificación de las comunidades de diatomeas



**Anexo 14.**Presentación del proyecto en el III simposio de calidad ambiental y biodiversidad



Anexo 15. Certificado de traducción del resumen



Universidad  
Nacional  
de Loja

Loja, 27 de junio de 2024

Magister

JHIMI BOLTER VIVANCO LOAIZA

**CATEDRÁTICO DE LA CARRERA DE PEDAGOGÍA DE LOS  
IDIOMAS NACIONALES Y EXTRANJEROS - UNL**

**C E R T I F I C O:**

Que el documento aquí expuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen del Trabajo de Integración Curricular denominado: "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", de autoría de Stahil Fernando Villalta Salinas, con cédula de identidad 1900783166, de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifico y autorizo hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.



Firmado electrónicamente por:  
JHIMI BOLTER  
VIVANCO LOAIZA

JHIMI BOLTER VIVANCO LOAIZA, M. Ed.

**CATEDRÁTICO DE LA CARRERA DE PEDAGOGÍA  
DE LOS IDIOMAS NACIONALES Y EXTRANJEROS - UNL**