



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFLUENCIA DE NUTRIENTES SOBRE LA DIVERSIDAD DE
DIATOMEAS EPILÍTICAS EN CUATRO TRAMOS DE LOS RÍOS
CHAGRASACHA Y QUILLOPACCHA DEL SISTEMA LACUSTRE
PISAYAMBO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS: VALERIA ANABEL PILCO PICÓN

LISBETH VIVIANA SANTANDER CORONEL

DIRECTOR: Ing. CARLOS ROLANDO ROSERO ERAZO. MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Valeria Anabel Pilco Picón & Lisbeth Viviana Santander Coronel

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

Nosotras, VALERIA ANABEL PILCO PICÓN y LISBETH VIVIANA SANTANDER CORONEL declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de abril del 2022



.....
Valeria Anabel Pilco Picón

060455122-6



.....
Lisbeth Viviana Santander Coronel

030233328-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación. **INFLUENCIA DE NUTRIENTES SOBRE LA DIVERSIDAD DE DIATOMEAS EPILÍTICAS EN CUATRO TRAMOS DE LOS RÍOS CHAGRASACHA Y QUILLOPACCHA DEL SISTEMA LACUSTRE PISAYAMBO**, realizado por las señoritas **VALERIA ANABEL PILCO PICÓN** y **LISBETH VIVIANA SANTANDER CORONEL**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce. MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-04-13
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo. MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-04-13
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos. MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-04-13

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico en primer lugar a Dios por guiarme y darme sabiduría en cada etapa de mi vida.

A mi madre Valeria por su amor y apoyo incondicional brindado a lo largo de mi carrera, por la paciencia, esfuerzo y confianza que me ha enseñado a salir adelante a pesar de las adversidades.

A mis hermanos Francis y Camila que son mi motor y motivo de lucha, porque con su amor me impulsan a ser una mejor persona.

A mis tíos José Luis y Danny que han estado pendientes para apoyarme e impulsarme a cumplir mis sueños.

Valeria

Dedico con todo mi corazón mi trabajo de integración curricular a mis padres en especial a mi madre Tania, pues sin ella y su incondicional apoyo moral, psicológico y económico no lo habría logrado.

A mis hermanos Jonathan, Verónica y Yadira, porque son la razón de sentirme orgullosa de culminar esta meta, gracias por siempre creer y confiar en mí.

A Analía que es como mi hija por ser mi fuente de motivación e inspiración para ser un buen ejemplo para ella en un futuro, a mis primas y tíos que han estado apoyándome durante el transcurso de mi carrera.

Lisbeth

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por ser la base de nuestra fortaleza y nunca dejarnos perder la esperanza mientras lográbamos alcanzar nuestra meta.

Agradecemos a nuestros padres por su amor y apoyo incondicional durante cada etapa de este camino, por su esfuerzo constante en brindarnos las herramientas necesarias para ser mejores personas y cumplir nuestras metas.

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por brindarnos la formación necesaria, una profesión y la oportunidad de servir a la sociedad.

Al Grupo de Investigación-Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) y técnico colaboradore Ing. Freddy Armijos, nuestro sincero agradecimiento por su apoyo y colaboración en el desarrollo de este estudio.

Al Ing. Carlos Rosero tutor del trabajo, por su paciencia, asesoramiento y guía durante la realización de esta investigación.

Un profundo agradecimiento al Ing. Andrés Beltrán por su dedicación y apoyo en el desarrollo de nuestro trabajo.

Y a nuestros amigos Anais, Jonathan y Nube, por su sincera amistad, por apoyarnos y acompañarnos durante la elaboración de este trabajo y a lo largo de nuestra trayectoria universitaria.

Valeria & Lisbeth

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Marco Teórico.....	4
1.2.1. <i>Sistemas lóticos</i>.....	4
1.2.1.1. <i>Características de los sistemas lóticos</i>.....	5
1.2.2. <i>Cuenca hidrográfica</i>.....	5
1.2.2.1. <i>Clasificación de las cuencas hidrográficas</i>.....	5
1.2.2.2. <i>Divisiones de una cuenca hidrográfica</i>.....	6
1.2.3. <i>Función ecosistémica de los ríos</i>.....	6
1.2.4. <i>Evaluación del recurso hídrico</i>.....	7
1.2.4.1. <i>Calidad del agua</i>.....	7
1.2.4.2. <i>Afectaciones de origen antropogénico</i>.....	7
1.2.4.3. <i>Afectaciones de origen natural</i>.....	8
1.2.4.4. <i>Consecuencias de las afectaciones al agua</i>.....	8
1.2.5. <i>Evaluación biológica de la calidad del agua</i>.....	8
1.2.5.1. <i>Bioindicadores de la calidad de agua</i>.....	9
1.2.5.2. <i>Utilidad de los bioindicadores de la calidad de agua</i>.....	9
1.2.5.3. <i>Principales bioindicadores de la calidad de agua</i>.....	9
1.2.5.4. <i>Algas bénticas</i>.....	12
1.2.5.5. <i>Interés y uso ecosistémico de las microalgas</i>.....	12
1.2.5.6. <i>Diatomeas</i>.....	13
1.2.5.7. <i>Ventajas de las diatomeas como bioindicadores</i>.....	18
1.2.6. <i>Aplicabilidad de los índices ecológicos en estudios de biodiversidad</i>.....	21
1.2.6.1. <i>Índice de Shannon-Wiener</i>.....	21

1.2.6.2.	<i>Índice de Margalef</i>	21
1.2.6.3.	<i>Índice de sensibilidad específica a la polución (IPS)</i>	22
1.2.7.	<i>Dinámica de nutrientes en agua dulce</i>	22
1.2.7.1.	<i>Ciclo del nitrógeno en sistemas de agua dulce</i>	23
1.2.7.2.	<i>Ciclo del fósforo en sistemas de agua dulce</i>	24
1.3.	Marco Conceptual	24
1.3.1.	<i>Recurso hídrico</i>	24
1.3.2.	<i>Polución</i>	25
1.3.3.	<i>Comunidad biológica</i>	25
1.3.4.	<i>Diversidad</i>	25
1.3.5.	<i>Abundancia</i>	25
1.3.6.	<i>Tolerancia</i>	26
1.3.7.	<i>Macrófitas</i>	26
1.3.8.	<i>Perifiton</i>	26
1.3.9.	<i>Nutrimientos del agua</i>	26
1.4.	Marco Legal	27
1.4.1.	<i>Constitución de la Republica del Ecuador</i>	27
1.4.2.	<i>Código Orgánico Ambiental</i>	27
1.4.3.	<i>Convención de Ramsar</i>	27

CAPÍTULO II

2.	METODOLOGÍA	28
2.1.	Tipo de investigación	28
2.2.	Diseño de la investigación	28
2.2.1.	<i>Población de estudio</i>	28
2.2.2.	<i>Tamaño de muestra</i>	28
2.2.3.	<i>Puntos de muestreo</i>	28
2.2.4.	<i>Muestreo</i>	29
2.3.	Área de estudio	29
2.3.1.	<i>Descripción de la zona</i>	30
2.3.1.1.	<i>Tramo uno</i>	31
2.3.1.2.	<i>Tramo dos</i>	31
2.3.1.3.	<i>Tramo tres</i>	32
2.3.1.4.	<i>Tramo cuatro</i>	32
2.4.	Recolección y conservación de muestras de diatomeas	33
2.5.	Recolección y conservación de muestras de agua	33

2.6.	Análisis de parámetros fisicoquímicos	33
2.7.	Extracción de diatomeas	34
2.8.	Análisis de diatomeas	34
2.9.	Determinación de nutrientes	35
2.9.1.	<i>Nitratos</i>	35
2.9.2.	<i>Fosfatos</i>	35
2.10.	<i>Índices ecológicos</i>	36
2.11.	<i>Análisis estadístico</i>	36
2.12.	<i>Evaluación del IPS</i>	36

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1.	Resultados de parámetros fisicoquímicos y nutrientes	39
3.1.1.	<i>pH</i>	40
3.1.2.	<i>Temperatura</i>	40
3.1.3.	<i>Conductividad eléctrica</i>	40
3.1.4.	<i>Sólidos totales disueltos</i>	40
3.1.5.	<i>Salinidad</i>	41
3.1.6.	<i>Nitratos</i>	41
3.1.7.	<i>Fosfatos</i>	41
3.2.	Resultados de abundancia y riqueza específica de diatomeas	42
3.2.1.	<i>Tramo uno</i>	42
3.2.2.	<i>Tramo dos</i>	44
3.2.3.	<i>Tramo tres</i>	46
3.2.4.	<i>Tramo cuatro</i>	48
3.3.	Índices ecológicos	50
3.3.1.	<i>Índice de Shannon-Wiener</i>	51
3.3.2.	<i>Índice de Margalef</i>	51
3.4.	Análisis canónico de correspondencia	52
3.5.	Índice de sensibilidad específica a la polución (IPS)	54

	CONCLUSIONES	56
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIONES	57
--	------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Clasificación de las diatomeas epilíticas	15
Tabla 2-1: Valores de amplitud ecológica o tolerancia.....	22
Tabla 3-1: Valores de sensibilidad.....	22
Tabla 4-2: Coordenadas de los puntos de muestreo.....	28
Tabla 5-2: Parámetros analizados in situ	33
Tabla 6-2: Métodos de ensayo empleados en la determinación de nutrientes	35
Tabla 7-2: Rangos de diversidad según Shannon-Wiener	36
Tabla 8-2: Rangos de diversidad según Margalef.....	36
Tabla 9-2: Valores del IPS.....	37
Tabla 10-2: Valores de sensibilidad y tolerancia para el cálculo del IPS	38
Tabla 11-3: Estadística descriptiva de los parámetros fisicoquímicos y nutrientes	39
Tabla 12-3: Abundancia de especies en el tramo uno del Río Quillopaccha.....	43
Tabla 13-3: Abundancia de especies en el tramo dos del Río Chagrasacha	45
Tabla 14-3: Abundancia de especies en el tramo tres del Río Chagrasacha	47
Tabla 15-3: Abundancia de especies en el tramo cuatro del Río Chagrasacha.....	49
Tabla 16-3: Estadística descriptiva del IPS.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Divisiones de una cuenca hidrográfica.....	6
Figura 2-1. Macrófitas como bioindicadores de calidad biológica	10
Figura 3-1. Algas y perifiton presentes en ríos	11
Figura 4-1. Macroinvertebrados y peces como bioindicadores.....	12
Figura 5-1. Material intracelular de diatomeas	14
Figura 6-1. Ciclo biogeoquímico del nitrógeno	23
Figura 7-1. Ciclo biogeoquímico del fósforo.....	24
Figura 8-2. Delimitación geográfica del área de estudio	30
Figura 9-2. Río Quillopaccha.....	31
Figura 10-2. Río Chagrasacha tramo dos.....	31
Figura 11-2. Río Chagrasacha tramo tres.....	32
Figura 12-2. Río Chagrasacha tramo cuatro	32

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2. Diseño de muestreo en el área de estudio	29
Gráfico 2-3. Dendograma descriptivo de las especies de diatomeas epilíticas encontradas	42
Gráfico 3-3. Especies de diatomeas epilíticas con mayor abundancia en el tramo uno	44
Gráfico 4-3. Especies de diatomeas epilíticas con mayor abundancia en el tramo dos	46
Gráfico 5-3. Especies de diatomeas epilíticas con mayor abundancia en el tramo tres	48
Gráfico 6-3. Especies de diatomeas epilíticas con mayor abundancia en el tramo cuatro	50
Gráfico 7-3. Diversidad de diatomeas epilíticas presentes en cada tramo	51
Gráfico 8-3. Diversidad con base en la riqueza de diatomeas epilíticas por cada tramo	52
Gráfico 9-3. Análisis Canónico de Correspondencia de nutrientes–especies de diatomeas	53
Gráfico 10-3. Valoración del IPS para cada tramo de la zona de estudio	55

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: TAXONES ENCONTRADOS EN LOS TRAMOS DE LOS RÍOS
QUILLOPACCHA Y CHAGRASACHA

ANEXO B: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE TAXONES ENCONTRADOS EN EL RÍO
QUILLOPACCHA Y RÍO CHAGRASACHA

ANEXO C: MUESTREO DE DIATOMEAS Y DE AGUA EN EL RÍO QUILLOPACCHA Y
RIO CHAGRASACHA

ANEXO D: ANALISIS DE DIATOMEAS Y NUTRIENTES EN EL LABORATORIO

ANEXO E: MANUAL HANNA PARA LA DETERMINACION DE FOSFATOS EN EL
AGUA

ANEXO F: MANUAL HANNA PARA LA DETERMINACION DE NITRATOS EN EL
AGUA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACC	Análisis de Correspondencia Canónica
°C	Grados Centígrados
CE	Conductividad eléctrica
COA	Código Orgánico Ambiental
IPS	Índice de Sensibilidad Específica a la Polución
cm	Centímetros
m	Metros
min	Minutos
m.s.m.n	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetros
ml	Mililitros
mg/L	Miligramos sobre litro
Máx	Máximo
Mín	Mínimo
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partes por millón
rpm	Revoluciones por minuto
TDS	Sólidos Totales Disueltos
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue analizar la influencia de nutrientes sobre la diversidad de diatomeas epilíticas en cuatro tramos de los ríos Chagrasacha y Quillopaccha del sistema lacustre Pisayambo mediante la aplicación de índices ecológicos como: Índice de Shannon-Wiener, Índice de Margalef, Índice de Sensibilidad Específica a la Polución y Análisis Canónico de Correspondencia. Se determinaron tres tramos de muestreo en el río Chagrasacha y un tramo en el río Quillopaccha. Se aplicaron protocolos de recolección, limpieza e identificación de diatomeas epilíticas y métodos estandarizados para el análisis de nutrientes del agua. En relación con la abundancia de diatomeas epilíticas se identificaron cuarenta especies, siendo *Eunotia minor* (7,82%), *Nitzschia incospicua* (7,38%), *Amphora pediculus* (7%), *Melosira varians* (6,75%), *Cymbella tumida* (6,19%), *Stauroneis acuta* (5,32%) más representativas. De acuerdo con la aplicación de los Índices de Shannon-Wiener y Margalef, en el tramo uno existió mayor diversidad y abundancia de diatomeas epilíticas. El análisis canónico de correspondencia evidenció una alta relación de las especies *Fragilaria arcus* y *Nitzschia incognita* con los fosfatos y de las especies *Amphora pediculus* y *Melosira varians* con los nitratos pertenecientes al tramo tres localizado en el Río Chagrasacha, en el cual la concentración para nitratos fue de 9,74 mg/L y para fosfatos 1,34 mg/L. En el análisis del Índice de Sensibilidad Específica a la Polución se registró una media de $12,97 \pm 0,47$ indicando que la calidad de agua en toda la zona de estudio fue moderada encontrándose dentro del rango de 13-17. De esta manera ciertas especies de diatomeas epilíticas podrían ser consideradas como indicadores biológicos de las condiciones ambientales del río debido a la sensibilidad y tolerancia a factores ambientales, por lo que se recomienda establecer un plan de monitoreo y seguimiento constante a los ríos con la finalidad de profundizar en la información de especies bioindicadoras de calidad del agua.

Palabras clave: <ÍNDICE DE SHANNON-WIENER>, <ÍNDICE DE MARGALEF>, <ÍNDICE DE SENSIBILIDAD ESPECÍFICA A LA POLUCIÓN (IPS)>, <DIATOMEAS EPILÍTICAS>, <INDICADORES BIOLÓGICOS>.

LEONARDO
FABIO
MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION-ECIBCE-1-QUITO,
serialNumber=000021485,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.04.22 16:10:43 -05'00'



0769-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The aim of the current research was to analyze the influence of nutrients on the diversity of epilithic diatoms in four sections of Chagrasacha and Quillopaccha rivers within Pisayambo lake system, this was carried out through the application of ecological indices such as: Shannon-Wiener Index, Margalef Index, Specific Sensitivity to Pollution Index and Canonical Correspondence Analysis. Three sampling sections were determined in Chagrasacha River and one section in Quillopaccha River. Protocols for collection, cleaning and identification of epilithic diatoms and standardized methods for the analysis of water nutrients were applied. Forty species concerning the abundance of epilithic diatoms were identified, they were: *Eunotia minor* (7.82%), *Nitzschia incospicua* (7.38%), *Amphora pediculus* (7%), *Melosira varians* (6.75%), *Cymbella tumida* (6.19%), and *Stauroneis acuta* (5.32%) was the most representative. According to the application of the Shannon-Wiener and Margalef indices, in section one there was greater diversity and abundance of epilithic diatoms. The canonical correspondence analysis revealed a high relationship of *Fragilaria arcus* and *Nitzschia incognita* species with presence of phosphates and *Amphora pediculus* and *Melosira varians* with presence of nitrates. In section three, which is located in Chagrasacha River, the concentration for nitrates was 9.74 mg/L and for phosphates 1.34 mg/L. In the analysis of the Specific Sensitivity Index to Pollution, a mean of 12.97 ± 0.47 was registered, this indicates that the water quality in the entire study area was moderate in a range of 13-17. Thus, certain species of epilithic diatoms could be considered as biological indicators of the environmental conditions in the river due to their sensitivity and tolerance to environmental factors, so it is recommended to establish a permanent monitoring plan for the rivers in order to deepen the information about bioindicator species of water quality.

Keywords: <SHANNON-WIENER INDEX>, <MARGALEF INDEX>, <SPECIFIC POLLUTION SENSITIVITY INDEX (PSI)>, <EPILITHIC DIATOMES>, <BIOLOGICAL INDICATORS>.



INTRODUCCIÓN

La importancia del recurso hídrico en el desarrollo socioeconómico del país tiene gran relevancia en estudios ambientales, debido a que la mayoría de las actividades utilizan el agua como un insumo fundamental en sus procesos (ganadería, agricultura, minería, etc.). Los ríos son considerados sistemas complejos en los que suceden una serie de procesos ecológicos y dinámicas poblacionales, en donde se transporta sedimentos, sales y organismos.

En la actualidad las condiciones de los ríos Chagrasacha y Quillopaccha del sistema lacustre Pisayambo, se encuentran alteradas debido a la intervención antrópica específicamente el pastoreo, las excretas ganaderas contaminan el agua a través de escurrimientos, infiltraciones, percolación, escorrentías y flujos superficiales, evidenciando un aumento de nitrógeno y fósforo presentes en el estiércol, mismos que están relacionados con la contaminación de aguas subterráneas y aguas superficiales respectivamente generando un incremento de nutrientes en el agua. El objetivo del presente proyecto de investigación es analizar la influencia de nutrientes sobre la diversidad de diatomeas epilíticas en dos tramos de los ríos Chagrasacha y Quillopaccha de sistema lacustre Pisayambo.

Este trabajo de investigación se ajusta a la política pública de promover la gestión sostenible del recurso hídrico en todos sus usos y aprovechamientos, como se encuentra planteado en el objetivo 13. Los modelos de análisis que se emplean para evaluar la calidad del agua, son herramientas que detallan el estado ecológico de los ríos y su variación frente a las condiciones ambientales, sin embargo, los análisis de variación de parámetros fisicoquímicos no inciden en el estado de un ecosistema, resultando insuficientes, por ello actualmente existen métodos complementarios, que consideran el uso de bioindicadores como criterios ecológicos permitiendo una visión más amplia del estado de los recursos hídricos. El uso de diatomeas epilíticas como bioindicadores tiene ventajas sobre los costosos y sistemáticos análisis fisicoquímicos, evidenciando información de la capacidad de tolerancia en los ecosistemas acuáticos, además es un proceso reciente que posee una gran facilidad en las técnicas de muestreo, y conservación.

Para el desarrollo de la investigación se considera la metodología de muestreo de Eduardo Lobo, la cual es aplicable para periodos de flujo constante, evaluación de las muestras en laboratorio y observación microscópica, se consideran también los índices ecológicos para el análisis de abundancia y diversidad. Los resultados obtenidos contribuirán a ampliar los conocimientos en cuanto a la ecología de los Ríos Chagrasacha y Quillopaccha del Sistema Lacustre Pisayambo y ayudarán a entender mejor el dinamismo fluvial del mismo, generando información sobre el estado reciente del río y aumentando los registros existentes.

OBJETIVOS

General

Analizar la influencia de nutrientes sobre la diversidad de diatomeas epilíticas en cuatro tramos de los ríos Chagrasacha y Quillopaccha del sistema lacustre Pisayambo.

Específicos

- Determinar los índices ecológicos de comunidades de diatomeas epilíticas en cuatro tramos de los ríos Chagrasacha y Quillopaccha.
- Representar la incidencia de los nutrientes del agua en la diversidad y abundancia de las diatomeas epilíticas.
- Valorar el Índice de Sensibilidad Específica a la Polución (IPS) para calidad del agua.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

A nivel internacional, la investigación sobre el uso de diatomeas para determinar la calidad del agua es muy extensa, especialmente en Europa continental, y en algunos países como parte de la legislación para controlar la calidad del agua de sus principales cuencas hidrográficas. Uno de los estudios más destacados en el mundo se realizó en la Cuenca Hidrológica del Canal de Panamá donde se identificó y analizó diatomeas epilíticas como indicadores biológicos del estado del sistema acuático con el objetivo de evaluar la calidad del agua de los principales ríos y embalses (Soler et al., 2012. p.20).

En la cuenca del río Zinapécuaro en México, diversas actividades económicas han desencadenado contaminación en la zona, lo que ha provocado una grave degradación ambiental, por esta razón a diferentes taxones se los considera bioindicadores de la calidad del agua especialmente las diatomeas, que se han utilizado para evaluar las condiciones ecológicas cambiantes de los ríos debido a que sus poblaciones son sensibles a las actividades industriales, agrícolas y urbanas que aumentan el uso de nutrientes y sedimentos en la cuenca, y responden a los cambios ambientales que afectan negativamente su composición biológica (Segura-García, 2016. p.5).

En el Perú, estudios determinan la calidad de agua en la cuenca del río Utcubamba, arrastrando sedimentos característicos de la cuenca y aquellos procedentes de afluentes de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas. Las especies con mayor predominancia a nivel de cuenca en las dos épocas estacionales se caracterizan por ser tolerantes a la salinidad y pH, están usualmente asociadas con ecosistemas contaminados, con una fuerte correlación con una contaminación orgánica (Guzmán y Leiva, 2016. p.10).

En Perú, Tacna, en la cuenca del río Locumba se evaluó la diversidad y abundancia de diatomeas, además de parámetros fisicoquímicos tomados del muestreo que se realizó en diez estaciones, obteniendo como resultado una disminución de la diversidad de diatomeas conforme con el incremento de la contaminación, evidenciándolo con los resultados de los parámetros fisicoquímicos (Calizaya-Anco et al., 2013. p.12).

En la microcuenca urbana del río Pirro, Heredia, Costa Rica establecieron la diversidad y abundancia de especies de diatomeas epilíticas reaccionándolas con parámetros fisicoquímicos. Los materiales se colectaron en la parte baja, media y alta del río a escala multitemporal. Como resultado se encontraron 18 especies de diatomeas que son indicadoras de condiciones moderadas y tolerantes a contaminantes, en base a esto se concluyeron que el río Pirro presenta mayor afección por la contaminación en la parte baja (Flores-Stulzer et al., 2017. p.3).

En la cuenca alta del río Lerma, México existe un alto grado de contaminación a causa de las descargas de aguas residuales, por esta razón se abordó el estudio de diatomeas epilíticas en once zonas de esta cuenca, como resultado de reconocieron 178 especies, caracterizadas por ser tolerantes a condiciones de alto contenido de nitrógeno explicada por las variaciones en parámetros como nutrientes, profundidad, conductividad, pH y temperatura (Segura-García et al., 2017. p.7).

En el Ecuador caracterizó a 19 familias y 25 géneros de diatomeas del río Teaone en Esmeraldas, como herramientas para evaluar la calidad de agua, que se ha visto afectada por la ganadería y agricultura de las zonas rurales y por la descarga de contaminantes provenientes de las zonas urbanas, las especies indicadoras de contaminación fueron *Coconeis*, *Ephitemia* y *Lemnicola*, así como las especies tolerantes a contaminantes *Navicula*, *Synedra*, *Cymbella* y *Encyonema* (Ortiz, 2015. p.22).

En el Río Cutuchi, Latacunga, Ecuador existe un alto grado de contaminación procedente de las descargas de aguas residuales de industrias aledañas al sector, mediante el uso de diatomeas epilíticas como bioindicadores determinaron la calidad de agua, encontrando la presencia de 53 especies, 21 familias de diatomeas epilíticas (Lucero y Paredes, 2017. p.8).

En el río Yanayacu se determinó la calidad de agua a partir diatomeas epilíticas como de bioindicadores, consiguiendo identificar un total de 31 especies y se realizó el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Se comparó con otros casos de estudios de la provincia de Cotopaxi de los Ríos Cutuchi, Pumacunchi y Yanayacu (Maiquiza y Tonato, 2020. p.6).

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Sistemas lóticos

Los sistemas lóticos (ríos, riachuelos, manantiales y arroyos) son masas de agua que se mueven de forma continua en una misma dirección, se caracterizan por formar redes hidrológicas que arrastran el agua y la concentran en un solo cauce principal por lo que tienen relación con los sitios en donde existe procesos de erosión, transporte y sedimentación (Bojorge y Cantoral, 2016. p.1). El entorno físico de un sistema lótico es caracterizado por el desarrollo de procesos que encaminan la transformación ecológica fundamental para las comunidades biológicas presentes. El flujo de la corriente de agua es particular en los ríos, arroyos y riachuelos, siendo conveniente para el transporte de recursos útiles para los organismos evidenciándose una selección en base a sus adaptaciones. La alteración del régimen hidrológico en los ríos genera disturbios que modifican las características de las comunidades biológicas, entendiendo al disturbio como cambios frecuentes y reiterados, este se convierte en un factor determinante para la generación de diversidad (Donato, 2008. p.26).

1.2.1.1. Características de los sistemas lóticos

Generalmente en las zonas altas el clima actúa sobre la geología del lugar, estableciendo las formas terrestres; a nivel medio el clima incide la abundancia de vegetación; en el nivel más bajo se plasma la interacción entre factores abióticos y bióticos; en estos sistemas existe una concentración de oxígeno alta y gran parte de los nutrientes llegan al cauce mediante procesos erosivos. Existen dos tipos, el flujo laminar que corresponde a la zona de remansos en donde la velocidad de corriente disminuye permitiendo el proceso de sedimentación; y el flujo turbulento que es la zona de los rápidos, en donde el agua fluye de forma vertiginosa llevando los sedimentos (Briñez et al., 2011. p.24).

1.2.2. Cuenca hidrográfica

Es un área definida por pequeños cursos de agua que fluyen hasta llegar a un punto común denominado salida de la cuenca; el agua superficial o subterránea que va a través de una cuenca forma una red de canales que compone el sistema fluvial (Ibáñez et al., 2011. p. 3). Es una unidad en donde se presentan cambios físicos y biológicos junto a componentes que facilitan la sostenibilidad ecológica en el ámbito socioeconómico y cultural (Álvarez y Andrade, 2021. p.25).

Las cuencas hidrográficas permiten establecer la planificación de los recursos hídricos mediante la determinación de impactos por actividades antrópicas en la red hidrográfica, que pueden afectar tanto de forma negativa como positiva en la calidad del agua (Cotler et al., 2013. p.7).

1.2.2.1. Clasificación de las cuencas hidrográficas

De acuerdo con (Vásconez et al., 2019. p.27) las cuencas hidrográficas en el Ecuador se clasifican de dos maneras descritas a continuación:

Por el tamaño o área superficial:

- Cuenca muy pequeña: área superficial menor a 25 km².
- Cuenca pequeña: área superficial en un rango de 25 km² a 250 km².
- Cuenca intermedia pequeña: área superficial en un rango de 250 km² a 500 km².
- Cuenca intermedia grande: área superficial en un rango de 500 km² a 2500 km².
- Cuenca grande: área superficial en un rango de 2500 km² a 5000 km².
- Cuenca muy grande: área superficial mayor a 5000 km².

Por el lugar a desembocar:

- Endorreica: desembocan dentro de la cuenca ya sea en un lago o laguna.
- Exorreica: el agua desemboca en un río principal cuyo destino es el mar.
- Arreica: no desemboca en un lago, río o mar, sino que se infiltra en el suelo.

1.2.2.2. Divisiones de una cuenca hidrográfica

Para caracterizar una cuenca hidrográfica (Vásconez et al., 2019. p.27) menciona que existen las siguientes divisiones:

- Subcuenca: tiene un área de 150 km² a 1000 km², son las cuencas que drenan en un río principal, la unión de subcuencas forma la cuenca.
- Microcuenca: su área va de 15 km² a 150 km², es todo cauce que drena en una subcuenca, la unión de microcuencas forma la subcuenca.



Figura 1-1. Divisiones de una cuenca hidrográfica

Fuente: (Merino, 2018. p.22).

1.2.3. Función ecosistémica de los ríos

Los ciclos naturales presentes en los ríos y riachuelos permiten el balance hídrico, evidenciando su evolución a lo largo de millones de años a través de la gran diversidad de especies presentes en los sistemas lóticos. Las distintas funciones ecosistémicas que realizan los ríos cumplen un proceso dinámico que va desde su purificación propia, conservación de flujos de sedimento y nutrientes, conservación de hábitat para la biota, control de desbordamiento, abastecimiento de agua para los humanos, no obstante, el uso y aprovechamiento del agua de los ríos ha ocasionado la pérdida de biodiversidad acuática y un deterioro en el desarrollo de sus servicios ecosistémicos (Encalada, 2010. p.42).

1.2.4. Evaluación del recurso hídrico

Los recursos hídricos están presentes en diversas actividades antrópicas y en el mantenimiento de ecosistemas, por lo que su grado de degradación dependerá de la acción del hombre como de los fenómenos naturales, debido a la alta demanda de agua se genera alteraciones en su naturaleza, de ahí la importancia de la gestión y disposición de los recursos hídricos que permite la evaluación de la calidad y cantidad de agua disponible (UNESCO, 2006. p.12).

1.2.4.1. Calidad del agua

Es función de las características físicas, químicas y biológicas se determina el grado de aptitud del agua para sus diferentes aplicaciones de acuerdo con las normas establecidas que rigen para cada caso. La calidad del agua natural varía de un lugar a otro, con las estaciones, con el clima y con los tipos de suelos y rocas (Gali, 2001. p.1).

Según (Samaniego, 2019. p.12), la calidad de un recurso hídrico depende de la presencia de carga contaminante y del uso que se le vaya a dar, especialmente cuando su destino es el consumo humano, dado que el estándar de calidad es mayor, priorizando la salud de las personas, mediante mecanismo como la eliminación de los organismos patógenos presentes.

1.2.4.2. Afectaciones de origen antropogénico

Son aquellas actividades domésticas, agrícolas, industriales, mineras y productivas que requieren el uso del recurso hídrico y provocan alteraciones en el ecosistema debido a la descarga de aguas residuales sin previo tratamiento y al deficiente sistema de alcantarillado, desencadenando problemas socioeconómicos que afectan a la población (Maass, 2003. p.4).

El uso agrícola comprende mecanismos extractivos necesarios para solventar la demanda alimenticia por parte de los seres humanos, siendo así, la actividad agrícola que más impacto tiene es el uso de fertilizantes que tiene compuestos como los nitratos y fosfatos capaces de infiltrarse en el suelo y ser arrastrados con el agua de lluvia o de riego contaminando los cauces cercanos a estos drenajes (Maass, 2003.p.5).

El creciente desarrollo demográfico aumenta la demanda de recursos hídricos, generando cantidades exuberantes de aguas residuales domésticas sin depurar que van a desembocar generalmente en quebradas o ríos, alterando el equilibrio del medio a causa de su carga contaminante (Londoño, 2001. p.117).

Los vertidos industriales generalmente son drenados a mares o ríos, no tienen un tratamiento previo y poseen contaminantes tóxicos que pueden infiltrarse en aguas subterráneas comprometiendo la disponibilidad del recurso a las generaciones futuras (Londoño, 2001. p.117).

1.2.4.3. Afectaciones de origen natural

Son los fenómenos naturales que ocurren sin intervención del hombre, como la climatología, la geología, la actividad volcánica, etc. En el agua se encuentra de forma particular contaminantes procedentes del suelo, generalmente no superan los límites de concentración. Los procesos de erosión, transporte y sedimentación alteran la naturaleza de los cauces cercanos (Motta, 2021. p.15).

1.2.4.4. Consecuencias de las afectaciones al agua

En la preservación de las fuentes de agua, el equilibrio de las características físicas, químicas y biológicas es resultado de la dinámica estructural y funcional. Para proteger los ríos es necesario conocer su condición actual sobre todo cuando han estado expuestos por mucho tiempo a perturbaciones ocasionadas por el hombre (Samaniego, 2019. p.24). La contaminación del agua altera la biota presente en el lugar, es un factor clave en la transmisión de enfermedades generalmente bacterianas y en la acumulación de toxinas al intervenir en la red alimenticia llegando hasta el nivel del ser humano, ocasionando el desarrollo de enfermedades a corto y largo plazo (Maiquiza y Tonato, 2020. p.31).

1.2.5. Evaluación biológica de la calidad del agua

La evaluación biológica de la calidad de agua nace del estudio de la composición y estructura que permitan el desarrollo de las comunidades de organismos presentes en los cuerpos de agua, tiene estrecha relación con el uso final del agua, a mayor biodiversidad presente en el medio acuático mejor será su calidad biológica. Para evaluar y analizar la calidad biológica del agua y los cambios a nivel ambiental se hace uso sistemático de monitoreos biológicos a bioindicadores de calidad del agua que comúnmente son: bacterio plancton, fitoplancton (diatomeas), perifiton, macrófitas, macroinvertebrados y peces (Medina et al., 2018., p.3).

Los diferentes organismos vivos que habitan en medio acuáticos presentan adaptaciones y límites de tolerancia a las condiciones ambientales, mostrando sensibilidad o intolerancia a nuevas condiciones que los pueden llevar hasta su muerte, por lo cual abandonan la zona alterada dejando espacio para otro grupo de organismos que son tolerantes a dichos cambios ya que no se ven afectados (Maiquiza & Tonato., 2020, p.14).

De acuerdo con (Maiquiza y Tonato, 2020. p.15), los organismos dependen de las condiciones de su hábitat y se ven afectados por contaminantes que se hallan en los ríos de forma natural o que llegaron ahí por acción antrópica, estos degradan la calidad del agua al convertirse en ajenos al ciclo hidrológico, causando contaminación.

1.2.5.1. Bioindicadores de la calidad de agua

Las condiciones físicas, químicas y perturbaciones ambientales naturales o antropogénicas del medio acuático afecta al crecimiento y desarrollo de la flora y fauna que ahí habitan, repercutiendo así en la supervivencia y distribución de los microorganismos, por ello el estudio de la calidad de agua mediante bioindicadores es fundamental para obtener información de la integridad biológica de un sistema acuático por su rápida respuesta a los cambios de las condiciones ambientales, siendo esta una técnica ecológica que se basa en la medición de presencia o ausencia de organismos específicos (Hernández, 2015. p.20).

Los bioindicadores son característicos de un medio ambiente, ya que es capaz de medir, cuantificar la magnitud del estrés, el grado de exposición a cierto contaminante, el grado de respuesta ecológica y las características del hábitat, pueden considerarse como un complemento a los análisis físico-químicos, cosa que no sucede en un ecosistema natural por ser muy complejo y multivariado, al estar expuesto a diferentes cambios ambientales causando efectos acumulativos, que son casi imposibles de reproducir en un laboratorio (Guillén et al., 2012. p.3).

1.2.5.2. Utilidad de los bioindicadores de la calidad de agua

Los bioindicadores se pueden clasificar como indicadores de respuesta o de acumulación; mediante la utilización de organismos indicadores de prueba o de monitoreo. Los organismos indicadores o bioindicadores ofrecen información de las condiciones de un ecosistema, de factores ambientales como humedad, pH o presencia de contaminantes. Los organismos de prueba se utilizan principalmente en pruebas de laboratorio en el área de ecotoxicología; pruebas que se realizan para evaluar el nivel de riesgo de exposición (García et al., 2017. p.49).

1.2.5.3. Principales bioindicadores de la calidad de agua

En ríos y cuerpos acuáticos los bioindicadores se emplean según el ecosistema que se pretende monitorear, el uso de macroinvertebrados bentónicos, fitoplancton (diatomeas), algas, perifiton y peces son mayormente utilizados como bioindicadores de calidad de agua (García et al., 2017. p.50).

- Macrófitas

Con macrófitas nos referimos a todas las plantas acuáticas que teniendo en cuenta la acumulación de sustancias en los tejidos de las plantas se las puede considerar como bioindicadores utilizados comúnmente en el bio monitoreo., su utilización se ha ampliado por su facilidad de recolección, así como el uso diverso desde evaluar a las macrófitas como bioindicadores de contaminación por

metales pesados, estudiando la acumulación en los tejidos de las plantas, o de nutrientes como nitrógeno de Zn y Cu en los tejidos de las plantas, o de nutrientes como nitrógeno, niveles de contaminación del agua mediante la presencia de macrófitas (García et al., 2017. p.50).



Figura 2-1. Macrófitas como bioindicadores de calidad biológica

Fuente: (García et al., 2017. p.50).

- *Algas y perifiton*

Las algas como bioindicadores de calidad de agua brindan información del comportamiento de los contaminantes y de los cambios en las condiciones ambientales, las algas que son más ampliamente utilizadas en el monitoreo de calidad de agua son las diatomeas, poseen ventajas en cuanto al seguimiento de contaminantes y sedimentos en general (Guillén et al., 2012. p.51).

El perifiton refiere a las comunidades de algas, hongos o microorganismos con sus atributos como abundancia, calidad y composición de comunidades, que se adhieren a superficies sumergidas (rocas o sustratos vegetales), su utilización como bioindicador es importante en ríos de flujo rápido, ya que el establecimiento de otros tipos de organismos es casi nulo, convirtiendo a los perifiton en excelentes indicadores de la presencia de contaminantes en el agua, pues ofrecen una evaluación cualitativa de las respuestas a los cambios en los ecosistemas o sensibilidad de una comunidad a un contaminante (García et al., 2017. p.51).

Al evaluar el efecto de la contaminación agrícola y ganadera en ríos mediante diatomeas y algas bentónicas, se puede afirmar que el perifiton como bioindicador es una herramienta útil y complementaria a los análisis fisicoquímicos, que ofrece información de las condiciones de la biota de forma integrada de la calidad de agua, evaluando distintos índices de biodiversidad (Guillén et al., 2012. p.51).



Figura 3-1. Algas y perifiton presentes en ríos

Fuente: (Guillén et al., 2012. p.6).

- *Macroinvertebrados y peces*

Como bien sustenta (García et al., 2017. p.50), la utilización de peces como bioindicadores aporta con información importante del ambiente natural, cambios espaciales, estado morfológico trófico y térmico donde se encuentran, gran utilidad para medir impactos humanos y permiten también la realización de estudios ecotoxicológicos y fisiológicos. Los peces por su tamaño permiten realizar procedimientos analíticos para la obtención de patógenos relacionados con la contaminación ambiental, afecciones a la salud humana y la administración de recursos hídricos.

Los macroinvertebrados con bioindicadores ampliamente usados ya que tienen alta sensibilidad a cambios climáticos convirtiéndolos en adecuados para la evaluación de la calidad ambiental, pues tienen facilidad de recolección, fuertes respuestas ante cambios ambientales y especialmente son de evaluación rápida (Blanco et al., 2010. p.5).

Una mejora en la calidad de agua se ve reflejada en el aumento de poblaciones de macroinvertebrados bentónicos e incremento de las especies de peces; la presencia de especies de macroinvertebrados en las zonas altas de los ríos son indicadoras de buena calidad de agua, por el contrario en la parte baja del río se puede notar una disminución en la diversidad de especies por presencia de contaminantes, lo macroinvertebrados que allí se encuentran son resistentes a contaminantes (García et al., 2017. p.6).

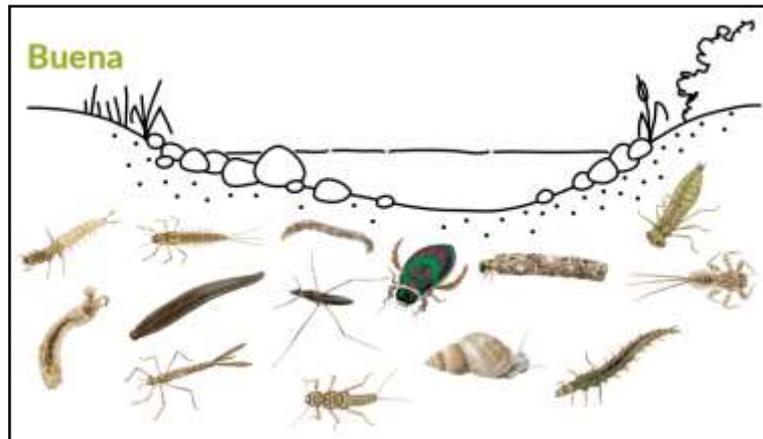


Figura 4-1. Macroinvertebrados y peces como bioindicadores

Fuente: (García et al., 2017. p.6).

1.2.5.4. Algas bénticas

Los ríos y arroyos al ser ecosistemas complejos presentan variaciones ambientales temporales, generando cambios en la sensibilidad de microorganismo como las algas bénticas o fitobentos que refiere a la comunidad de microalgas y macroalgas que habitan en el sustrato o en cualquier superficie del fondo del río, los factores hidrológicos, físicos y químicos son los que regulan la abundancia y composición de los fitobentos (Guillén et al., 2012. p.6). En estos ambientes la caracterización de la calidad de agua mediante parámetros fisicoquímicos resulta insuficientes (Esquiús et al., 2008. p.96).

1.2.5.5. Interés y uso ecosistémico de las microalgas

El uso de microalgas para sistemas de tratamiento biológicos de aguas residuales se ha vuelto cada vez más importante (respetuoso con el medio ambiente y rentable) al ser eficaz a comparación de los sistemas tradicionales de tratamiento de aguas residuales, aporta dando mejores soluciones a problemas ambientales como el calentamiento global, la expansión del agujero de ozono y el cambio climático, porque tienen la capacidad de consumir una gran cantidad de dióxido de carbono para producir oxígeno y glucosa en el proceso de fotosíntesis (Aguilar, 2020. p.30). Además, las microalgas también tienen la capacidad de utilizar la luz solar, el dióxido de carbono y diversos nutrientes para eliminar nutrientes, metales pesados, sustancias tóxicas orgánicas e inorgánicas y otras impurezas presentes en las aguas residuales (Hernández, 2015. p.7).

1.2.5.6. *Diatomeas*

Las diatomeas son algas eucariotas microscópicas y unicelulares compuestas de silicio en un 60%, que consta de un frústulo que protege a la célula como un caparazón mismo que brinda dureza y resistencia. El frústulo consta de dos tecas que coinciden entre sí, cada una formada por una valva y un cingulo creándose en la valva un sinnúmero de ornamentaciones las mismas permitiendo una identificación taxonómica, la teca superior llamada epiteca (superior) es siempre mayor y envuelve parcialmente a la hipoteca (inferior). Las diatomeas cumplen un papel fundamental en la cadena trófica ya que actúan como productores primarios para especies acuáticas tanto en agua dulce como en hábitats marinos (Merino, 2018. p.30).

Como bien sostienen (Maiquiza y Tonato, 2020. p.45), las diatomeas contribuyen a la fijación del carbono atmosférico, considera también que la actividad fotosintética de las diatomeas aporta en un 20% y 40 % de oxígeno a la tierra, por lo cual es factible utilizarlas como bioindicadores de calidad del medio en el que se encuentren.

Los cambios ambientales estacionales durante el paso de los años han determinado fluctuaciones en las comunidades de algas, mismas que dependen de factores físicos como temperatura, intensidad lumínica y parámetros fisicoquímicos del agua como dureza, TDS (sólidos totales disueltos), pH y conductividad (Merino, 2018. p.30).

Las diatomeas mediante la utilización de índices de biodiversidad e identificación de distintas especies son ampliamente utilizadas para la evaluación de la calidad de agua (García et al., 2017. p.6).

- *Morfología de las diatomeas*

Como ya se mencionó las diatomeas tienen un frústulo que se encuentra dividido en tecas una superior y otra inferior, en gran parte de las especies la valva se encuentra atravesada por un rafe que es un delgado surco, el rafe atraviesa la teca hasta llegar al protoplasto, gracias a la hendidura del rafe es posible la locomoción de las células pues bajo de este se encuentra un orgánulo con forma de cinta, formado por fibrillas que se contraen rítmicamente. el orgánulo es causante de la secreción (sustancia adhesiva que se desplaza a través de la hendidura del rafe) en los poros terminales. Perpendiculares al rafe también se encuentran las areolas que son varias series de líneas de perforaciones, la sucesión de estas en cada línea forma las estrías. Uniendo la epiteca e hipoteca se encuentra la cintura que se forma por una cantidad variable de cúpulas o anillos que envuelven la célula y que poseen el mismo contorno que ésta (Blanco et al., 2010. p.25).



Figura 5-1. Material intracelular de diatomeas

Fuente: (Blanco et al., 2010, p.25).

En la Figura 5-1 se evidencia como el protoplasto ocupa todo el espacio de la pared celular silíceas. El núcleo está en la parte central de la célula, los cloroplastos se encuentran uno o dos en las diatomeas con rafe, dentro de los cloroplastos se encuentran cuatro tipos de pigmentos diferentes: clorofila, carotenos, carotenoides y xantofila (Merino, 2018, p.7).

La reproducción de las diatomeas se da principalmente por bipartición, primero el protoplasto se divide de forma longitudinal paralelo a las caras valvulares, las dos mitades de la célula se separan formando células hijas que sintetizan la otra mitad faltante, desarrolla una nueva teca que siempre será una hipoteca por lo cual la hipoteca antigua se convierte en la epiteca de la nueva célula, todo este proceso lleva una disminución progresiva en el tamaño de las diatomeas nuevas por lo cual la nueva célula ya no es viable. Por lo cual se llega a producir una reproducción sexual mediante la formación de auxósporas, es decir se juntan dos células madre y tras una división reductora forman dos gametos. aquí las células se abren y dejan libres a los gametos mismos que al fusionarse forman cigotos. los cigotos crecen aumentando su tamaño al mismo tiempo forman las dos nuevas tecas con el tamaño máximo de la especie llamándose células iniciales (Blanco et al., 2010, pp.24–26).

- *Clasificación de las diatomeas*

Las diatomeas al encontrarse en distintos cuerpos de agua dulce o marina pueden clasificarse en bentónicas y planctónicas, las formas bético-neríticas poseen rafe presentado movimiento por lo cual viven sobre el sustrato acuático, dependen de la penetración de la luz y presencia de nutrientes disponibles, O_2 , H_2S , CH_4 , CO_2 y temperatura. Las formas béticas o perifíticas se desarrollan adheridas a piedras o rocas se denominan epilíticas, a plantas se llaman epifitas, sobre

animales se las conoce como epizoicas o a las que se desarrollan dentro de animales se las llama endozoicas (Estrella, 2021. p.57).

Tabla 1-1: Clasificación de las diatomeas epilíticas

Forma	Características	Género	Descripción
Céntricas	Células muy grandes (diámetro mayor de 35 μm)	<i>Ellerbeckia</i>	Presencia de espinas, cara valvar con costillas radiales marginales:
	Células de diámetro inferior a 35 μm	<i>Melosira</i>	Manto con ornamentación tenue, célula sin espinas
		<i>Cyclotella</i>	Estrías no prolongadas hasta el centro de la valva
		<i>Stephanodiscus</i>	Espinas visibles en la periferia de la valva
		<i>Cyclostephanos</i>	Espinas poco visibles
Arrafídeas	Ausencia de rafe en las dos valvas Presencia de costillas	<i>Diatoma</i>	Valvas isopolares, colonias en zigzag
		<i>Tabellaria</i>	Colonias en zigzag, Valvas con engrosamiento central donde se observa una rimopórtula, ápices capitados
		<i>Asterionella</i>	Colonias en forma de estrella, Valvas con forma de “hueso”, ápices capitados uno más grande que el otro
	Ausencia de costillas	<i>Fragilaria</i>	Pseudorrafe bien visible, área hialina central
<i>Fragilaria</i>		Ligero estrechamiento del área hialina central. Frústulos en visión pleural, a veces, unidos por una de sus mitades y separados en la otra	

		<i>Ulnaria</i>	Estrías de ambas márgenes enfrentadas
	Formas pequeñas, Valvas pequeñas (<16 µm) de ápices redondeados y forma elíptica	<i>Pseudostaurosira</i>	Estrías cortas, Células con forma linear y lanceolada
		<i>Staurosira</i>	Células con estrechamiento central, ápices pronunciados y rostrados
Braquirrafídeas	Rafes cortos visibles en los polos, frústulos asimétricos	<i>Eunotia</i>	Estrías visibles, con mayor densidad en los ápices de la célula y en la zona ventral de la misma
Monorradídeas	Rafe sólo presente en una de las valvas Valva plana o abombada	<i>Cocconeis</i>	Valva sin rafe con areolas alargadas y un estrecho pseudorrafe central
	Frústulos curvados en visión pleural	<i>Achananthes</i>	Estrechamiento del centro valvar, areolas claramente visibles
	Frústulos curvados en visión pleural	<i>Achnanthidium</i>	Forma valvar variable (linear, lanceolada o elíptica), ápices curvados en visión pleural:
		<i>Platessa</i>	Estrías gruesas, más separadas y paralelas en el centro de la valva
		<i>Karayevia</i>	Valva con rafe con estrías radiantes, estrías paralelas en la valva sin rafe, areolas visibles en ambas valvas
			Valva sin rafe con estrías gruesas y areolas claramente visibles, valva con rafe con alta densidad de estrías finas

Birrafídeas	Rafe presente en las dos valvas Taxones pertenecientes con anterioridad a Navícula sensu lato	<i>Eolimna</i>	Estrías paralelas, ápices apuntados
		<i>Sellaphora</i>	Estrías paralelas, ápices redondeados
		<i>Geissleria</i>	Estrías radiantes, ápices apuntados
		<i>Navícula sensu stricto</i>	Forma linear, ápices rostrados, estrías radiantes
			Forma lanceolada, estrías radiantes y curvas, fisuras centrales del rafe curvadas
			Forma linear, ápices apuntados
			Fisuras centrales del rafe curvadas
			Formas lanceoladas con ápices más o menos rostrados
		<i>Cymbella</i>	Valvas asimétricas, Fisuras terminales del rafe curvadas hacia la zona dorsal de la valva, normalmente presencia de estigmas o estigmoides ventrales
		<i>Encyonema</i>	Fisuras terminales del rafe curvadas hacia la zona ventral de la valva y fisuras centrales hacia la zona dorsal
<i>Encyonopsis</i>	Fisuras terminales del rafe casi rectas, células no curvadas dorsiventralmente o sólo ligeramente		
<i>Reimeria</i>	Margen ventral con una prominencia central sin		

			estrías, estigma situado entre las fisuras centrales del rafe
		<i>Amphora</i>	Frústulos elípticos en visión pleural mostrando el rafe en ambas valvas, margen ventral normalmente cóncavo
		<i>Gomphonema</i>	Presencia de uno o más estigmas en el área central*
		<i>Nitzschia</i>	Rafe localizado en un canal rafideano marginal con fíbulas, ápices rostrados o capitados, fíbulas sin interespacio central
		<i>Epithemia</i>	Valvas curvadas dorsiventralmente, con rafe en forma de V y costillas transapicales, células grandes (ancho superior a 13 µm, largo superior a 45 µm)
		<i>Surirella</i>	Valvas heteropolares, con ápice superior redondeado e inferior apuntado
		<i>Cymatopleura</i>	Células muy grandes con constricción central y ondulaciones transapicales

Fuente: (Blanco et al., 2010. pp.33–81).

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

1.2.5.7. Ventajas de las diatomeas como bioindicadores

De acuerdo con (Blanco et al., 2010. p.32), la utilización de diatomeas como bioindicadores de calidad de agua trae consigo varias ventajas en ecosistemas fluviales, a continuación, se detallan algunas de estas ventajas.

- *Ubicuidad*

Las diatomeas al estar presentes en todos los medios acuáticos desarrollan gran variedad de formas vitales como planctónicas, coloniales, perifíticas, etc., o que hace que tengan gran ventaja al ser empleados como bioindicadores en cualquier tipo de ecosistema acuático perteneciente al biotopo.

- *Cosmopolitanismo*

La distribución de la división de las diatomeas es mundial ya que se encuentran desde los polos hasta las zonas desérticas, en medios acuáticos de agua dulce o en mares, aguas termales, salobres que se encuentran en un amplio rango de condiciones ambientales.

- *Bajo grado de endemismo*

En todo el planeta existe gran abundancia de especies de diatomeas, que con la aplicabilidad universal de índices diatomológicos permite evaluaciones comparativas de calidad de agua entre diferentes regiones.

- *Sensibilidad*

Las diatomeas al ser productores primarios de los sistemas acuáticos son muy sensibles a los cambios que se presentan en la naturaleza química del medio, en específico de la concentración de nitratos y fosfatos como nutrientes, así como la presencia de distintos contaminantes. Las diatomeas reaccionan de forma altamente específica a las distintas alteraciones y perturbaciones ambientales ya que al estar en constante contacto con el agua reaccionan con los ecosistemas en los que se desarrollan.

- *Diversidad*

La existencia de miles de especies, subespecies, variedades y formas de las diatomeas con sus propios rangos de tolerancia a los cambios ambientales, surgen grandes inventarios que con la ayuda de índices diatomológicos tienen en cuenta un gran número de taxones, siendo superiores a otros índices bióticos ya que tienen gran capacidad de diagnóstico de calidad de agua.

- *Precisión estadística*

Para una mayor fiabilidad y precisión de métodos estadísticos en la evaluación de diatomeas, la estimación de la composición de las poblaciones debe basarse en la identificación de un mínimo de 400 individuos por muestra, haciendo que el error cometido sea inferior al 10%.

- *Ciclos vitales*

Los ciclos vitales de las diatomeas al ser organismos unicelulares son cortos y homogéneos, se reproducen con rapidez en respuesta inmediata a cambios ambientales. La composición de la comunidad de diatomeas integra la calidad biológica durante periodos de tiempo a comparación de los análisis fisicoquímicos que solo reflejan condiciones puntuales del ecosistema.

- *Facilidad de muestreo*

Las diatomeas son de fácil muestreo en cualquier tramo fluvial, están presentes en varios sustratos del medio acuático, los materiales de recolección son mínimos y sobre todo el muestreo es de corto tiempo.

- *Facilidad de tratamiento, procesado y almacenaje*

El tratamiento de diatomeas es sencillo y barato, la obtención de preparaciones montadas ocupa un espacio mínimo que pueden ser almacenadas sin alteraciones infinitivamente sin tratamientos de conservación de muestras, lo que permite acumular muestras y crear ficotecas para posteriores estudios ambientales y biológicos, proporcionando un fácil intercambio entre laboratorios de análisis, control y seguimiento de calidad de agua.

- *Estudios temporales*

Las diatomeas a comparación con otros organismos son inalterables en el tiempo pueden recolectarse vivas o en estado fósil de los sustratos de rocas, sistemas fluviales y lacustres, permitiendo conocer el estado del agua pasado, la elaboración de modelos cuantitativos de transferencia para la reconstrucción ambiental a escala geológica, ya que son los únicos bioindicadores capaces de ser recuperados de cauces temporales y secos de cuencas hidrográficas.

1.2.6. Aplicabilidad de los índices ecológicos en estudios de biodiversidad

Los índices ecológicos son el conjunto de diversos métodos para cuantificar la diversidad de especies. Su ventaja es resumir toda la información a un solo dato para relacionar de forma estadística a las distintas especies de un hábitat a través del tiempo. Para la descripción de la diversidad hay que tener en cuenta que los índices guardan relación y son complementarios, tal es el caso que si se toma un índice basado en la estructura se lo debe complementar con un índice de riqueza (Moreno, 2001. p.26).

1.2.6.1. Índice de Shannon-Wiener

También conocido como Shannon-Weaver, este índice evidencia la variedad de una comunidad con base en dos componentes: el número de especies y su abundancia relativa, en su definición se lo cataloga como una medida de incertidumbre sobre la identidad de un elemento tomado al azar, esta incertidumbre incrementa de acuerdo con el número de categorías o riqueza y decrece cuando todos o casi todos los elementos corresponden a la misma categoría.

La ventaja de aplicar este índice es que el tamaño de la muestra afecta levemente a la medición de diversidad de especies, a su vez logra capturar una cantidad de información grande en una sola expresión (Pla, 2006. p.2).

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde:

H' : diversidad estimada

p_i : $\frac{n_i}{N}$: número de individuos de la especie / número total de individuos

1.2.6.2. Índice de Margalef

Es un indicador sencillo de la diversidad dado que provee de datos de riqueza específica. Mide o relaciona la distribución de individuos con la cantidad total de especies por área de muestra. La manera idónea de evaluar la riqueza específica es tener un inventario que nos facilite información sobre las especies totales (Valdez et al., 2018. p.1677).

$$D_{mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

Donde:

S: número de especies

N: número total de individuos

1.2.6.3. Índice de sensibilidad específica a la polución (IPS)

La sensibilidad es la tolerancia de toda la comunidad de diatomeas y la amplitud ecológica es la facultad de una especie de desarrollarse en distintos hábitats por medio de su adaptación y tolerancia a la contaminación (Estrella, 2021. p.20).

El valor de la sensibilidad (S) del IPS está entre 1 y 5; en cauces contaminados predominan especies con baja sensibilidad a la contaminación teniendo un valor de sensibilidad de 1, por otro lado, las especies propias de cauces limpios tiene un valor de sensibilidad de 5. La amplitud ecológica o tolerancia (V) se encuentra entre 1 y 3. En aguas con características específicas habitan especies con tolerancia estrecha que las hace excelentes bioindicadoras de la calidad del cauce, con un valor de 3, por otra parte, las especies que no necesitan parámetros específicos se desarrollan en ambientes distintos y son pésimas bioindicadoras de la calidad de agua, tienen un valor de 1 (Blanco et al., 2010. p.30).

Tabla 2-1: Valores de amplitud ecológica o tolerancia

Amplitud ecológica (V)	Baja	Media	Alta
	3	2	1

Fuente: (Estrella, 2021. p.20)

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

Tabla 3-1: Valores de sensibilidad

Sensibilidad (S)	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
	1	2	3	4	5

Fuente: (Estrella, 2021. p.20)

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

1.2.7. Dinámica de nutrientes en agua dulce

Los nutrientes naturales presentes en los sistemas acuáticos son el nitrógeno y el fósforo, estos ayudan al crecimiento de algas y plantas acuáticas, que sirven como alimento para distintos organismos pequeños, peces y moluscos. A pesar de eso, un incremento en el agua de las concentraciones de nitrógeno y fósforo a causa de actividades antrópicas o causas naturales puede llegar a contaminarla. La contaminación por nutrientes afecta a muchos ríos, arroyos, lagos y aguas marinas durante varias décadas, causando diversos problemas ambientales, así como problemas en la salud humana (Segura-García et al., 2016. p.2).

Los nutrientes son compuestos fundamentales en el desarrollo de organismos que se encuentran en el ambiente de forma natural, sin embargo, la intervención antrópica ha generado un incremento en las concentraciones (López y Troccoli, 2017. p.2). Los fosfatos llegan al agua como

resultado de procesos de lixiviación de rocas con abundante fósforo y erosión del suelo, mientras que los nitratos se producen de la descomposición de materia orgánica como el excremento de animales y plantas. A los sistemas altos en nutrientes se los conoce como oligotróficos, por el contrario, a los sistemas bajos en nutrientes se los denomina eutróficos (Piccardo, 2020. p.25).

1.2.7.1. Ciclo del nitrógeno en sistemas de agua dulce

El nitrógeno se encuentra de forma más abundante en estado gaseoso (N_2), sin embargo, es escaso en el suelo y en sedimentos de los sistemas lacustres, además forma parte de las biomoléculas que conforman a los seres vivos. En cuerpos acuáticos la presencia de nitrógeno se debe principalmente a la fijación de nitrógeno atmosférico, y por parte de bacterias simbióticas se aprecia una transformación a nitrógeno orgánico, mismo que es absorbido por plantas acuáticas que conforman la cadena trófica. Los organismos muertos y sus desechos generan compuestos nitrogenados que se transforman en amoníaco, luego a nitritos y finalmente a nitratos, los cuales son arrastrados a los sistemas acuáticos. Por último las bacterias desnitrificantes son capaces de reducir los nitratos a nitrógeno gaseoso (Rodó, 2016. p.49). El producto de las distintas actividades agrícolas, forestales y agropecuarias aporta también a que el nitrógeno pueda encontrarse en los cuerpos hídricos (Eugercios et al., 2017. p.37).

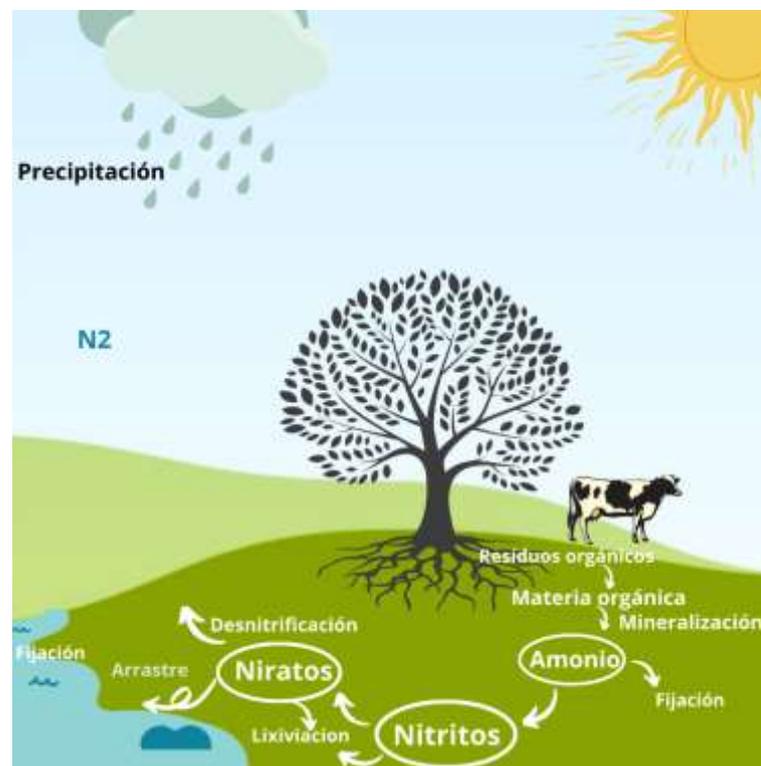


Figura 6-1. Ciclo biogeoquímico del nitrógeno

Fuente: (Rodó, 2016. p.50).

1.2.7.2. Ciclo del fósforo en sistemas de agua dulce

El fósforo puede encontrarse en plantas en proporción del 0,2% y en animales en proporciones del 0,1% de forma natural, puede estar disponible por la mineralización de las rocas o de emisiones de productos volcánicos, siendo fácilmente asimilado en esta forma por las plantas, así como también puede ser arrastrado hacia los sedimentos de los cuerpos hídricos (Larenas et al., 2018. p.20). El fósforo que se encuentra en los sedimentos acuáticos es absorbido por el fitoplancton de esta manera formando parte de la cadena trófica e interactuando con especies acuáticas y aves. Siguiendo con el ciclo las aves devuelven una porción del fósforo al suelo mediante sus heces, el cual se filtra y es arrastrado nuevamente a los cuerpos hídricos.

El uso excesivo de productos químicos para enmiendas orgánicas en las distintas actividades agrícolas es considerado como principal fuente de contaminación antrópica por nutrientes en los cuerpos hídricos (Merino, 2018. p.7).



Figura 7-1. Ciclo biogeoquímico del fósforo

Fuente: (Merino, 2018. p.7).

1.3. Marco Conceptual

1.3.1. Recurso hídrico

De acuerdo con la UNESCO define al recurso hídrico como los recursos potencialmente disponibles, en calidades y cantidades suficientes en un periodo de tiempo y lugar determinado

con el fin de satisfacer una demanda identificable. Los recursos hídricos están constituidos por recursos naturales renovables más importantes para la vida humana. Una correcta gestión de los estos ha iniciado un sinnúmero de investigaciones de las distintas áreas con la necesidad de preservar y conservar este recuso (Hernández, 2015. p.21).

1.3.2. Polución

Es la contaminación ambiental, específicamente del aire o del agua que se genera a partir de los residuos procedentes de las actividades antrópicas y se manifiesta de forma intensa y severa ocasionando la alteración del equilibrio de un ecosistema (Hernández, 2015. p.23).

1.3.3. Comunidad biológica

También conocida como biocenosis, es el conjunto de poblaciones de diferentes especies que viven y se relacionan en una determinada zona, no obstante, debe tenerse en cuenta las interacciones ecológicas, las características fisicoquímicas y climatológicas. La resiliencia y facultad de adaptación de las especies a los cambios ambientales permiten el equilibrio ecológico y el progreso del ecosistema (Jost y González, 2012. p.5).

1.3.4. Diversidad

La diversidad es la variación y abundancia de especies vegetales, animales, hongos y microorganismos que habitan en una región determinada, teniendo en cuenta distintos niveles de organización biológica, su variabilidad genética, las condiciones de los ecosistemas de las que forman parte y paisajes donde se ubican dichos ecosistemas; incluyen también procesos ecológicos y evolutivos en distintos niveles que se dan desde los genes, especies, ecosistemas y paisajes (Blanco, 2007. p.141).

1.3.5. Abundancia

La abundancia es la representación del valor de significancia de las especies tomando en cuenta el número total de especies de la muestra, en los índices ecológicos es aplicada para encontrar cambios en las poblaciones a lo largo del tiempo y en distintos lugares (Moreno, 2001. p.41).

1.3.6. Tolerancia

La tolerancia sugiere la capacidad de un individuo de aceptar y resistir niveles de factores poco comunes, el zoólogo Victor Shelford estableció la “Ley de la Tolerancia” en la que menciona que cada organismo tiene límites de tolerancia que condicionan su desarrollo, distribución y reproducción (Soler et al., 2012. p.4).

1.3.7. Macrófitas

Las macrófitas son plantas acuáticas son visibles a simple vista, de gran importancia en cuanto al control de exceso de nutrientes en la eutrofización del agua (Hernández, 2015. p.7).

1.3.8. Perifiton

El perifiton se encuentra en ecosistemas de agua dulce, se refiere a la comunidad compuesta por algas principalmente, bacterias, hongos e invertebrados acuáticos, es muy importante ya que sirve para controlar y monitorear la concentración de nutrientes en el agua por lo cual se considera como indicador biológico (Aguilar, 2020. p.23).

1.3.9. Nutrientes del agua

Los nitratos son moléculas que están formados por un oxígeno y nitrógeno, son considerados como sales solubles y se forman a partir de los nitritos. Es considerado como un nutriente indispensable en el proceso de crecimiento y desarrollo de distintos organismos acuáticos, sin embargo al incrementar su concentración son causantes de la proliferación de algas y otras plantas que se posicionan en la superficie del agua, incrementando de esta forma la demanda de oxígeno disuelto, por lo que se estima que son los contaminantes con mayor importancia de los medios acuáticos, las diferentes actividades agrícolas hacen que este nutriente lleguen a las masas de agua por contaminación difusa (Larenas et al., 2018. p.18). Los fosfatos con sales poco solubles de fácil precipitación en el caso del fosfato de calcio que contribuye a la alcalinidad de agua, pudiéndose decir que en un litro de agua no existe más de un miligramo de fosfato esto para aguas de buena calidad, que por lo contrario no sucede en casos de contaminación por actividades agrícolas más específicamente por aplicación de fertilizantes fosfatados en cultivos cercanos a cuerpos hídricos (Maiquiza y Tonato, 2020. p.23).

1.4. Marco Legal

1.4.1. Constitución de la República del Ecuador

La constitución de la República del Ecuador del 2008 menciona artículos que se ajustan a los derechos del humano al agua, reconociendo medidas de conservación de los ecosistemas, biodiversidad y fuentes hídricas, una correcta gestión de recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos garantizará un manejo del agua en un enfoque ecosistémicos y sostenible, dicha gestión estará a cargo de la autoridad ambiental quien será responsable de su planificación, regulación y control.

1.4.2. Código Orgánico Ambiental

Las áreas naturales del Sistemas Nacional de Áreas Protegidas se ajustan a los objetivos del Estado con enfoque integral social, económico y ambiental para la conservación y uso sostenible del recurso hídrico en coordinación con la Autoridad Única del Agua, con el fin de proteger y mantener una dinámica hidrológica en las cuencas hidrográficas y cuerpos de agua. El estado garantizara el uso adecuado de áreas de protección hídrica en un régimen de protección respetando los usos espirituales de pueblos y nacionalidades.

1.4.3. Convención de Ramsar

La convención Ramsar en el Ecuador, compromete al desarrollo de estrategias para conservar los humedales como:

- Fomentar un panorama compartido respecto a los humedales altoandinos por medio de estrategias de fortalecimiento y coordinación de las diferentes capacidades regionales.
- Complementar el conocimiento científico y técnico de los humedales de tal forma que permita la protección, conservación y su uso sostenible.
- Impulsar el manejo y conservación de los recursos naturales, así como los bienes y servicios derivados de los humedales.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación según el nivel de profundización del objetivo de estudio esta investigación es descriptiva, puesto que se pretende asociar la concentración de nutrientes con la diversidad y abundancia de las diatomeas epilíticas. De acuerdo con la manipulación de variables el diseño de la investigación es no experimental y en base a la temporalidad de los parámetros es transversal.

2.2. Diseño de la investigación

2.2.1. Población de estudio

La población de estudio abarca cuatro tramos de los ríos Quillopaccha y Chagrasacha ubicados en el Sistema Lacustre Pisayambo perteneciente al Parque Nacional Llanganates.

2.2.2. Tamaño de muestra

Para la recolección de muestras de diatomeas y muestras compuestas de agua se estableció un tamaño muestral comprendido por cuatro unidades experimentales ubicadas en los ríos Quillopaccha y Chagrasacha.

2.2.3. Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo de los tramos de los ríos objeto de estudio fueron distribuidos de forma sistemática; tres puntos para el río Chagrasacha y un punto para el río Quillopaccha. Las coordenadas de los puntos se encuentran detallados en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Coordenadas de los puntos de muestreo

Puntos de Muestreo			
Punto	Código	Coordenadas Geográficas	
		Latitud	Longitud
1	T1	9°, 52', 59.46" N	78°, 54', 32.15" E
2	T2	9°, 52', 56.10" N	78°, 54', 50.40" E
3	T3	9°, 52', 59.14" N	78°, 44', 45.21" E
4	T4	9°, 53', 04.48 " N	78°, 42', 02.84" E

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

2.2.4. Muestreo

Para la recolección de muestras de diatomeas y agua se realizó un muestreo no probabilístico de manera criterial, como lo indica el Gráfico 1-2.

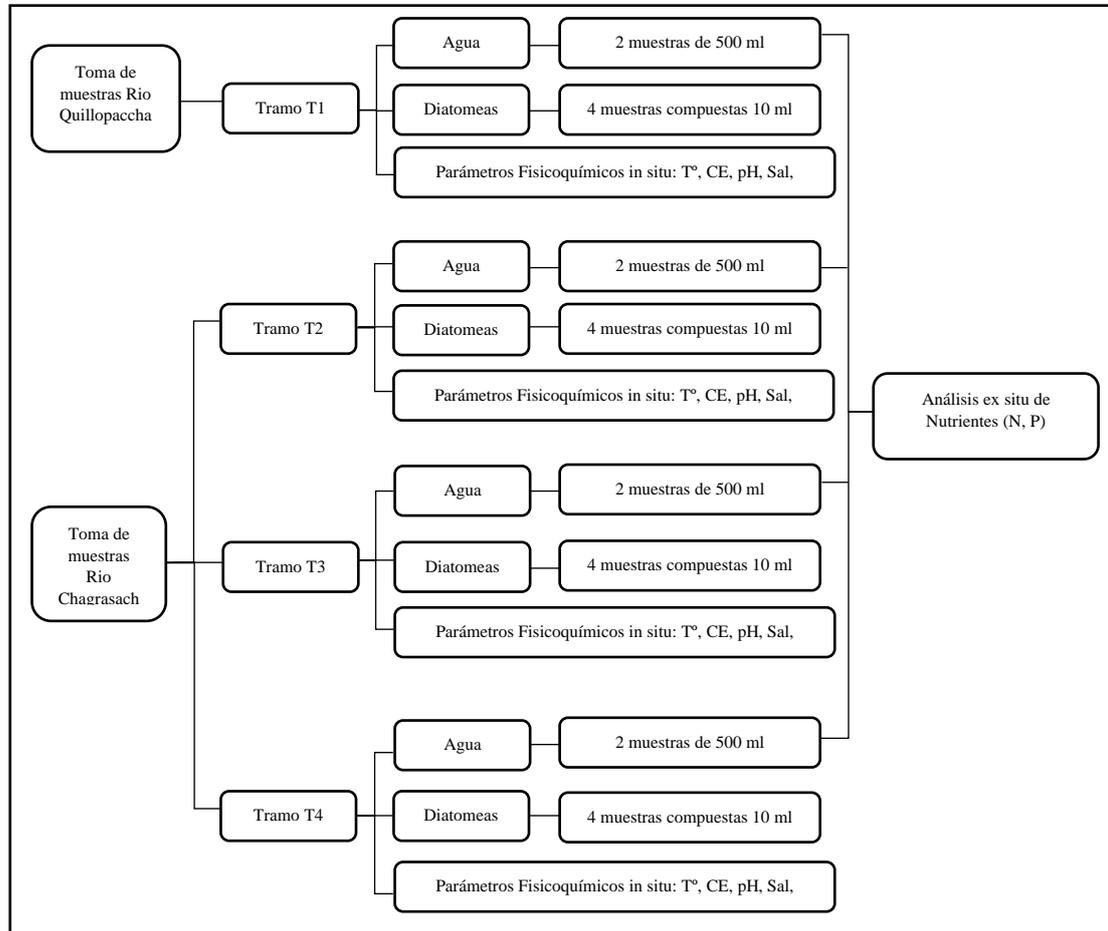


Gráfico 1-2. Diseño de muestreo en el área de estudio

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

2.3. Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la región interandina, en el Parque Nacional Llanganates con jurisprudencia territorial del Cantón Píllaro, Provincia de Tungurahua, como se indica en la Figura 8-2.

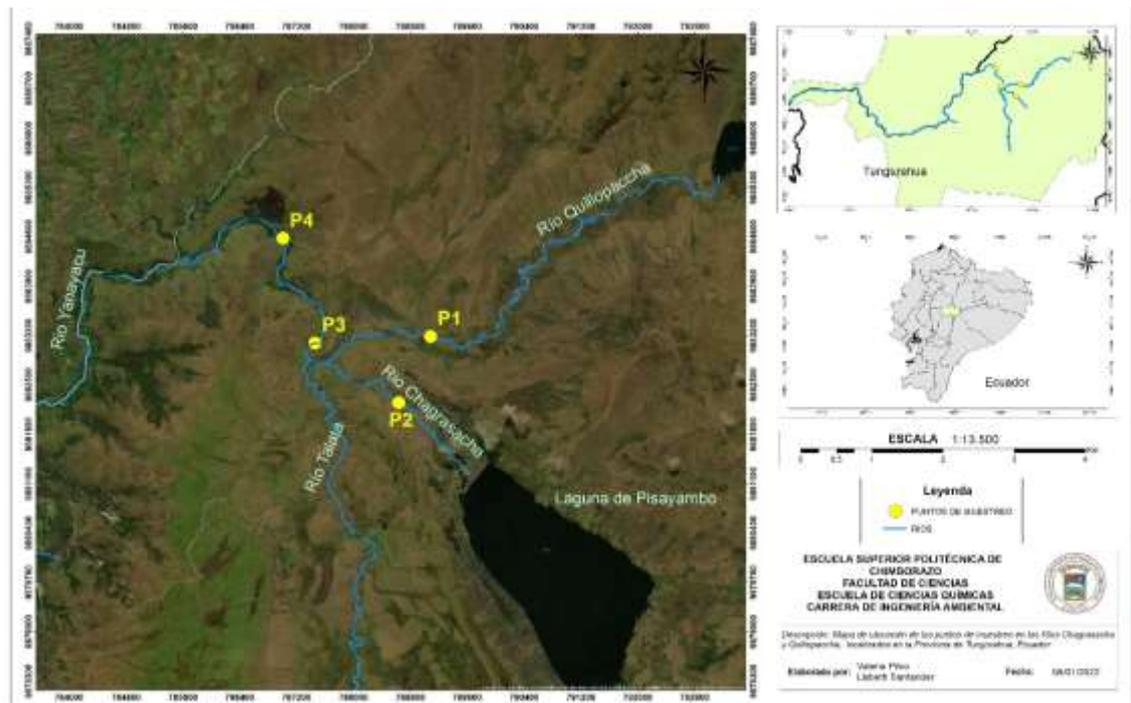


Figura 8-2. Delimitación geográfica del área de estudio

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

2.3.1. Descripción de la zona

El presente proyecto de investigación se desarrolló en el Sistema Lacustre Pisayambo ubicado en el Complejo Llanganati, mismo que se encuentra en la sierra centro norte del Ecuador entre las provincias de Tungurahua y Cotopaxi, los tramos de los Ríos Quillopaccha y Chagrasacha seleccionados para el estudio están ubicados en el Cantón Píllaro, con una altura que va desde los 2960 hasta los 4571 m.s.n.m., si bien la altura referencial fue de 3500 m.s.n.m. que es el rango de los ecosistemas altoandinos en el Ecuador (Ministerio del Ambiente, 2013. p.8).

Según el Ministerio de Ambiente y los datos proporcionados por la estación meteorológica Rumipamba de las Rosas se establecen los siguientes criterios biofísicos de la zona de estudio (Ministerio del Ambiente, 2013. p.8):

- **Geomorfología:** Acciones tectónicas y volcanismo andino, bosques.
- **Clima:** Zona tropical ecuatoriana.
- **Zona occidental:** Periodo invernal de la sierra octubre a mayo.
- **Temperatura medio mensual:** Mín. 7,4 °C y Máx. 14,8 °C
- **Temperatura media anual:** Oscila entre los 12°C y 18°C.
- **Precipitación anual:** Promedio superior a los 200 mm, pero inferior a los 500 mm.
- **Humedad relativa:** Multianual en la zona es de 74,3%.

2.3.1.1. Tramo uno

Es una zona que se encuentra a 3550 m.s.n.m., con una predominancia de páramo herbáceo, con características del suelo del río limo-arenoso, presencia de vegetación arbustiva en las orillas y material rocoso no visible a simple vista.



Figura 9-2. Río Quillopaccha

Fuente: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

2.3.1.2. Tramo dos

Es una zona que se encuentra a 3490 m.s.n.m., con una predominancia de páramo herbáceo, con características del suelo del río limo-arenoso y presencia de vegetación arbustiva y material rocoso notorio.



Figura 10-2. Río Chagrasacha tramo dos

Fuente: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

2.3.1.3. Tramo tres

Es una zona que se encuentra a 3440 m.s.n.m., con una predominancia de páramo de almohadillas, presencia de vegetación arbustiva y arbórea especialmente de *Polylepis*, con características del suelo del río limo-arenoso siendo una zona con material rocoso no visible.



Figura 11-2. Río Chagrasacha tramo tres

Fuente: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

2.3.1.4. Tramo cuatro

Es una zona que se encuentra a 3410 m.s.n.m., con una predominancia de páramo de frailejones, presencia de vegetación arbustiva, con características del suelo del río limo-arenoso existiendo material rocoso notorio.



Figura 12-2. Río Chagrasacha tramo cuatro

Fuente: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

2.4. Recolección y conservación de muestras de diatomeas

La metodología empleada para la recolección y conservación de las muestras se basó en la metodología del investigador Lobo, (2016. p.16), misma que se detalla a continuación:

- En un tramo de 10 m se recolectó de 4 a 5 rocas de preferencia planas y con un diámetro de 20 cm aproximadamente, a una profundidad de entre 30 y 50 cm de las zonas del río con presencia de luz y de flujo lento.
- Las rocas recolectadas se lavaron ligeramente para retirar las algas y los macroinvertebrados presentes, con la ayuda de un pincel se recogió 10 ml de muestra en tubos eppendorf a la cual se añadió 10 gotas de alcohol para preservarlas.
- En total se recolectó 4 muestras compuestas por todos los puntos de muestreo.

2.5. Recolección y conservación de muestras de agua

En cada punto de muestreo, a los 0 m y a los 10 m se recolectó dos muestras compuestas de agua de 500 ml en botellas ámbar de vidrio, tal como lo indica la Norma INEN (NTE INEN 2169, 2013), en la etiqueta se registró el código de la muestra, el nombre de la persona que muestreo, la fecha y la hora. En cuanto al manejo, transporte y conservación, se utilizó una caja fría para mantener la temperatura entre 2 °C y 5 °C hasta llegar al laboratorio y realizar los análisis correspondientes.

2.6. Análisis de parámetros fisicoquímicos

Se registró los parámetros fisicoquímicos de forma *in situ* con la ayuda del multiparámetro impermeable Apera Premium PC-60, el cual mide pH, °T, TDS, conductividad eléctrica y salinidad. En un envase se colocó la sonda del multiparámetro hasta que los valores se estabilicen y registrar los resultados.

Tabla 5-2: Parámetros analizados in situ

Parámetro	Abreviatura	Unidad
Temperatura	T	°C
Potencial de hidrógeno	pH	-
Conductividad eléctrica	CE	μS/cm
Salinidad	-	ppm
Sólidos totales disueltos	STD	ppm

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

2.7. Extracción de diatomeas

La metodología empleada para la extracción de diatomeas de las muestras fue la de (AENOR, 2004. p.10), que se detalla a continuación con una breve modificación:

- Las muestras se tamizaron para eliminar el exceso de materia orgánica.
- Se centrifugaron las muestras a 4000 rpm por 3 min para eliminar el alcohol.
- Se colocó 10 ml de agua destilada para lavar la muestra y se centrifugo por 3 min a 1500 rpm eliminando el exceso de agua sin perder la muestra del fondo del tubo, este proceso se repitió 3 veces.
- Después de la tercera centrifugada se eliminó el exceso de agua destilada de la muestra, se colocó en tubos de ensayo añadiendo 1 ml de agua destilada, 4 ml de peróxido de hidrógeno con concentración del 10% para obtener una relación de 1:4.
- La muestra se llevó a baño maría en arena a una temperatura de 90°C durante 120 min y luego se dejó enfriar.
- Posteriormente la muestra se centrifugó por 2 min a 2500 rpm, se quitó el exceso y se colocó 10 ml de agua destilada se centrifugó nuevamente a 1500 rpm durante 3 min, se eliminó 5 ml del agua destilada son remover el fondo para obtener así la muestra lavada y lista para analizar.

2.8. Análisis de diatomeas

Para la identificación y análisis de diatomeas en el microscopio se empleó la metodología del investigador Lobo, (2016. p.17).

- En un cubreobjetos cuadrado de 4x4 se colocó 0,2 ml de muestra, la cual se fijó en una placa calefactora a 60°C.
- Para una observación global de la muestra se utilizó el microscopio con el lente a 10X, observando formas geométricas (diatomeas).
- Para la identificación y recuento de diatomeas se utilizó el microscopio con lentes de 40X y 100X y se obtuvieron resultados por cuadrículas.
- En la clasificación de diatomeas se consideró únicamente el género y la especie.
- Se realizó una regla de proporcionalidad para definir el número de diatomeas total en los 10 ml de la muestra.

2.9. Determinación de nutrientes

Las muestras de agua tomadas fueron analizadas mediante el fotómetro multiparámetro de sobremesa C-200 marca HANNA.

Tabla 6-2: Métodos de ensayo empleados en la determinación de nutrientes

Parámetro	Método de ensayo
Nitratos	Standard Methods No. 4500-NO ₃ ⁻ E. Método de reducción de cadmio
Fosfatos	Standard Methods No. 4500-PE. Método colorimétrico

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

2.9.1. Nitratos

- Se programó el fotómetro para el análisis de nitratos (NO₃⁻).
- Se preparó el blanco colocando 6 ml de agua destilada.
- Se enceró el fotómetro con la celda que contenía el blanco.
- Se colocó con una pipeta 6 ml de la muestra en una cubeta, se agregó un sobre de *Nitrate HI93728*.
- Se agitó la solución por 10 segundos de arriba hacia abajo y por 50 segundo invirtiendo la cubeta.
- Se colocó la muestra dentro el fotómetro para que la solución repose por 4 minutos y 30 segundos.
- Se registró los resultados en mg/L.

2.9.2. Fosfatos

- Se programó el fotómetro para el análisis de fosfatos (PO₄⁻³).
- Se preparó el blanco colocando 10 ml de agua destilada.
- Se enceró el fotómetro con la celda que contenía el blanco.
- Se colocó con una pipeta 10 ml de la muestra en una cubeta, se agregó un sobre de *Phosphate LR HI93713*.
- Se agitó la solución suavemente por 2 minutos hasta que se disuelva el polvo.
- Se colocó la muestra dentro el fotómetro para que la solución repose por 2 minutos.
- Se registró los resultados en mg/L.

2.10. Índices ecológicos

En cuanto a la cuantificación y comparación de diversidad de diatomeas epilíticas de la zona de estudio se utilizaron índices de diversidad como: Índice de Margalef e Índice de Shannon-Wiener mismos que fueron calculados en el software estadístico Past y valorados de acuerdo con las Tablas 7-2 y 8-2.

Tabla 7-2: Rangos de diversidad según Shannon-Wiener

Rangos	Diversidad
< 2	Baja diversidad
2 a 3	Media diversidad
> 3	Alta diversidad

Fuente: (Moreno, 2001. p.46).

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

Tabla 8-2: Rangos de diversidad según Margalef

Rangos	Diversidad
< 2	Baja diversidad
2 a 5	Media diversidad
> 5	Alta diversidad

Fuente: (Moreno, 2001. p.29).

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

2.11. Análisis estadístico

Para el análisis de las muestras se realizó un estadístico descriptivo con el fin de ordenar la información y encontrar los valores significativos.

Se aplicó el método estadístico multivariado análisis de correspondencia canónica (ACC) para establecer la influencia de los nutrientes en la diversidad de las diatomeas epilíticas.

2.12. Evaluación del IPS

La identificación taxonómica de diatomeas epilíticas se realizó a nivel de especie, para la cuantificación se consideró la morfología de estos organismos con base en la Guía de Diatomeas de la Cuenca del Duero (Blanco et al., 2010. p.30).

Con los valores obtenidos de los valores de productos de abundancias relativas por cada especie, con los valores de indicación y tolerancia se hizo una sumatoria la cual se dividió por el sumatorio de las abundancias de las especies que es multiplicado por los valores de tolerancia. Para

determinar el estado ecológico de la masa de agua se obtuvieron puntuaciones del IPS ponderadas en el coeficiente de la fórmula, y los valores establecidos para el indicador IPS de cada punto muestreado.

$$IPS = 4,75 * \frac{\sum A_j * S_j * V_j}{\sum A_j * V_j} - 3,75$$

Donde:

A_j: abundancia relativa de la especie j

S_j: valor de sensibilidad de la especie j

V_j: valor de tolerancia de la especie j

Se obtiene mediante la media de la sensibilidad de las especies cotejándolas contra la amplitud ecológica y la abundancia relativa, mediante su escala que va de 1 a 20 se realiza la evaluación de la calidad del agua (Blanco et al., 2010. p.29).

Tabla 9-2: Valores del IPS

Valor	Calidad del Agua
17-20	Muy buena
13-17	Buena
9-13	Moderada
5-9	Deficiente
1-5	Mala

Fuente: (Blanco et al., 2010. p.30).

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

Los valores de sensibilidad (S) y amplitud ecológica o tolerancia (V) de cada taxón se obtuvieron de la Norma AFNOR NT 90-350 detallada en la Tabla 10-2.

Tabla 10-2: Valores de sensibilidad y tolerancia para el cálculo del IPS

Especie	S	V
<i>Achnanthydium rivulare</i>	5	1
<i>Amphora indistincta</i>	3	2
<i>Amphora pediculus</i>	3	1
<i>Aulacoseira granulata</i>	4,8	1
<i>Aulacoseira subarctica</i>	4,8	1
<i>Cocconeis lineata</i>	4	1
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	2	1
<i>Cymbella excisiformis</i>	4	3
<i>Cymbella tumida</i>	3	3
<i>Denticula tenuis</i>	5	3
<i>Didymosphenia geminata</i>	5	2
<i>Encyonema minutum</i>	4	2
<i>Encyonopsis subminuta</i>	3	1
<i>Epithemia adnata</i>	4	3
<i>Epithemia turgida</i>	5	4
<i>Eunotia minor</i>	4,6	1
<i>Fragilaria arcus</i>	4	1
<i>Fragilaria rumpens</i>	4	2
<i>Gomphonema acuminatum</i>	4	2
<i>Gomphonema minusculum</i>	5	2
<i>Gomphonema rhombicum</i>	4,2	1
<i>Gomphonema truncatum</i>	4	1
<i>Gomphosphenia lingulatiformis</i>	2	1
<i>Halamphora veneta</i>	4	2
<i>Hippodonta capitata</i>	3	1
<i>Melosira arenaria</i>	3	1
<i>Melosira varians</i>	3	1
<i>Navicula antonii</i>	4	1
<i>Navicula simulata</i>	3,6	1
<i>Nitzschia filiformis</i>	2,8	1
<i>Nitzschia inconspicua</i>	2,8	1
<i>Nitzschia linearis</i>	3	2
<i>Nitzschia media</i>	4	3
<i>Nitzschia recta</i>	1	3
<i>Nitzschia vermicularis</i>	1	3
<i>Nitzschia incognita</i>	2	2
<i>Reimeria sinuata</i>	5	1
<i>Rhopalodia gibba</i>	5	3
<i>Stauroneis acuta</i>	5	2
<i>Tabellaria flocculosa</i>	5	1

Fuente: Norma AFNOR NT 90-350.

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de parámetros fisicoquímicos y nutrientes

Según (Chasiqiza y Cola, 2017. p.48), los parámetros fisicoquímicos inciden en la dinámica de los ecosistemas acuáticos, dado que tienen la posibilidad de alterar la composición física y química por acción de factores ambientales o antrópicos; por otra parte los nutrientes nos brindan información sobre el estado trófico del agua, aunque estos elementos se encuentran de forma natural el incremento de su concentración resulta perjudicial (Cervantes et al., 2017. p.5), por lo cual para la presente investigación los parámetros de interés fueron los siguientes: potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, temperatura, nitratos y fosfatos.

Tabla 11-3: Estadística descriptiva de los parámetros fisicoquímicos y nutrientes

Parámetros							
Estadística	pH	Temperatura	CE	TDS	Salinidad	Nitratos	Fosfatos
P1	6,28	10,5	73,5	35,5	35,5	5,316	0,445
P2	6,17	10,7	168,5	83,5	84,5	4,873	0,475
P3	6,66	10,9	128	63,5	63,5	9,746	1,345
P4	6,18	11,4	144,5	72	72	6,202	0,19
Promedio	6,32	10,88	128,63	63,63	63,88	6,53	0,61
Mediana	6,23	10,80	136,25	-	67,75	5,76	0,46
Desviación Estándar	0,23	0,39	40,34	20,46	20,79	2,21	0,50
Coefficiente de Variación	0,64%	3,55%	31,36%	32,16%	32,55%	33,84%	82,12%
Error Estándar	0,12	0,19	20,17	10,23	10,40	1,11	0,25
Mínimo	6,17	10,50	73,50	35,50	35,50	4,87	0,19
Máximo	6,66	11,40	168,50	83,50	84,50	9,75	1,35
Rango	0,49	0,90	95,00	48,00	49,00	4,88	1,16
Sesgo Estandarizado	1,42	0,82	-0,83	-0,88	-0,82	1,34	1,31
Curtosis Estandarizada	1,21	0,40	0,57	0,59	0,56	1,10	1,22

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

3.1.1. pH

La media del pH de los puntos de muestreo fue de $6,32 \pm 0,12$ lo que corresponde a un pH ligeramente ácido, característico de aguas contaminadas donde existe desarrollo de la actividad biológica (Vásquez y Rojas, 2016. p.20). El coeficiente de variación es de 0,64% relativamente bajo denotando una mejor distribución y mayor confiabilidad. La desviación estándar fue de 0,23 debido a que el rango entre los valores máximo y mínimo es de 0,49, lo que refleja una dispersión de datos baja. El sesgo es mayor a cero lo que indica una asimetría positiva, en donde la mayor frecuencia de datos se da en valores menores que la media, lo que guarda relación con la curtosis que indica un apuntamiento alto debido a la cantidad de datos cercanos a la media. En el punto 3 de la zona de estudio se registró un pH alto debido al tipo de suelo limo-arcilloso.

3.1.2. Temperatura

La media de los datos fue de $10,88 \pm 0,19$, registrando un aumento de la temperatura conforme descende la altura, concordando con lo mencionado por (Escandón y Cáceres, 2022. p.66). El coeficiente de variación mantiene una relación con el pH en cuanto a su valor siendo de 3,55% catalogado como bajo. Por su baja dispersión de datos la desviación estándar es 0,39 y su rango es 0,90. Los resultados del sesgo y la curtosis son similares a los obtenidos para el parámetro anterior.

3.1.3. Conductividad eléctrica

Debido a la heterogeneidad de los datos se consideró el valor de la mediana que es de $136,25 \pm 20,17$ siendo un valor bajo lo que corresponde a aguas de excelente calidad de acuerdo con (Casilla, 2014. p.83). En el tramo 2 se registró un valor de conductividad mayor debido a su fácil accesibilidad y exposición a contaminación antrópica, dado que la cobertura vegetal era escasa contribuyendo al arrastre de sólidos (Maiquiza y Tonato, 2020. p.56). La desviación estándar es de 40,34 siendo un valor alto a causa de la amplitud del rango, por lo que los datos tienen una dispersión alta.

3.1.4. Sólidos totales disueltos

En cada punto de muestreo los resultados de sólidos totales disueltos varían de acuerdo con la conductividad debido a que son parámetros directamente proporcionales, obteniendo una media de $63,63 \pm 10,23$ siendo un valor relativamente bajo similar al encontrado por (Maiquiza y Tonato, 2020. p.62) en el río Yanayacu, esto indica que el río necesita de bajas concentraciones de TDS para

mantener su equilibrio acuático. EL coeficiente de variación y la desviación estándar son de 32,16% y 20,46, respectivamente, denotando una dispersión alta y baja representatividad con respecto a la media.

3.1.5. Salinidad

Los valores resultantes de la salinidad son heterogéneos por lo que se considera su mediana que es $67,75 \pm 10,40$, indicando una baja concentración de sales como menciona (Escandón y Cáceres, 2022. p.68), en su investigación en ríos altoandinos. La salinidad está ligada a la conductividad y a los sólidos totales disueltos, puesto que representan la cantidad de sales presentes en el agua (Ortiz, 2015. p.27). Debido al alto rango entre los valores obtenidos la desviación estándar es de 20,79 correlacionándose con el coeficiente de variación que es 32,55%. El sesgo al igual que para los dos parámetros anteriores es menor a cero lo que indica una asimetría negativa, en donde la mayor frecuencia de datos se da en valores mayores que la media, lo que guarda relación con la curtosis que indica un apuntamiento alto debido a la cantidad de datos cercanos a la media.

3.1.6. Nitratos

La media de nitratos es $6,53 \pm 1,11$, con una desviación estándar de 2,21 contrastándose con el coeficiente de variación que es 33,84% dado que el rango entre los valores es alto, señalando una baja representatividad con base a la media y mayor dispersión. Los nitratos en el agua están influenciados por la presencia de estiércol atribuido a la actividad ganadera de la zona que puede ser arrastrado mediante escorrentía el aumento de su concentración representa un factor provocante de la eutrofización (Casilla, 2014. p 107). En el tramo 3 se registró la mayor concentración de nitratos, resultado que se lo relaciona con la unión de los ríos Quillopaccha y Chagrasacha.

3.1.7. Fosfatos

La media de los fosfatos es $0,61 \pm 0,25$ correspondientes a una baja concentración similar al valor encontrado por (Lucero y Paredes, 2017. p.57) en su investigación realizada en el río Cutuchi. Las aguas naturales contienen cantidades de fosfatos que si estos son superiores a 1 mg/L benefician al crecimiento y proliferación de algas (Maiquiza y Tonato, 2020. p.59). Debido a la alta dispersión de valores el coeficiente de dispersión se incrementa a un 82,12% de modo que la representatividad de la media es baja. El sesgo al igual que para los nitratos es mayor a cero lo que indica una asimetría positiva, en donde la mayor frecuencia de datos se da en valores menores que la media, lo que guarda relación con la curtosis que indica un apuntamiento alto debido a la cantidad de datos cercanos a la media.

3.2. Resultados de abundancia y riqueza específica de diatomeas

En el área de estudio, se registraron diferentes especies de diatomeas epilíticas, que en base a investigaciones anteriores se las caracteriza como bioindicadoras de mala y buena calidad del agua, con el fin de evidenciar el estado biológico de los ríos Quillopaccha y Chagrasacha. Se cuantificó un total de 40 especies de diatomeas, dado que algunas especies eran ocurrentes en todos los tramos analizados.

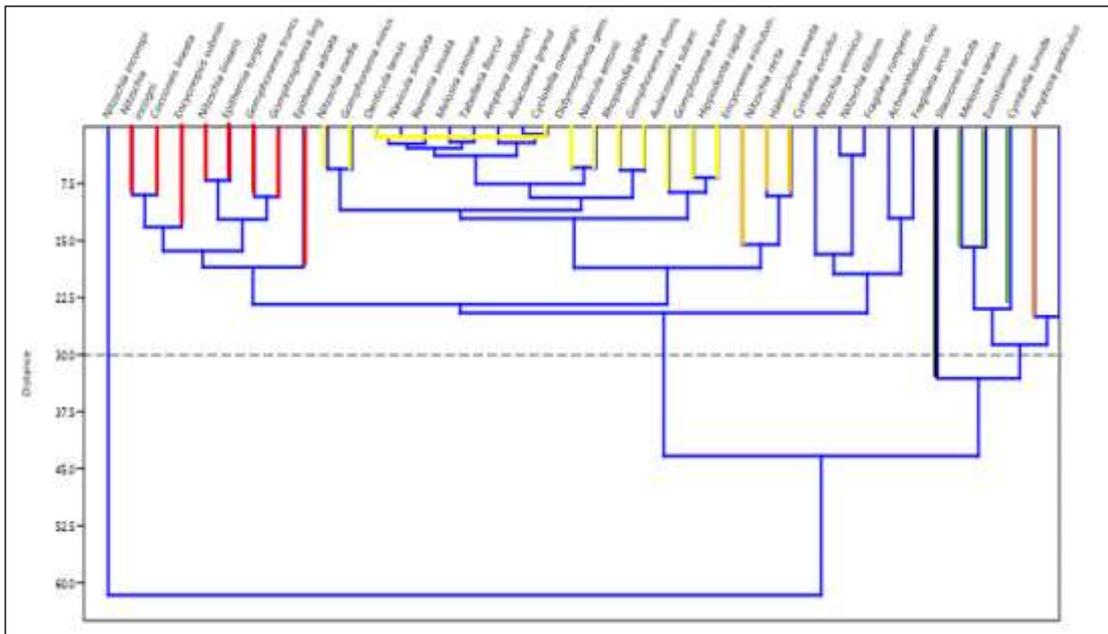


Gráfico 2-3. Dendrograma descriptivo de las especies de diatomeas epilíticas encontradas

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

3.2.1. Tramo uno

La abundancia de las especies tiene una relación de la muestra analizada con respecto a la muestra tomada de 1:50 debido a que el análisis fue realizado en 0,2 ml.

La riqueza específica de este tramo corresponde al número de especies de diatomeas epilíticas encontradas siendo 33, la abundancia presentó un total de 394 individuos distribuidos en los taxones especificados en la Tabla 12-3. Las especies con una abundancia relativa mayor al 5% son: *Eunotia minor* (9,39%), *Cymbella tumida* (7,87%), *Achnantheidium rivulare* (7,87%), *Fragilaria rumpens* (7,61%) y *Fragilaria arcus* (6,85%).

Tabla 12-3: Abundancia de especies en el tramo uno del Río Quilopaccha

Especies	Abundancia	Abundancia Relativa %
<i>Eunotia minor</i>	37	9,39%
<i>Cymbella tumida</i>	31	7,87%
<i>Achnantheidium rivulare</i>	31	7,87%
<i>Fragilaria rumpens</i>	30	7,61%
<i>Fragilaria arcus</i>	27	6,85%
<i>Stauroneis acuta</i>	19	4,82%
<i>Amphora pediculus</i>	19	4,82%
<i>Melosira varians</i>	19	4,82%
<i>Nitzschia vermicularis</i>	19	4,82%
<i>Cymbella excisiformis</i>	17	4,31%
<i>Gomphonema acuminatum</i>	16	4,06%
<i>Nitzschia filiformis</i>	16	4,06%
<i>Hippodonta capitata</i>	13	3,30%
<i>Encyonopsis subminuta</i>	13	3,30%
<i>Aulacoseira subarctica</i>	11	2,79%
<i>Nitzschia media</i>	7	1,78%
<i>Halamphora veneta</i>	7	1,78%
<i>Gomphonema rhombicum</i>	6	1,52%
<i>Encyonema minutum</i>	6	1,52%
<i>Nitzschia linearis</i>	6	1,52%
<i>Cocconeis lineata</i>	5	1,27%
<i>Nitzschia incognita</i>	5	1,27%
<i>Navicula simulata</i>	5	1,27%
<i>Reimeria sinuata</i>	5	1,27%
<i>Denticula tenuis</i>	4	1,02%
<i>Rhopalodia gibba</i>	4	1,02%
<i>Tabellaria flocculosa</i>	4	1,02%
<i>Melosira arenaria</i>	4	1,02%
<i>Didymosphenia geminata</i>	2	0,51%
<i>Gomphonema minusculum</i>	2	0,51%
<i>Aulacoseira granulata</i>	2	0,51%
<i>Amphora indistincta</i>	1	0,25%
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	1	0,25%
TOTAL (0,2ml)	394	100%
TOTAL (10ml)	19700	

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

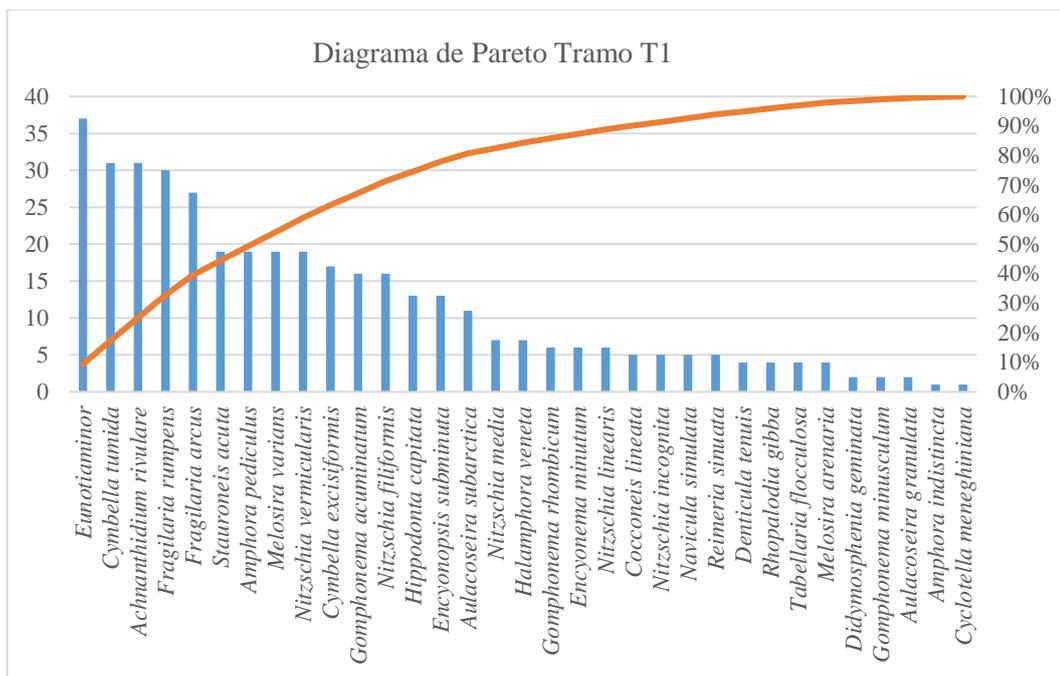


Gráfico 3-3. Especies de diatomeas epilíticas con mayor abundancia en el tramo uno

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

De acuerdo con el Gráfico 3-3, existen 7 especies que corresponden al 20% más significativo del tramo del Río Quillocpaccha según indica Pareto. La especie *Eunotia minor* tiene alta sensibilidad a la contaminación ambiental por lo cual habita en aguas de buena calidad, mientras que la especie *Cymbella tumida* tiene baja sensibilidad a la contaminación por lo que requiere de condiciones específicas para su desarrollo siendo característica de aguas medianamente limpias (Ortiz, 2015. p.42), el taxo *Achnanthydium rivulare* se ha reportado en aguas no muy contaminadas, además es considerada una especie cosmopolita (Hernández, 2015. p.2), en el caso de *Fragilaria rumpens* y *Fragilaria arcus* este género es abundante en zonas con baja contaminación (Blanco, 2008. p.42), de acuerdo con (Maiquiza y Tonato, 2020. p.89), la especie *Stauroneis acuta* es indicadora de agua con moderada contaminación, por lo que su rango de tolerancia es medio. Con base en la investigación de (Céspedes et al., 2016. p.108), el taxo *Amphora pediculus* es tolerante a la contaminación y característico de ríos de alta montaña.

3.2.2. Tramo dos

La riqueza específica para el tramo dos es de 31 especies de diatomeas epilíticas, con una abundancia de 398 individuos tal como lo muestra la Tabla 13-3. Los taxos con abundancia relativa mayor al 5% son: *Eunotia minor* (10,30%), *Melosira varians* (8,04%), *Stauroneis acuta* (7,79%), *Nitzschia inconspicua* (6,28%), *Cocconeis lineata* (6,03%), *Nitzschia incógnita* (5,78%), *Cymbella excisiformis* (5,53%) y *Ephitemia adnata* (5,28%).

Tabla 13-3: Abundancia de especies en el tramo dos del Río Chagrasacha

Especies	Abundancia	Abundancia Relativa %
<i>Eunotia minor</i>	41	10,30%
<i>Melosira varians</i>	32	8,04%
<i>Stauroneis acuta</i>	31	7,79%
<i>Nitzschia inconspicua</i>	25	6,28%
<i>Cocconeis lineata</i>	24	6,03%
<i>Nitzschia incognita</i>	23	5,78%
<i>Cymbella excisiformis</i>	22	5,53%
<i>Epithemia adnata</i>	21	5,28%
<i>Cymbella tumida</i>	18	4,52%
<i>Epithemia turgida</i>	17	4,27%
<i>Gomphosphenia lingulatiformis</i>	17	4,27%
<i>Amphora pediculus</i>	16	4,02%
<i>Encyonopsis subminuta</i>	16	4,02%
<i>Nitzschia linearis</i>	16	4,02%
<i>Rhopalodia gibba</i>	9	2,26%
<i>Nitzschia filiformis</i>	8	2,01%
<i>Gomphonema truncatum</i>	8	2,01%
<i>Gomphonema rhombicum</i>	7	1,76%
<i>Nitzschia vermicularis</i>	7	1,76%
<i>Gomphonema acuminatum</i>	6	1,51%
<i>Encyonema minutum</i>	5	1,26%
<i>Fragilaria rumpens</i>	4	1,01%
<i>Nitzschia media</i>	4	1,01%
<i>Aulacoseira subarctica</i>	4	1,01%
<i>Achnantheidium rivulare</i>	4	1,01%
<i>Gomphonema minusculum</i>	3	0,75%
<i>Fragilaria arcus</i>	2	0,50%
<i>Denticula tenuis</i>	2	0,50%
<i>Navicula simulata</i>	2	0,50%
<i>Amphora indistincta</i>	2	0,50%
<i>Tabellaria flocculosa</i>	2	0,50%
TOTAL (0,2ml)	398	100%
TOTAL (10ml)	19900	

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

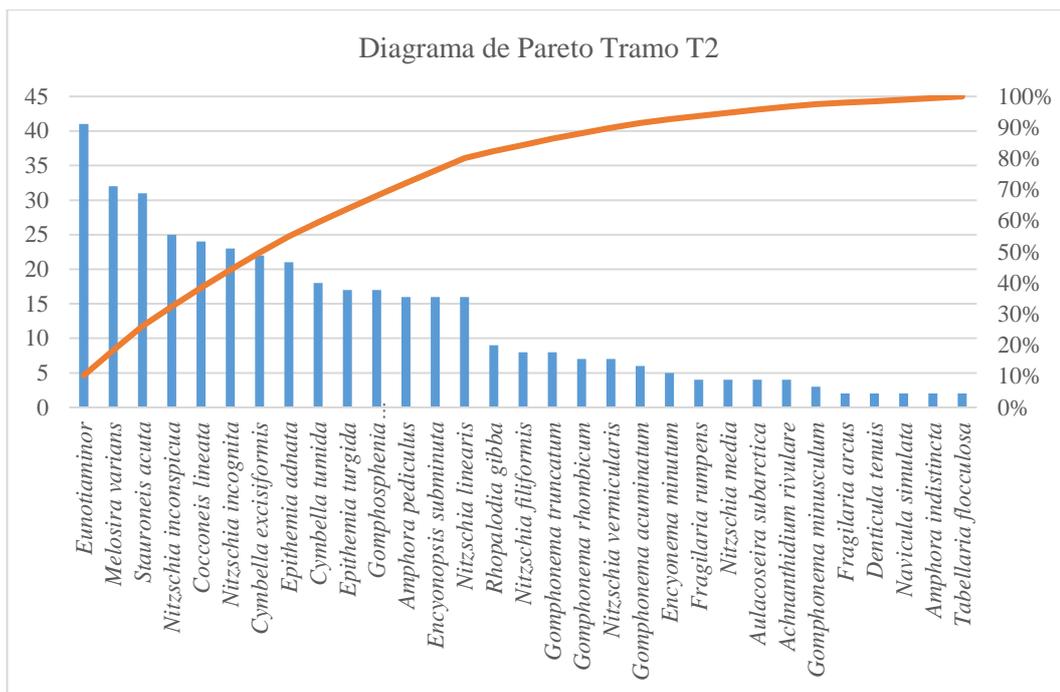


Gráfico 4-3. Especies de diatomeas epilíticas con mayor abundancia en el tramo dos

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

De acuerdo con el Gráfico 4-3, existen 6 especies que representan el 20% de la abundancia del tramo del Río Chagrasacha. En este tramo se encontró coincidencia con dos especies del tramo uno *Eunotia minor* y *Stauroneis acuta*. La especie *Melosira varians* es capaz de desarrollarse en aguas eutrofizadas, debido a su fácil adaptación (Guzmán y Leiva, 2016. p.8), *Cocconeis lineata* es una especie que se encuentra ampliamente distribuida y es común en aguas dulces donde se adhiere particularmente a rocas (Maiquiza y Tonato 2020. p.87), los taxos *Nitzschia inconspicua* y *Nitzschia incognita* tienen afinidad a aguas orgánicamente contaminadas, ricas en nutrientes y pobres en oxígeno, mismo que lo corroboran los estudios realizados por (Hernández, 2015. p.2).

3.2.3. Tramo tres

Para el tramo tres la riqueza específica es de 28 especies de diatomeas epilíticas, la abundancia presentó un total de 399 individuos representados en la Tabla 14-3. Las especies con abundancia relativa mayor al 5% son: *Amphora pediculus* (9,27%), *Fragilaria arcus* (8,27%), *Nitzschia inconspicua* (8,27%), *Melosira varians* (7,77%), *Nitzschia incognita* (6,27%), *Stauroneis acuta* (5,51%) y *Eunotia minor* (5,01%).

Tabla 14-3: Abundancia de especies en el tramo tres del Río Chagrasacha

Especies	Abundancia	Abundancia Relativa %
<i>Amphora pediculus</i>	37	9,27%
<i>Fragilaria arcus</i>	33	8,27%
<i>Nitzschia inconspicua</i>	33	8,27%
<i>Melosira varians</i>	31	7,77%
<i>Nitzschia incognita</i>	25	6,27%
<i>Stauroneis acuta</i>	22	5,51%
<i>Eunotia minor</i>	20	5,01%
<i>Encyonopsis subminuta</i>	18	4,51%
<i>Cocconeis lineata</i>	17	4,26%
<i>Nitzschia recta</i>	17	4,26%
<i>Cymbella tumida</i>	16	4,01%
<i>Gomphonema truncatum</i>	15	3,76%
<i>Gomphosphenia lingulatiformis</i>	15	3,76%
<i>Epithemia adnata</i>	14	3,51%
<i>Halamphora veneta</i>	12	3,01%
<i>Encyonema minutum</i>	12	3,01%
<i>Didymosphenia geminata</i>	9	2,26%
<i>Nitzschia linearis</i>	8	2,01%
<i>Gomphonema rhombicum</i>	7	1,75%
<i>Nitzschia vermicularis</i>	7	1,75%
<i>Epithemia turgida</i>	6	1,50%
<i>Aulacoseira subarctica</i>	5	1,25%
<i>Nitzschia filiformis</i>	5	1,25%
<i>Cymbella excisiformis</i>	4	1,00%
<i>Navicula antonii</i>	4	1,00%
<i>Gomphonema minusculum</i>	3	0,75%
<i>Nitzschia media</i>	2	0,50%
<i>Rhopalodia gibba</i>	2	0,50%
TOTAL (0,2ml)	399	100%
TOTAL (10ml)	19950	

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

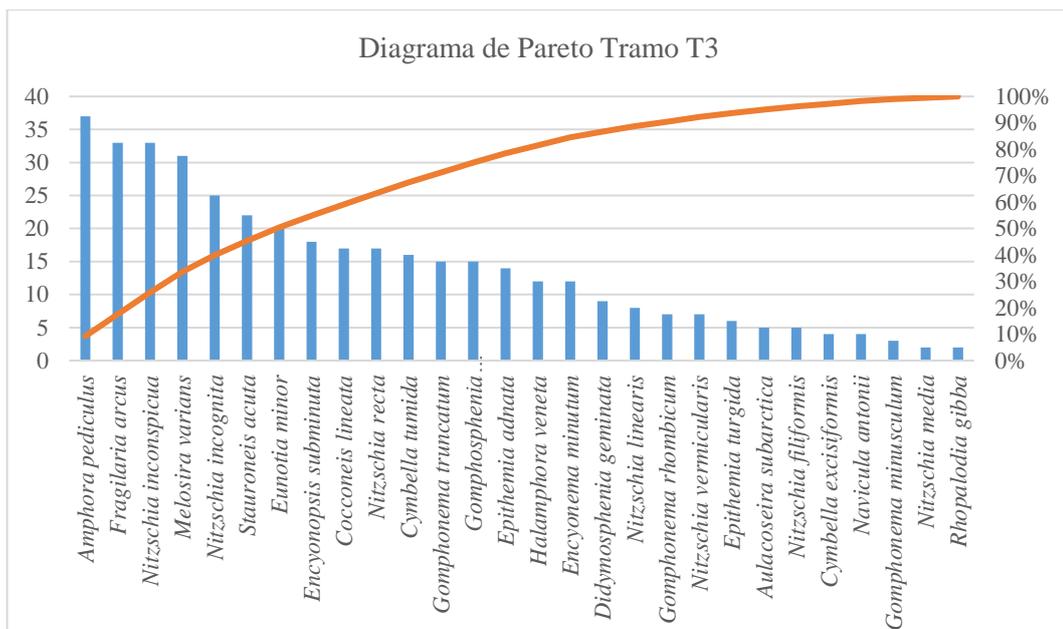


Gráfico 5-3. Especies de diatomeas epilíticas con mayor abundancia en el tramo tres

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

De acuerdo con el Gráfico 5-3, existen 6 especies que representan el 20% de abundancia del tramo *Amphora pediculus*, *Fragilaria arcus*, *Nitzschia inconspicua*, *Melosira varians*, *Nitzschia incognita*, *Stauroneis acuta* mismas que fueron encontradas en los tramos anteriores, dicha coincidencia se le atribuye a la unión de los ríos Quillopaccha y Chagrasacha. Se evidencia en la zona de estudio una amplia distribución de especies de diatomeas epilíticas indicadoras de aguas contaminadas con alta carga orgánica, considerando que el río está sujeto a variaciones constantes por contaminación causada por el ganado presente en el lugar, lo que concuerda con estudios realizados por (Chasiquiza y Cola, 2017. p.51), en donde se encontraron las mismas especies de diatomeas epilíticas caracterizando al agua del río Cutuchi como moderada.

3.2.4. Tramo cuatro

La riqueza específica determinada en el tramo cuatro es de 28 especies de diatomeas epilíticas, con una abundancia de 408 individuos, como se muestra en la Tabla15-3. Los taxones con una abundancia relativa mayor al 5% fueron *Nitzschia inconspicua* (14,71%), *Amphora pediculus* (9,80%), *Cymbella tumida* (8,33%), *Eunotia minor* (6,62%), *Melosira varians* (6,37%), *Epithemia adnata* (5,64%) y *Encyonema minutum* (5,39%).

Tabla 15-3: Abundancia de especies en el tramo cuatro del Río Chagrasacha

Especies	Abundancia	Abundancia Relativa%
<i>Nitzschia inconspicua</i>	60	14,71%
<i>Amphora pediculus</i>	40	9,80%
<i>Cymbella tumida</i>	34	8,33%
<i>Eunotia minor</i>	27	6,62%
<i>Melosira varians</i>	26	6,37%
<i>Epithemia adnata</i>	23	5,64%
<i>Encyonema minutum</i>	22	5,39%
<i>Fragilaria arcus</i>	17	4,17%
<i>Cocconeis lineata</i>	14	3,43%
<i>Stauroneis acuta</i>	13	3,19%
<i>Nitzschia vermicularis</i>	13	3,19%
<i>Nitzschia filiformis</i>	13	3,19%
<i>Fragilaria rumpens</i>	12	2,94%
<i>Gomphonema minusculum</i>	11	2,70%
<i>Nitzschia incognita</i>	10	2,45%
<i>Nitzschia linearis</i>	10	2,45%
<i>Nitzschia recta</i>	10	2,45%
<i>Nitzschia media</i>	9	2,21%
<i>Halamphora veneta</i>	7	1,72%
<i>Encyonopsis subminuta</i>	7	1,72%
<i>Epithemia turgida</i>	7	1,72%
<i>Aulacoseira subarctica</i>	5	1,23%
<i>Cymbella excisiformis</i>	5	1,23%
<i>Gomphosphenia lingulatiformis</i>	4	0,98%
<i>Navicula simulata</i>	3	0,74%
<i>Denticula tenuis</i>	2	0,49%
<i>Reimeria sinuata</i>	2	0,49%
<i>Gomphonema truncatum</i>	2	0,49%
TOTAL (0,2ml)	408	100%
TOTAL (10ml)	20400	

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

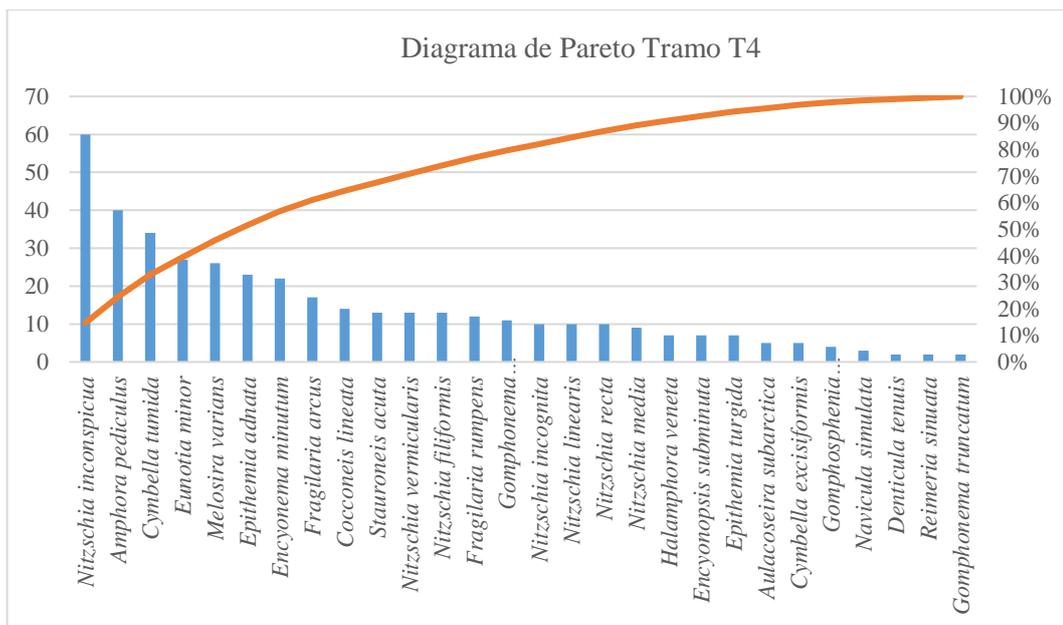


Gráfico 6-3. Especies de diatomeas epilíticas con mayor abundancia en el tramo cuatro

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

De acuerdo con el Gráfico 6-3, para el tramo cuatro existen 6 especies que representan el 20% de la abundancia. En esta zona de estudio al igual que en los tramos anteriores se encontraron las siguientes especies: *Nitzschia inconspicua*, *Amphora pediculus* y *Melosira varians* que se desarrollan en hábitats con un índice elevado de contaminación orgánica, según (Blanco et al, 2010. p.5) es típico encontrar a estas especies juntas en aguas de ríos contaminados; los taxos *Cymbella tumida* y *Eunotia minor* se desarrollan en condiciones distintas, siendo poco tolerantes a zonas fuertemente contaminadas (Ortiz, 2015. p.42). El único taxo registrado como diferente es *Epithemia adnata* que se encuentra en sustratos fijos presente en aguas con carga de contaminación baja y moderada (Guillén et al., 2012. p.4).

3.3. Índices ecológicos

De acuerdo con (Guzmán y Leiva, et al., 2016. p.19), los índices ecológicos permiten evaluar total o parcialmente los sistemas ecológicos por lo que pueden ser considerados como estimadores de la diversidad y riqueza de un sistema, de forma jerárquica desde especie hasta género y proporciona información sobre el estado del ecosistema.

En función de los resultados obtenidos se analizaron todas las especies por cada punto de muestreo, con la finalidad de determinar la diversidad y riqueza, mediante el Índice de Shannon e Índice de Margalef, respectivamente.

3.3.1. Índice de Shannon-Wiener

En el Índice de Shannon-Wiener los valores para cada punto no mostraron diferencias significantes, obteniendo una alta diversidad según la Tabla 7-2, al tener valores de 3,16 para el primer tramo (T1), 3,12 para el segundo tramo (T2), de 3,09 para el tercer tramo (T3) y 3,00 para el cuarto tramo (T4), siendo T1 mayor en comparación con los tramos restantes.

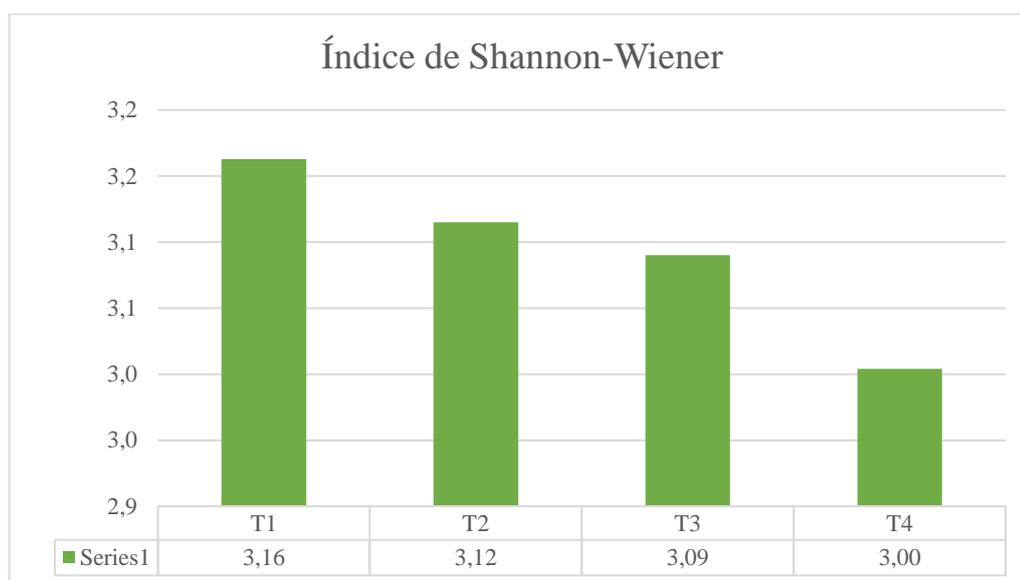


Gráfico 7-3. Diversidad de diatomeas epilíticas presentes en cada tramo

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

La alta diversidad identificada en el tramo uno se debe a características propias de las diatomeas epilíticas como su ubicuidad y bajo grado de endemismo que les permite estar presentes en todos los sistemas acuáticos, las especies halladas en la zona de estudio son representativas de ríos altoandinos poco intervenidos por el hombre (Soler et al., 2012. p.58).

Este análisis concuerda con la investigación realizada por (Chasiquiza y Cola, 2017. p.49) en el río Cutuchi, en la cual como resultado de la aplicación del Índice de Shannon-Wiener se obtuvo un valor mayor a 3, lo que indica una alta diversidad de especies de diatomeas epilíticas.

3.3.2. Índice de Margalef

Con el Índice de Riqueza Específica de Margalef se obtuvo los siguientes resultados, para el tramo uno (T1) el valor es de 7,20, en el tramo dos (T2) el valor es de 6,67, para el tramo tres (T3) el valor es 6,00 y para el tramo cuatro (T4) se tiene el valor de 6,05, con base en lo que indica la Tabla 8-2, se considera que en todos los puntos existe una alta diversidad de especies de diatomeas epilíticas basado en la riqueza de estas.

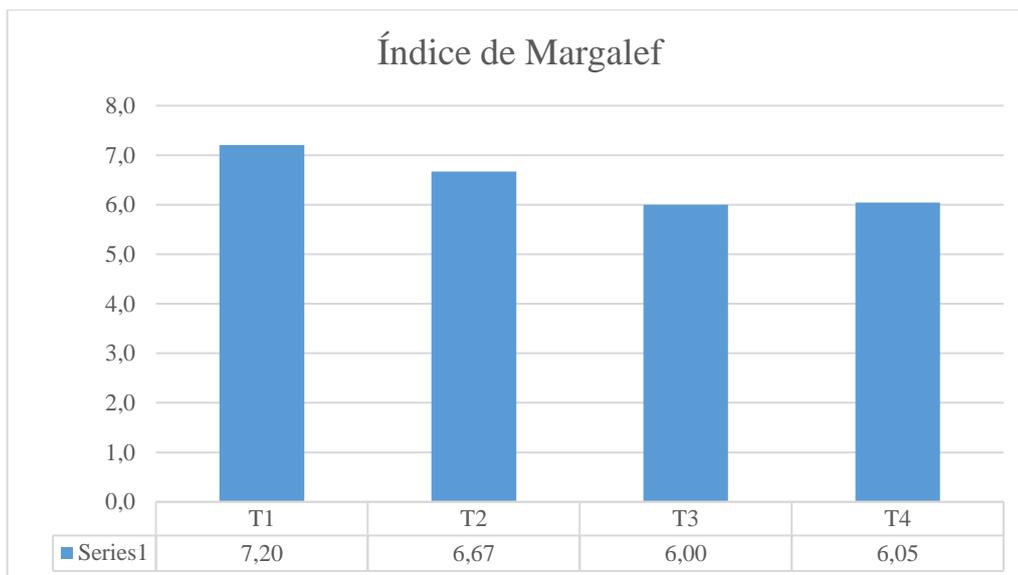


Gráfico 8-3. Diversidad con base en la riqueza de diatomeas epilíticas por cada tramo

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

La diversidad con base en la riqueza a nivel de especies registrada fue alta, a pesar de que el número de especies halladas en la zona de estudio no fue mayor a 50 a comparación de estudios realizados en ríos con características similares a los ríos Chagrasacha y Quillopaccha, como el de (Estrella, 2021. p.31), en el cual evidencia que, en las regiones altoandinas como los Andes del Ecuador, la riqueza y diversidad de especies de diatomeas epilíticas es alta.

3.4. Análisis canónico de correspondencia

Este análisis permite cotejar los nutrientes con la abundancia de especies de diatomeas epilíticas. Por tramos se descartaron a las especies cuyas abundancias relativas sean menor al 5% considerando que la asociación de individuos de una especie genera un mayor impacto en la calidad de agua sea este positivo o negativo (Blanco et al., 2010. p.32).

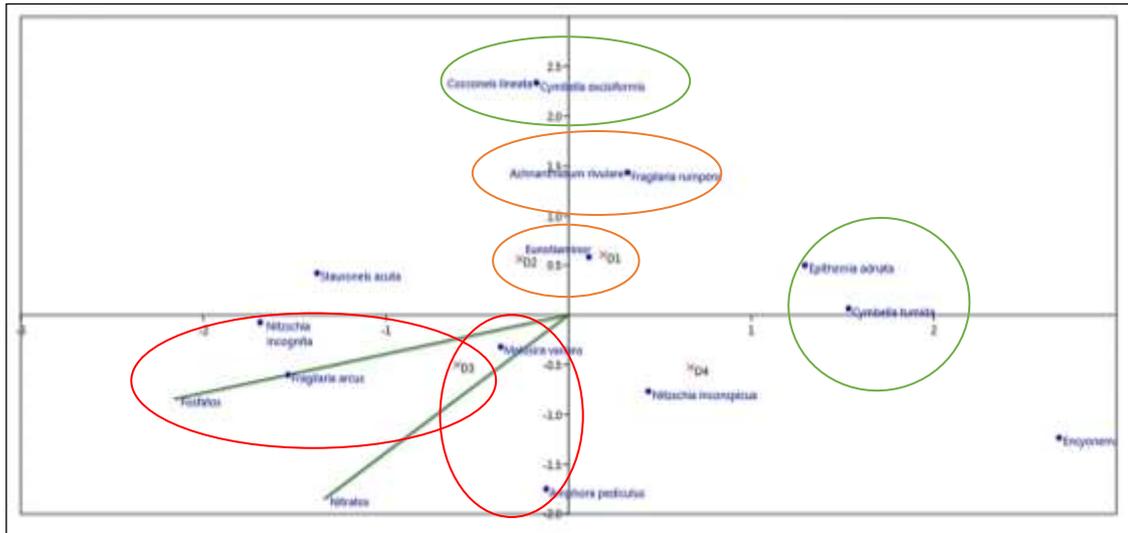


Gráfico 9-3. Análisis Canónico de Correspondencia de nutrientes–especies de diatomeas

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

En el primer eje se explica un 99,69% de varianza de la abundancia de especies de diatomeas epilíticas y en el segundo eje la varianza fue 0,3084%. El análisis del Gráfico 9-3, muestra que la especie *F. arcus* mantiene una fuerte relación positiva con los fosfatos, concordando al estudio de (Calizaya et al., 2013. p.61) que la clasifica como indicadora de alta contaminación, tolerante a la misma, además está relacionada con la especie *N. incognita* que según estudios (Calizaya, 2016. p.5) es conocida como tolerante a ambientes eutróficos; las especies *M. varians* y *A. pediculus* se relacionan con los nitratos de manera positiva al ser tolerantes a altas concentraciones (Céspedes et al., 2016. p.108), todas estas especies están ubicadas en el punto 3 lo que refiere a que es la zona donde existen mayor concentración de nutrientes.

Con cercanía a los nutrientes se encuentra *N. incospicua* que está presente en mayor abundancia en el punto 4 debido a la afinidad que tiene con aguas ricas en nutrientes (Hernández, 2015. p.2) y la presencia de la especie *E. minor* en los puntos 1 y 2, está relacionada con su capacidad para habitar ambientes de contaminación buena a moderada (Ortiz, 2015. p.43).

Las especies que se encuentran ampliamente distribuidas con bajas densidades no se asocian con los nutrientes demostrando su baja tolerancia a la contaminación del agua, tal es el caso de *C. tumida* y *E. adnata* especies tolerantes a bajas concentraciones principalmente de fosfatos que tienen afinidad en común para desarrollarse en aguas de buena calidad (Segura-García et al., 2017. p.21), *C. lineata* y *C. excisiformis* son especies poco tolerantes a la contaminación por fósforo según (Ortiz, 2015. p.46), la especie *E. minutum* es catalogada como indicadora de aguas con buena calidad debido a su baja tolerancia a fosfatos y nitratos (Estrella, 2021. p.28), de acuerdo a estudios (Blanco, 2008. p.46) la especie *A. rivulare* también habita en ríos oligotróficos en la cuenca del Duero, *F. rumpers* es considerada una especie de ambientes poco contaminados (Calizaya et al., 2013. p.61) y de

acuerdo con (Segura-García et al., 2016. p.22) *S. acuta* mantiene una tolerancia media a la contaminación por nutrientes, eso demuestra su cercanía a especies afines a los fosfatos.

3.5. Índice de sensibilidad específica a la polución (IPS)

Los resultados del Índice de Sensibilidad Específica a la Polución (IPS) se obtuvieron por tramos según se denota en la Tabla 16-3, mediante la fórmula que indica (Blanco et al., 2010. p.30), los valores para el primer y segundo tramo (T1) y (T2) son de 13,46 y 14,04, respectivamente, representando una buena calidad de agua; en cuanto al tercer y cuarto tramo (T3) y (T4) los valores son de 12,05 y 12,32, respectivamente, representando una calidad de agua moderada. La media de toda la zona de estudio es de $12,97 \pm 0,47$ lo que corresponde a una calidad de agua moderada. El coeficiente de variación es de 7,23% relativamente alto denotando una mayor dispersión y baja representatividad de la media.

Tabla 16-3: Estadística descriptiva del IPS

Tramos	IPS	Calidad del agua
T1	13,46	Buena
T2	14,04	Buena
T3	12,05	Moderada
T4	12,33	Moderada
Promedio	12,97	Moderada
Desviación Estándar	0,94	
Coeficiente de Variación	7,23%	
Error Estándar	0,47	
Mínimo	12,05	
Máximo	14,04	
Rango	1,99	

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

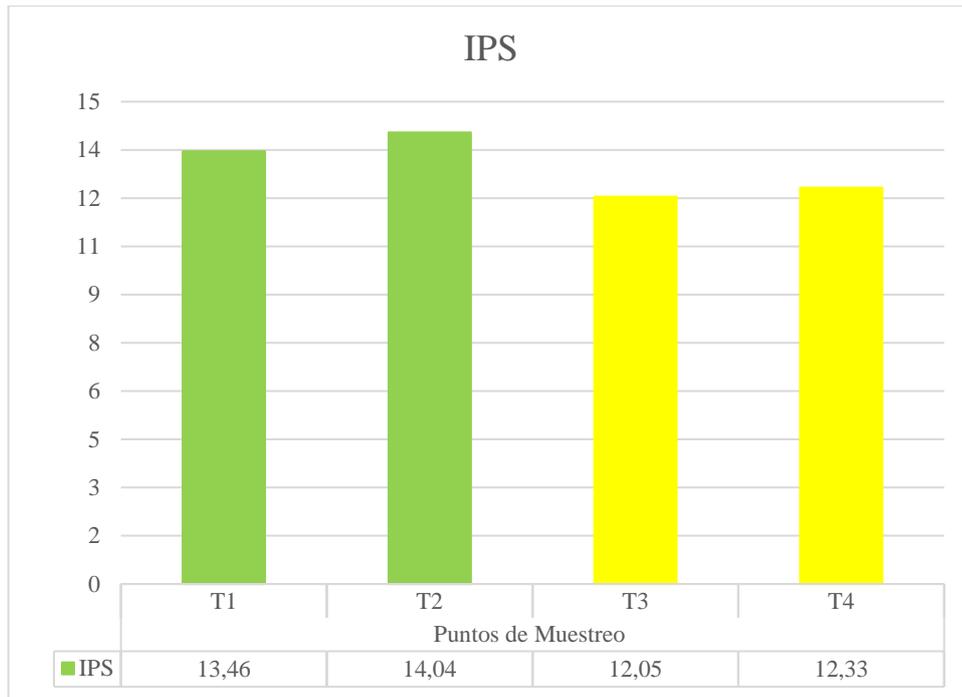


Gráfico 10-3. Valoración del IPS para cada tramo de la zona de estudio

Elaborado por: Pilco, V. & Santander, L., 2022.

Como se aprecia en el Gráfico 10-3, los tramos uno y dos evidencian una calidad de agua buena resultados que concuerdan con la abundancia representativa de especies de diatomeas epilíticas bioindicadoras de aguas limpias, por el contrario, en el tramo tres y cuatro, la calidad de agua moderada concuerda con las especies de diatomeas epilíticas indicadoras identificadas para una calidad deficiente. Estudios como el de (Merino, 2018. p.65), reflejan que en las zonas Altoandinas y Amazónicas del Ecuador la calidad de agua de los ríos va de buena a moderada a medida que el cauce avanza y la altitud disminuye concordando así con los resultados obtenidos en esta investigación.

CONCLUSIONES

- Los parámetros fisicoquímicos y nutrientes influyen en la dinámica del sistema hídrico, se determinó en los cuatro tramos correspondientes a los ríos Chagrasacha y Quillopaccha los valores promedio registrados fueron: ph $6,32 \pm 0,11$, temperatura $10,88 \pm 0,19$, conductividad eléctrica $136,25 \pm 20,17$, sólidos totales disueltos $63,63 \pm 10,23$, salinidad $67,75 \pm 10,40$, nitratos $6,53 \pm 1,11$ y fosfatos $0,68 \pm 0,25$, representando a las características propias de la zona de estudio e incidiendo en la calidad moderada de agua de los ríos.
- En los ríos Chagrasacha y Quillopaccha se encontró 40 especies de diatomeas epilíticas, de las cuales 6 de ellas tienen una abundancia relativa mayor al 5% estas fueron: *Eunotia minor* (7,82%), *Nitzschia incospicua* (7,38%), *Amphora pediculus* (7%), *Melosira varians* (6,75%), *Cymbella tumida* (6,19%) y *Stauroneis acuta* (5,32%). La mayor abundancia de especies de diatomeas epilíticas de acuerdo con el Índice de diversidad de Shannon-Wiener y el Índice de diversidad de Margalef basado en la riqueza específica se registró en el tramo T1 con valores de 3,16 y 7,20, respectivamente, esto se le atribuye a la ubicuidad que permite el desarrollo y distribución de las diatomeas epilíticas.
- La relación de la incidencia entre los nutrientes del agua con la diversidad y abundancia de las especies de diatomeas epilíticas evaluado mediante el análisis canónico de correspondencia evidenció una alta relación de las especies *Fragilaria arcus* y *Nitzschia incognita* con los fosfatos y de las especies *Amphora pediculus* y *Melosira varians* con los nitratos pertenecientes al tramo T3 localizado en el Río Chagrasacha, en el cual la concentración para nitratos fue de 9,74 mg/L y para fosfatos 1,34 mg/L, evidenciando su carga contaminante a causa de la unión con el río Quillopaccha. Las especies restantes se encuentran distribuidas alejadas de los nutrientes lo que indica su baja tolerancia a los mismos.
- El Índice de Sensibilidad Específica a la Polución (IPS) debido a sus características es adecuado para una evaluación rápida de la calidad de agua, la media registrada fue de $12,97 \pm 0,47$ indicando que la calidad de agua en toda la zona de estudio es moderada encontrándose dentro del rango de 13-17, debido a que las especies *Eunotia minor*, *Cymbella tumida*, *Nitzschia incospicua*, *Amphora pediculus*, *Melosira varians*, y *Stauroneis acuta*, son las más representativas y en su mayoría son tolerantes a la contaminación orgánica indicando una calidad de agua de moderada a mala.

RECOMENDACIONES

- Es pertinente ahondar en el estudio de especies bioindicadoras de la calidad de agua como las diatomeas con la finalidad de ampliar la información sobre la taxonomía, sensibilidad, tolerancia y adaptación, misma que puede ser ubicada en una base de datos útil para próximas investigaciones.
- Se recomienda un monitoreo y seguimiento constante a los ríos, mínimo dos veces al año, considerando las estaciones seca y lluviosa estimando su influencia en las interacciones biológicas del agua.
- Es necesario establecer índices de calidad biológica que consideren las características geográficas, climatológicas, y ecosistémicas del Ecuador, para obtener una información confiable sobre el estado actual de los ríos del país, puesto que los análisis solo se los realiza con índices europeos.
- En posteriores estudios se recomienda un análisis minucioso de todos los parámetros fisicoquímicos, químicos y microbiológicos para evaluar la calidad del agua de los ríos monitoreados.

BIBLIOGRAFÍA

AENOR. Norma española UNE-EN 13946:2004. Calidad del agua. Guía para el muestreo en rutina y el pretratamiento de diatomeas bentónicas de ríos. [en línea]. España: 2004. [Consulta: 27 December 2021]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0030820>.

AGUILAR, Joseph. “*TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON EL USO DE MICROALGAS*” [en línea]. Lima: 2020. s.n. [Consulta: 17 December 2021]. Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1417>.

ÁLVAREZ SALÁN, Paulina Alexandra & ANDRADE AVILA, Lizbeth Elizabeth. *EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CEBADAS EN EL FORTALECIMIENTO DE SU GESTIÓN Y POLÍTICA COMUNITARIA* [en línea]. Riobamba: 2021. s.n. [Consulta: 15 November 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14640>.

BLANCO LANZA, Saúl. Diatom assemblages and water quality assessment in the Duero Basin. (*NW Spain*) [en línea], 2008. vol. 1, pp. 39–50. [Consulta: 25 January 2022]. Disponible en: <https://buleria.unileon.es/handle/10612/7090>.

BLANCO LANZA, Saúl, ÁLVAREZ BLANCO, Irene, CEJUDO-FIGUEIRAS, Cristina & BÉCARES MANTECÓN, Eloy. *Guía de las diatomeas de la cuenca del Duero.* [en línea]. España: s.n.,2010. [Consulta: 25 December 2021]. Disponible en: <https://buleria.unileon.es/handle/10612/7009>.

BLANCO, Saúl, BÉCARES, Eoy & ECTOR, Luc. Evaluación de la calidad del agua en los ríos de la cuenca del Duero mediante índices diatomológicos. *Water*, 2007. vol. 148, pp. 139–143.

BOJORGE-GARCÍA, Miriam & CANTORAL-URIZA, Enrique. La importancia ecológica de las algas en los ríos. *Hidrobiológica* [en línea], 2016. vol. 26, no. 1, pp. 1–8. [Consulta: 15 December 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v26n1/0188-8897-hbio-26-01-00001.pdf>.

BRIÑEZ, Lina, CASTRO Santiago, CIFUENTES Daniela, DÍAZ Paola, GUEPE Andrés.

H2O Habemus2Oikos [en línea]. Colombia: Universidad de Ibagué, 2011. [Consulta: 15 December 2021]. Disponible en: <https://ecologia.unibague.edu.co/libro.pdf>.

CALIZAYA, Andrés. El uso de las diatomeas (Bacillariophyceae) como potenciales herramientas en la gestión de la calidad del agua superficial. [en línea], 2016. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/533>.

CALIZAYA-ANCO, José, AVEDAÑO-CÁCERES, Miriam & DELGADO-VARGAS, Irma. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA FLUVIAL CON DIATOMEAS (Bacillariophyceae), UNA EXPERIENCIA EN TACNA, PERÚ. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública* [en línea], 2013. vol. 30, pp. 58–63. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: <https://www.scielo.org/article/rpmesp/2013.v30n1/58-63/>.

CASILLA, Sergio. Evaluación de la calidad de agua en los diferentes puntos de descarga de la cuenca del río Suhez. *Universidad Nacional del Antiplano* [en línea], 2014. pp. 1–129. [Consulta: 2 January 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe>.

CERVANTES DUARTE, Rafael, MATA, Luisa Margarita & LÓPEZ, Silverio López. Efecto de la marea en la concentración de nutrientes, clorofila a y parámetros físicos y químicos en una laguna costera subtropical (Bahía Magdalena, México). *Hidrobiologica*, 2017. vol. 27, no. 2, pp. 253–264. ISSN 24487333.

CÉSPEDES-VARGAS, Edwin, UMAÑA-VILLALOBOS, Gerardo & SILVA-BENAVIDES, Ana Margarita. Tolerancia de diez especies de diatomeas (Bacillariophyceae) a los factores físico-químicos del agua en el Río Sarapiquí, Costa Rica. *Rev. Biol.*, 2016. vol. 64, no. 1, pp. 105–115.

CHASIQUIZA CANDO, Myriam Sofía & COLA CHIPUGSE, Gabriela Elizabeth. “DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE TRÓFICO DE LA CALIDAD DE AGUA A PARTIR DE LA PRESENCIA DE DIATOMEAS EPILÍTICAS EN EL RÍO CUTUCHI SECTOR PARQUE NACIONAL COTOPAXI, CANTÓN LATACUNGA” [en línea]. Latacunga: 2017. [Consulta: 23 January 2022]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4202>.

COTLER, Helena, GALINDO, Adalberto, GONZÁLEZ, Ignacio, PINEDA, Raúl & RÍOS, Eduardo. Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. [en línea]. Argentina: 2013. [Consulta: 15 December 2021]. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/agua_cono_sur_de_america/80-Cuencas_hidrograficas.pdf.

DONATO RONDÓN, John Charles. *ECOLOGÍA DE UN RÍO DE MONTAÑA DE LOS ANDES COLOMBIANOS (RÍO TOTA, BOYACÁ)* [en línea]. Primera. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 2008. [Consulta: 15 November 2021]. ISBN 978-958-719-040-3. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77816>.

ENCALADA, Andrea. Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos: Reflexiones sobre el concepto de caudal ecológico y su aplicación en el Ecuador. *Polemika* [en línea], 2010. vol. 2, no. 5, pp. 41–47. [Consulta: 15 December 2021]. Disponible en: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/polemika/article/view/370>.

ESCANDÓN GUACHICHILCA, Carla Gabriela & CÁCERES VINTIMILLA, María Elizabeth, Análisis de la calidad del agua mediante parámetros físicos químicos y macroinvertebrados bentónicos, presentes en la microcuenca del río San Francisco-Gualaceo. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca* [en línea], 2022. pp. 1–147. [Consulta: 9 February 2022]. Disponible en: <https%3A%2F%2Fspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F21649%2F1%2FU PS-CT009509.pdf&clen=4759140>.

ESQUIÚS, Karina, ESCALANTE, Alicia & SOLARI, Lía. ALGAS EPÍFITAS INDICADORAS DE CALIDAD DEL AGUA EN ARROYOS VINCULADOS A LA LAGUNA DE LOS PADRES. *Biología Acuática* [en línea], 2008. vol. 24, pp. 95–102. [Consulta: 13 November 2021]. Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/bacuatica/article/view/11332>.

ESTRELLA MONTÚFAR, María Cristina. *Determinación de la calidad de agua en la cuenca baja del río de Paute contrastando parámetros físico químicos y biológicos (diatomeas epilíticas).* [en línea]. Quito: 2021. s.n. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4224>.

EUGERCIOS, A, ÁLVAREZ, M & MONTERO, E. Impactos del nitrógeno agrícola en los ecosistemas acuáticos. *Ecosistemas* [en línea], 2017. vol. 26, no. 1, pp. 37–44. [Consulta:

21 December 2021]. ISSN 16972473. DOI 10.7818/ECOS.2017.26-1.06. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/316592733_Impactos_del_nitrogeno_agricola_en_los_ecosistemas_acuaticos.

FLORES-STULZER, Eunice, VILLALOBOS-SANDÍ, Nancy, PIEDRA-CASTRO, Lilliana & SCHOLZ, Carola. Evaluación breve de la presencia de diatomeas y su relación con algunos parámetros físico-químicos en el río Pirro, Heredia, Costa Rica. *Uniciencia* [en línea], 2017. vol. 31, no. 2, pp. 99. [Consulta: 14 November 2021]. ISSN 2215-3470. DOI 10.15359/ru.31-2.7. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6067684>.

GALI, Cordy. A Primer on Water Quality. [en línea]. US: 2001. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: <https://pubs.usgs.gov/fs/fs-027-01/pdf/FS-027-01.pdf>.

GARCÍA, Juan, SARMIENTO, Luisa, SALVADOR, Manuel & PORRAS, Lina. Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. Revisión corta. *Universidad La Gran Colombia* [en línea], 2017. vol. 23, pp. 47–62. [Consulta: 13 December 2021]. ISSN 2346-0814. Disponible en: <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/659>.

GUILLÉN, V, TECK, H, KOHLMANN, B & YEOMANS, J. Microorganismos Como Bioindicadores de calidad de aguas. *Tierra Tropical* [en línea], 2012. vol. 8, no. 1, pp. 65–93.

GUZMÁN VALQUI, Betty Karina & LEIVA TAFUR, Damaris. Diatomeas como bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Utcubamba, Amazonas - Perú. *UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería* [en línea], 2016. vol. 2, pp. 16–21. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/54d5/7530ea45c31484c1103cc336d890078ea122.pdf>.

HERNÁNDEZ GONZÁLEZ, Silvia. Indicadores biológicos de calidad de las aguas superficiales de la subcuenca del Río Viejo, utilizando Fitobentos (Diatomeas). *Universidad y Ciencia*, 2015. vol. 6, no. 9, pp. 20–23. ISSN 2074-8655. DOI 10.5377/uyc.v6i9.1952.

IBÁÑEZ, Sara, MORENO, Héctor & GISBERT, Juan. Morfología de las cuencas hidrográficas. [en línea]. España: 2011. [Consulta: 15 December 2021]. Disponible en:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfologia%20cuenca.pdf?sequence=1>.

JOST, Lou & GONZÁLEZ, José. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta zoológica lilloana* [en línea]. S.l.: 2012. [Consulta: 15 November 2021]. Disponible en: <http://www.lillo.org.ar/journals/index.php/acta-zoologica-lilloana/article/view/240>.

LARENAS, Elizabeth, MILLAR, Iván Luis & OBREQUE, Fresia Daniela. El problema de la contaminación de los cuerpos de agua en la comuna de Laja. Determinación de parámetros bioquímicos y físicos en la Laguna Señoraza y su posible aplicación en el aula. *Universidad de Concepción Campus Los Ángeles Escuela de Educación* [en línea], 2018. pp. 1–74. [Consulta: 19 December 2021]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fspace.espoeh.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F14641%2F1%2FUDCTFC%253b236T0528.pdf&cflen=4103360>.

LOBO, Eduardo. *ÍNDICE TRÓFICO DE QUALIDADE DA ÁGUA. Guia ilustrado para sistemas lóticos subtropicais e temperados brasileiros* [en línea]. Santa Cruz do Sul: UNISC, 2016. [Consulta: 29 December 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unisc.br/jspui/bitstream/11624/1767/1/%C3%8Dndice%20tr%C3%B3fico%20de%20qualidade%20da%20%C3%A1gua.pdf>.

LONDOÑO ARANGO, Carlos Hernando. CUENCAS HIDROGRÁFICAS: BASES CONCEPTUALES-CARACTERIZACIÓN-PLANIFICACIÓN-ADMINISTRACIÓN. [en línea]. Ibagué: 2001. [Consulta: 15 November 2021]. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49834831/cuencas_hidrograficas_bases_conceptuales_caracterizacion_CARLOS_LONDOO-with-cover-page-zpXqSnyRYK0H5aR925fewRfZ48L24wjzhYS8cSNeosMx8rN3k4hMOWshMeXIEsmR2ucz3MyUe4ukcVOes4WI2g__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA.

LÓPEZ-MONROY, Fabiola & TROCCOLI-GHINAGLIA, Luis. Dinámica de los Nutrientes en una Laguna Costera Tropical Hipersalina (Las Marites, Isla de Margarita, Venezuela). *Revista Bio Ciencias* [en línea], 2017. vol. 4, no. 6. [Consulta: 21 December 2021]. ISSN 2007-3380. DOI 10.15741/revbio.04.06.04. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/321961194_Dinamica_de_los_Nutrientes_en_una_Laguna_Costera_Tropical_Hipersalina_Las_Marites_Isla_de_Margarita_Venezuela.

LUCERO, Mercedes Maribel & PAREDES, Monserrath del Carmen. *Determinación del índice trófico de la calidad de agua a partir de la presencia de diatomeas epilíticas en el río Cutuchi, sector Lasso, cantón Latacunga* [en línea]. Latacunga: 2017. s.n. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4206>.

MAASS, Manuel. PRINCIPIOS GENERALES SOBRE MANEJO DE ECOSISTEMAS. [en línea]. México: 2003. [Consulta: 15 November 2021]. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36611959/1._Los_ecosistemas-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1640819618&Signature=HocUFggLiCm4hWhU9rvM8CPRJPdc9yq9E~aSL~zakNl6uNM8i0F5KvMGJcU6i4IcxvKFUH5CZ1y1cHJKKitCTGh7TwpfINMZX-bt7D-.

MAQUIZA RAMÍREZ, Katty Elizabeth & TONATO UNAPUCHA, Gabriela Katherine. IDENTIFICACIÓN DE DIATOMEAS EPILÍTICAS ASOCIADAS A LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO YANAYACU, SECTOR SAN JUAN, CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI, 2020 [en línea]. Latacunga: 2020. s.n. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7103>.

MEDINA, Leonardo, AVEDAÑO, Lizseth & GUILLIN, Nelson. ANÁLISIS DE LA CALIDAD BIOLÓGICA DE LAS FUENTES HÍDRICAS DEL RÍO PAMPLONITA Y UN SECTOR DE LA QUEBRADA ISCALÁ. [en línea], 2018. pp. 12. [Consulta: 13 December 2021]. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fcorporacion.gov.co%2Fcalidad_agua%2F2019%2F5_DOCUMENTOS_RESUMEN_CALIDAD_BIOLOGICA_DEL_AGUA%2F2_ANALISIS_DE_LA_CALIDAD_BIOLOGICA_DEL_AGUA_PRESENTACION.pdf&clen=736618&chunk=t.

MERINO SALAZAR, Karla Paulina. “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.” *Advanced Optical Materials* [en línea], 2018. no. 1, pp. 1–63. ISSN 21951071. Disponible en: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.101.089902><http://dx.doi.org/10.1016/j.nantod.2015.04.009><http://dx.doi.org/10.1038/s41467-018-05514-9><http://dx.doi.org/10.1038/s41467-019-13856-1><http://dx.doi.org/10.1038/s41467-020-14365-2><http://dx.doi.org/10.1038/s41467-020-14365-2>

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Plan de manejo Parque Nacional Llanganates. [en línea], 2013. pp. 1–55. [Consulta: 25 December 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/436815080/34-Plan-de-Manejo-Llanganates>.

MORENO, Claudia. *Métodos para medir la biodiversidad* [en línea]. Primera. Zaragoza: M&T–Manuales y Tesis SEA,2001. [Consulta: 25 December 2021]. Disponible en: <http://entomologia.rediris.es/sea>.

MOTTA MAMANI, Julia Cecilia. *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO OCOÑA Y SU RELACIÓN CON LAS DIATOMEAS (Bacillariophyceae) EN SU ROL DE BIOINDICADORES* [en línea]. Arequipa: 2021. s.n. [Consulta: 15 November 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/12265>.

NTE INEN 2169, 2013. *Instituto Ecuatoriano de Normalización. AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS* [en línea]. 2013. S.l.: s.n. [Consulta: 29 December 2021]. Disponible en: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACION%20DE-MUESTRAS.pdf?x42051>.

ORTIZ CASTRO, Mérida Elizabeth. *CARACTERIZACIÓN DE DIATOMEAS COMO HERRAMIENTA PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO TEAONE* [en línea]. Esmeraldas: 2015. s.n. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/589>.

PICCARDO ANTUNEZ, Andres. *DIATOMEAS BENTÓNICAS COMO INDICADORES DE GRADIENTES AMBIENTALES ASOCIADOS A ACTIVIDADES ANTRÓPICAS EN ARROYOS DE LA CUENCA DEL RÍO NEGRO.* [en línea]. Montevideo: 2020. [Consulta: 21 December 2021]. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/25814/1/uy24-19792.pdf>.

PLA, Laura. Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia* [en línea], 2006. vol. 31, no. 8, pp. 583–590. [Consulta: 25 December 2021]. ISSN 0378-1844. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000800008&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

RODÓ, Elena. DINÁMICA DE LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LA LAGUNA DE ROCHA. Universidad de la república Uruguay, [en línea], 2016. pp. 97. [Consulta: 19 December 2021]. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/9071/1/uy24-18207.pdf>.

SAMANIEGO CHACHA, Evelin Maleny. *DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE MITIGACIÓN DEL RÍO QUEBRADA, UBICADO EN LA PARROQUIA DE SAN ISIDRO, CANTÓN MORONA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO* [en línea]. Macas: 2019. s.n. [Consulta: 15 November 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13132>.

SEGURA-GARCÍA, Virginia, ALMANZA ÁLVAREZ, José Salvador & PONCE-SAAVEDRA, Javier. Diversidad en comunidades de diatomeas epilíticas con relación a los parámetros fisicoquímicos en la cabecera del río Zinapécuaro, México. *Hidrobiológica* [en línea], 2016. vol. 26, pp. 187–202. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972016000200187&script=sci_arttext.

SEGURA-GARCÍA, Virginia, CANTORAL-URIZA, Enrique, ISRADE, Isabel & MAIDANA, Nora. Epilithic diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water quality in the Upper Lerma River, Mexico. *UNICIENCIA* [en línea], 2017. vol. 31, no. 2, pp. 99–109. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6067684>.

SOLER, A, PÉREZ, María, AGUILAR, Edilberto & VILLARREAL, Ilka. *DIATOMEAS DEL CANAL DE PANAMÁ: BIOINDICADORES Y OTROS ESTUDIOS PIONEROS* [en línea]. Panamá: 2012. s.n. [Consulta: 14 November 2021]. Disponible en: <https://wpeus2sat01.blob.core.windows.net/micanaldev/2018/cuencahidrografica/diatomeasdelcanaldepanamabioidicadoresyotrosetudiospioneros.pdf>.

UNESCO. El Agua: una responsabilidad compartida, 2° informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. [en línea]. S.l.: 2006. [Consulta: 15 November 2021]. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000144409>.

VALDEZ, Carlos, GUZMÁN, Marco Antonio, VALDÉS, Arcadio, FOROUGBAKHCH, Ramin, ALVARADO, Marco Antonio & ROCHA, Alejandra. Estructura y diversidad de la vegetación en un matorral espinoso prístino de Tamaulipas, México. *Revista de Biología Tropical* [en línea], 2018. vol. 66, no. 4, pp. 1674–1682. [Consulta: 25 December

2021]. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442018000401674.

VÁSCONEZ, Michelle, MANCHENO, Andrea, ÁLVAREZ, César, PREHN, Claudia, CEVALLOS, Carina & ORTIZ, Liliana. *Cuencas Hidrográficas* [en línea]. 1. Cuenca: Abya-Yala,2019. [Consulta: 15 December 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19038>.

VÁSQUEZ, Edgar & ROJAS, Tania. *Teorías y problemas* [en línea]. 1. S.l.: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa,2016. [Consulta: 12 January 2022]. Disponible en: <http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: TAXONES ENCONTRADOS EN LOS TRAMOS DE LOS RÍOS QUILLOPACCHA Y CHAGRASACHA

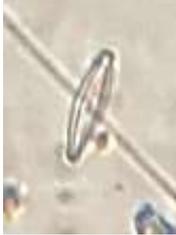
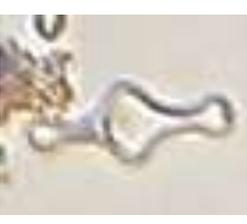
N°	Género	Especie	P1	P2	P3	P4
1	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema rhombicum</i>	X	X	X	-
2	<i>Fragilaria</i>	<i>Fragilaria rumpens</i>	X	X	-	X
3	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia media</i>	X	X	X	X
4	<i>Fragilaria</i>	<i>Fragilaria arcus</i>	X	X	X	X
5	<i>Stauroneis</i>	<i>Stauroneis acuta</i>	X	X	X	X
6	<i>Aulacoseira</i>	<i>Aulacoseira subarctica</i>	X	X	X	X
7	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia incognita</i>	X	X	X	X
8	<i>Halamphora</i>	<i>Halamphora veneta</i>	X	-	X	X
9	<i>Denticula</i>	<i>Denticula tenuis</i>	X	X	-	X

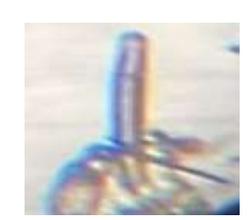
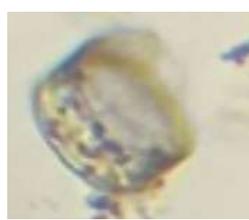
10	<i>Didymosphenia</i>	<i>Didymosphenia geminata</i>	X	-	X	-
11	<i>Cymbella</i>	<i>Cymbella tumida</i>	X	X	X	X
12	<i>Cymbella</i>	<i>Cymbella excisiformis</i>	X	X	X	X
13	<i>Amphora</i>	<i>Amphora pediculus</i>	X	X	X	X
14	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema acuminatum</i>	X	X	-	-
15	<i>Melosira</i>	<i>Melosira varians</i>	X	X	X	X
16	<i>Encyonopsis</i>	<i>Encyonopsis subminuta</i>	X	X	X	X
17	<i>Encyonema</i>	<i>Encyonema minutum</i>	X	X	X	X
18	<i>Navicula</i>	<i>Navicula simulata</i>	X	X	-	X
19	<i>Eunotiaminor</i>	<i>Eunotia minor</i>	X	X	X	X
20	<i>Melosira</i>	<i>Melosira arenaria</i>	X	-	-	-

21	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia vermicularis</i>	X	X	X	X
22	<i>Amphora</i>	<i>Amphora indistincta</i>	X	X	-	-
23	<i>Achnantheidium</i>	<i>Achnantheidium rivulare</i>	X	X	-	-
24	<i>Rhopalodia</i>	<i>Rhopalodia gibba</i>	X	X	X	-
25	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema minusculum</i>	X	X	X	X
26	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia filiformis</i>	X	X	X	X
27	<i>Reimeria</i>	<i>Reimeria sinuata</i>	X	-	-	X
28	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia linearis</i>	X	X	X	X
29	<i>Aulacoseira</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>	X	-	-	-
30	<i>Hippodonta</i>	<i>Hippodonta capitata</i>	X	-	-	-
31	<i>Cyclotella</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	X	-	-	-

32	<i>Cocconeis</i>	<i>Cocconeis lineata</i>	X	X	X	X
33	<i>Tabellaria</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i>	X	X	-	-
34	<i>Epithemia</i>	<i>Epithemia turgida</i>	-	X	X	X
35	<i>Epithemia</i>	<i>Epithemia adnata</i>	-	X	X	X
36	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema truncatum</i>	-	X	X	X
37	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia inconspicua</i>	-	X	X	X
38	<i>Gomphosphenia</i>	<i>Gomphosphenia lingulatiformis</i>	-	X	X	X
39	<i>Navicula</i>	<i>Navicula antonii</i>	-	-	X	-
40	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia recta</i>	-	-	X	X

**ANEXO B: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE TAXONES ENCONTRADOS EN EL RÍO
QUILLOPACCHA Y RÍO CHAGRASACHA**

1 	2 	3 	4 
5 	6 	7 	8 
9 	10 	11 	12 
13 	14 	15 	16 
17 	18 	19 	20 
<p>1. <i>Gomphonema rhombicum</i> 2. <i>Fragilaria rumpens</i> 3. <i>Nitzschia media</i> 4. <i>Fragilaria arcus</i> 5. <i>Stauroneis acuta</i> 6. <i>Aulacoseira subarctica</i> 7. <i>Nitzschia incognita</i> 8. <i>Halamphora veneta</i> 9. <i>Denticula tenuis</i> 10. <i>Didymosphenia geminata</i></p>		<p>11. <i>Cymbella tumida</i> 12. <i>Cymbella excisiformis</i> 13. <i>Amphora pediculus</i> 14. <i>Gomphonema acuminatum</i> 15. <i>Melosira varians</i> 16. <i>Encyonopsis subminuta</i> 17. <i>Encyonema minutum</i> 18. <i>Navicula simulata</i> 19. <i>Eunotia minor</i> 20. <i>Melosira arenaria</i></p>	

<p style="text-align: center;">21</p> 	<p style="text-align: center;">22</p> 	<p style="text-align: center;">23</p> 	<p style="text-align: center;">24</p> 
<p style="text-align: center;">25</p> 	<p style="text-align: center;">26</p> 	<p style="text-align: center;">27</p> 	<p style="text-align: center;">28</p> 
<p style="text-align: center;">29</p> 	<p style="text-align: center;">30</p> 	<p style="text-align: center;">31</p> 	<p style="text-align: center;">32</p> 
<p style="text-align: center;">33</p> 	<p style="text-align: center;">34</p> 	<p style="text-align: center;">35</p> 	<p style="text-align: center;">36</p> 
<p style="text-align: center;">37</p> 	<p style="text-align: center;">38</p> 	<p style="text-align: center;">39</p> 	<p style="text-align: center;">40</p> 
<p>21. <i>Nitzschia vermicularis</i> 22. <i>Amphora indistincta</i> 23. <i>Achnanthidium rivulare</i> 24. <i>Rhopalodia gibba</i> 25. <i>Gomphonema minusculum</i> 26. <i>Nitzschia filiformis</i> 27. <i>Reimeria sinuata</i> 28. <i>Nitzschia linearis</i> 29. <i>Aulacoseira granulata</i> 30. <i>Hippodonta capitata</i></p>		<p>31. <i>Cyclotella meneghiniana</i> 32. <i>Cocconeis lineata</i> 33. <i>Tabellaria flocculosa</i> 34. <i>Epithemia turgida</i> 35. <i>Epithemia adnata</i> 36. <i>Gomphonema truncatum</i> 37. <i>Nitzschia inconspicua</i> 38. <i>Gomphosphenia lingulatiformis</i> 39. <i>Navicula antonii</i> 40. <i>Nitzschia recta</i></p>	

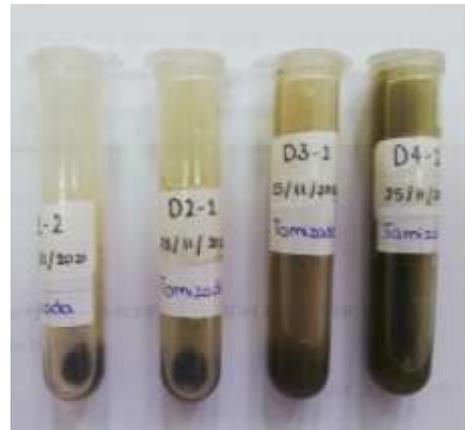
ANEXO C: MUESTREO DE DIATOMEAS Y DE AGUA EN EL RÍO QUILLOPACCHA Y RIO CHAGRASACHA

	
<p>Rio Chagrasacha</p>	<p>Río Quillopaccha</p>
	
<p>Recolección de piedras</p>	<p>Toma de muestra de diatomeas</p>
	
<p>Recolección de muestras de agua</p>	

ANEXO D: ANALISIS DE DIATOMEAS Y NUTRIENTES EN EL LABORATORIO



Limpieza de diatomeas



Muestras tamizadas



Observación en microscopio



Identificación de diatomeas

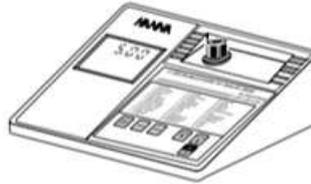


Analisis de nutrinetes en las muestras de agua

ANEXO E: MANUAL HANNA PARA LA DETERMINACION DE FOSFATOS EN EL AGUA

Manual de Instrucciones

Series C 99 y C 200 Fotómetros Multiparámetro de Sobremesa



FOSFATO RANGO BAJO

ESPECIFICACIONES

Rango	0,00 a 2,50 mg/l
Resolución	0,01 mg/l
Precisión	±0,04 mg/l ±4% de lectura
Desviación	±0,01 mg/l
EMC Típica	
Fuente de Luz	Lámpara de Tungsteno con filtro de interferencia de banda estrecha @610 nm
Método	Adaptación del método Ácido Ascórbico. La reacción entre el fosfato y el reactivo origina una coloración azul en la muestra.

REACTIVOS NECESARIOS

Código	Descripción	Cantidad
HI 93713-0	Reactivo en polvo	1 paquete

LOTES DE REACTIVOS

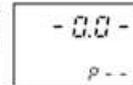
HI 93713-01 Reactivos para 100 tests
 HI 93713-03 Reactivos para 300 tests
 Para otros accesorios consulte la página 141.

PROCEDIMIENTO DE MEDICION

- Seleccione el número de programa correspondiente a Fosfato R. Bajo en el nivel secundario del display pulsando PROGRAM ▼ y ▲.
- Enjuague, tape y agite la cubeta varias veces con muestra sin tratar. Llene la cubeta con 10 ml de muestra hasta la marca y coloque la tapa.
- Coloque la cubeta en el porta-cubetas y asegúrese de que la muesca de la tapa coincida perfectamente en la ranura.
- Pulse ZERO y "SIP" parpadeará en el display.



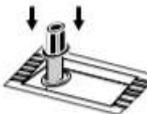
- Espere unos pocos segundos y el display mostrará "-0.0-". Ahora el medidor está a cero y listo para medición.



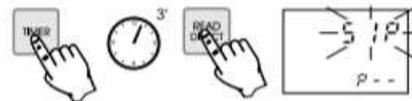
- Retire la cubeta y añada el contenido de un paquete de reactivo HI 93713. Coloque la tapa y agítelo suavemente (durante aprox. 2 minutos) hasta que el polvo esté totalmente disuelto.



- Reinserte la cubeta en el instrumento.



- Pulse TIMER y el display mostrará la cuenta atrás previa a la medición o, como alternativa, espere 3 minutos y pulse READ DIRECT. En ambos casos "SIP" parpadeará durante la medición.



- El instrumento muestra directamente la concentración en mg/l de Fosfato en el display.
- Para convertir la lectura a mg/l de P_2O_5 , multiplique por un factor de 1,495.
- Para convertir la lectura a mg/l de Fósforo (P), multiplique por un factor de 0,326.

INTERFERENCIAS

Las interferencias pueden estar causadas por:

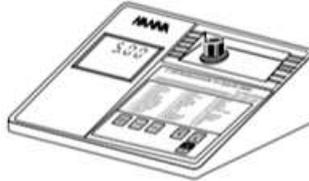
- Hierro superior a 50 mg/l
- Silice superior a 50 mg/l
- Silicato superior a 10 mg/l
- Cobre superior a 10 mg/l

También produce interferencias el hidrógeno sulfurado, arseniato, las muestras turbias y las muestras altamente tamponadas.

ANEXO F: MANUAL HANNA PARA LA DETERMINACION DE NITRATOS EN EL AGUA

Manual de Instrucciones

Series C 99 y C 200 Fotómetros Multiparámetro de Sobremesa



HANNA
instruments
Fabricantes desde 1978



NITRATO

ESPECIFICACIONES

Rango	0,0 a 30,0 mg/l
Resolución	0,1 mg/l
Precisión	±0,5 mg/l ±10% de lectura
Desviación	±0,1 mg/l
EMC Típica	
Fuente de Luz	Lámpara de Tungsteno con filtro de interferencia de banda estrecha @ 525 nm
Método	Adaptación del método de reducción por cadmio. La reacción entre el nitrato y el reactivo origina una coloración ámbar en la muestra.

REACTIVOS NECESARIOS

Código	Descripción	Cantidad
HI 93728-0	Reactivo en polvo	1 paquete

LOTES DE REACTIVOS

HI 93728-01 Reactivos para 100 tests

HI 93728-03 Reactivos para 300 tests

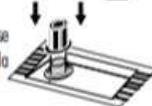
Para otros accesorios consulte la página 141.

PROCEDIMIENTO DE MEDICION

- Seleccione el número de programa correspondiente a Nitrato en el nivel secundario del display pulsando PROGRAM ▼ y ▲.
- Mediante la pipeta, llene la cubeta con 6 ml de muestra, hasta la mitad de su altura, y coloque la tapa.



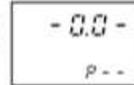
- Coloque la cubeta en el porta-cubetas y asegúrese de que la muesca de la tapa coincida perfectamente en la maneta.



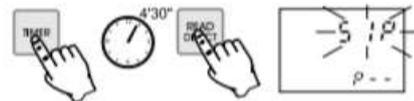
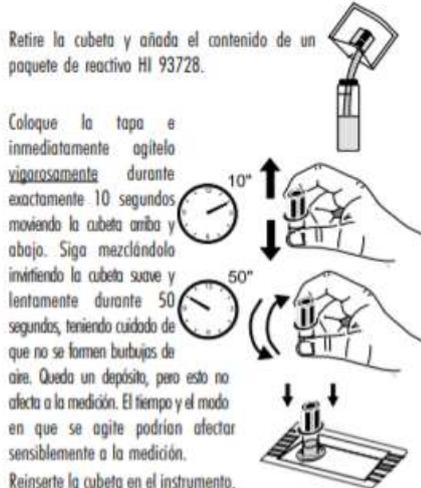
- Pulse ZERO y "SIP" parpadeará en el display.



- Espere unos pocos segundos y el display mostrará "-0.0-". Ahora el medidor está a cero y listo para medición.



- Retire la cubeta y añada el contenido de un paquete de reactivo HI 93728.
- Coloque la tapa e inmediatamente agítelo vigorosamente durante exactamente 10 segundos moviendo la cubeta arriba y abajo. Siga mezclándolo invirtiendo la cubeta suave y lentamente durante 50 segundos, teniendo cuidado de que no se formen burbujas de aire. Queda un depósito, pero esto no afecta a la medición. El tiempo y el modo en que se agite podrían afectar sensiblemente a la medición.
- Reinserte la cubeta en el instrumento, teniendo cuidado de no agitarla.
- Pulse TIMER y el display mostrará la cuenta atrás previa a la medición o, como alternativa, espere 4 minutos y 30 segundos y pulse READ DIRECT. En ambos casos "SIP" parpadeará durante la medición.



- El instrumento muestra directamente la concentración en mg/l de nitrógeno en forma de nitrato en el Display.
- Para convertir la lectura a mg/l de nitrato (NO₃⁻), multiplique por un factor de 4,43.

INTERFERENCIAS

Las interferencias pueden estar causadas por:

Amoniaco y aminas, como urea y aminas alifáticas primarios

Cloruro superior a 100 ppm (interferencia negativa)

Cloro superior a 2 ppm (interferencia positiva)

Cobre

Hierro (III) (interferencia positiva)

Sustancias fuertemente oxidantes y reductoras

Sulfuro (no debe estar presente)



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

*UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL*

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 22 / 04 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Valeria Anabel Pilco Picón</i> <i>Lisbeth Viviana Santander Coronel</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Ambiental</i>
Título a optar: <i>Ingeniera Ambiental</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO,
serialNumber=0000621485, cn=LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.04.22 16:19:42 -05'00'



0769-DBRA-UTP-2022