



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LA
IDENTIFICACIÓN DE DIATOMEAS EPILÍTICAS EN LA
MICROCUCENCA DEL RÍO CEBADAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS: LISBETH JOHANA INCA NOBOA

NATALY PAULET VILLA VALDIVIESO

DIRECTOR: Ing. ANDRÉS AGUSTÍN BELTRÁN DÁVALOS

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Lisbeth Johana Inca Noboa & Nataly Paulet Villa Valdivieso

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, LISBETH JOHANA INCA NOBOA y NATALY PAULET VILLA VALDIVIESO, 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, 01 de diciembre de 2022



Lisbeth Johana Inca Noboa

CI: 060463084-8



Nataly Paulet Villa Valdivieso

CI: 172346381-4

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, **ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE LA IDENTIFICACIÓN DE DIATOMEAS EPILÍTICAS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CEBADAS**, realizado por las señoritas: **LISBETH JOHANA INCA NOBOA** y **NATALY PAULET VILLA VALDIVIESO**, 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. Nancy Elizabeth Chariguaman Maurisaca. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-12-01
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos MsC DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-01
Ing. Cristina Gabriela Calderón Tapia MsC ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-01

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mis padres César y Betty por ser el pilar fundamental de mi vida, mi motivación e inspiración para salir adelante, sin su apoyo y su cariño este logro no sería posible, gracias por creer en mí y enseñarme a nunca rendirme, a valorar la familia y a trabajar por alcanzar mis sueños, recordándome siempre que ni el cielo es el límite, espero algún día poder devolverles todo lo que han hecho por mí. A mis hermanos César y Daniela por ser mi soporte y guía en los momentos más difíciles, por brindarme su apoyo incondicional y darme ánimos para salir adelante. A mis abuelitos, tíos y primos por su cariño y sus consejos que me han permitido convertirme en la persona que soy. A mis angelitos del cielo que me han cuidado y bendecido en cada uno de los pasos que doy. Y a mis amigos por apoyarme en los buenos y malos momentos haciendo mi vida universitaria mucho más llevadera.

Lisbeth

Dedico el presente trabajo de integración curricular a mis abuelitos en el cielo, quienes desde pequeña me enseñaron grandes valores como el respeto, honestidad y humildad, gracias a ellos ha prevalecido la unión familiar misma que me ha inspirado a luchar por conseguir mis metas propuestas, a mis padres Diego y Miryam quienes han sido el motor fundamental para seguir adelante y han estado presentes en todo momento, a mis hermanos Andrés, Martín y Erik quienes han sido mi compañía durante este tiempo, a mis amigos/as que siempre han confiado y me han impulsado a dar lo mejor de mí, y a mi familia en general por darme ánimos y apoyo para cumplir mis sueños y enseñarme a ser una persona fuerte y consciente ante toda situación.

Nataly

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecir cada uno de nuestros pasos.

A nuestros padres por brindarnos su apoyo durante toda nuestra vida estudiantil, por inculcarnos valores y principios que nos han permitido llegar a ser personas de bien.

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la carrera de Ingeniería Ambiental por formarnos como profesionales, también al cuerpo de docentes de la carrera por impartir sus conocimientos y experiencias, de manera especial al Ingeniero Andrés Beltrán, nuestro director, quien ha sido el guía del presente proyecto de investigación y quien nos ha demostrado que la preparación y capacidad de sobresalir, nos puede llevar lejos, al grupo de investigación GIDAC, que ha sido un ente fundamental en la realización de este proyecto de integración curricular ya que nos ha facilitado sus instalaciones y equipos para el desarrollo del mismo, de manera especial al ingeniero Luis Patiño quien nos ha brindado su tiempo y ayuda para poder realizar los monitoreos y la ingeniera Natali Figueroa por colaborarnos con los materiales y reactivos que se utilizaron durante el trabajo de investigación ; agradecimiento a todas las personas que contribuyeron al desarrollo de este trabajo, a los docentes y encargados de laboratorios quienes hicieron lo posible para que este documento se realice.

Lisbeth & Nataly

TABLA DE CONTENIDOS

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

CAPÍTULO I

1	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1	Objetivos.....	2
1.1.1	Objetivo General.....	2
1.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	2
1.2	Justificación.....	3
1.2.1	<i>Justificación Teórica</i>	3
1.2.2	<i>Justificación Metodológica</i>	3
1.2.3	<i>Justificación Práctica</i>	4

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
2.1	Antecedentes.....	5
2.2	Microcuencas y contribuyentes del parque nacional Sangay sur occidental.....	6
2.3	Los recursos hídricos de altitud, importantes escenarios de conservación.....	8
2.4	Clasificación del Agua según su Origen.....	8
2.4.1	<i>Agua superficial:</i>	8
2.4.2	<i>Agua subterránea:</i>	8
2.4.3	<i>Aguas meteorológica o atmosférica:</i>	8
2.4.4	<i>Agua de mar:</i>	8
2.5	Clasificación de los Cuerpos de Agua.....	8
2.5.1	<i>Ríos:</i>	8

2.5.2	<i>Lagos:</i>	9
2.5.3	<i>Aguas subterráneas:</i>	9
2.5.4	<i>Cuenca Hidrográfica:</i>	9
2.6	Clasificación de las Cuencas Hidrográficas.....	9
2.6.1	<i>Arréicas:</i>	9
2.6.2	<i>Criptorréicas:</i>	9
2.6.3	<i>Endorréicas:</i>	9
2.6.4	<i>Exorreicas:</i>	9
2.6.5	<i>Subcuenca:</i>	9
2.6.6	<i>Microcuenca:</i>	9
2.6.7	<i>Servicios ecosistémicos de fuentes hídricas andinas</i>	9
2.6.8	<i>Causas generales y específicas de deterioro morfológico de cuencas hídricas</i>	10
2.7	Estrategias de conservación de recursos hídricos.....	10
2.7.1	<i>Levantamiento y manejo de información de la Calidad del Agua en las Cuencas Hidrográficas</i>	10
2.7.2	<i>Control de la calidad del agua de los recursos hídricos</i>	10
2.7.3	<i>Mejoramiento de servicios públicos relacionados al agua</i>	11
2.7.4	<i>Cultura del agua</i>	11
2.7.5	<i>Conservación y protección de la calidad del agua</i>	11
2.8	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.....	11
2.9	Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.....	12
2.9.1	<i>Parámetros que determinan la contaminación del Agua</i>	12
2.9.1.1	<i>Contaminantes químicos</i>	13
2.9.1.2	<i>Parámetros para el Análisis de la Calidad del Agua</i>	14
2.9.1.3	<i>Parámetros Físicos</i>	14
2.9.1.4	<i>Parámetros Químicos</i>	14
2.10	Diversidad de Diatomeas como determinantes en la calidad del agua.....	15
2.10.1	<i>Factores que inciden en la diversidad de diatomeas</i>	15
2.10.1.1	<i>Temperatura en microalgas</i>	16
2.10.1.2	<i>pH en microalgas</i>	16
2.10.1.3	<i>Turbulencia</i>	16
2.10.1.4	<i>Salinidad</i>	16
2.10.1.5	<i>Naturaleza del sustrato</i>	16
2.10.2	<i>Reproducción de las Diatomeas</i>	16
2.10.3	<i>Ventajas de las Diatomeas como bioindicadoras</i>	17
2.10.4	<i>Morfología de las Diatomeas</i>	17

2.10.5	<i>Ecología de las Diatomeas</i>	18
2.11	Índices de Diversidad	18
2.11.1	<i>Índice de diversidad de Simpson</i>	18
2.11.2	<i>Índice de diversidad Rao</i>	19
2.11.3	<i>Índice de diversidad Shannon-Wiener</i>	19
2.11.4	<i>Índices no convencionales</i>	19
2.11.4.1	<i>Índice de Polusensibilidad (IPS)</i>	19

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	20
3.1	Área de estudio	20
3.2	Coordenadas del Área de Estudio	20
3.2.1	<i>Tipos de Ecosistemas</i>	21
3.2.2	<i>Temperatura</i>	22
3.2.3	<i>Caudal Referencial</i>	22
3.3	Enfoque de investigación	22
3.3.1	<i>Cuantitativo</i>	22
3.3.2	<i>Cualitativo</i>	23
3.3.3	<i>Mixto</i>	23
3.4	Nivel de investigación	27
3.4.1	<i>Descriptiva</i>	27
3.5	Diseño de investigación	27
3.5.1	<i>Según la manipulación de las variables</i>	28
3.6	Tipo de estudio	28
3.7	Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	29
3.8	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	29
3.8.1	<i>Observación de campo</i>	29
3.8.2	<i>Investigación</i>	29
3.8.3	<i>Observación en laboratorio e Investigación descriptiva</i>	29
3.8.4	<i>Procedimiento de extracción de las diatomeas</i>	32
3.8.4.1	<i>Muestreo de Diatomeas</i>	32
3.8.4.2	<i>Fase laboratorio</i>	32
3.8.4.3	<i>Fase de análisis de muestras</i>	33

CAPÍTULO IV

4	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	34
4.1	Resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos	34
<i>4.1.1</i>	<i>Nitritos.....</i>	<i>34</i>
<i>4.1.2</i>	<i>Nitratos</i>	<i>35</i>
<i>4.1.3</i>	<i>Fosfatos</i>	<i>36</i>
<i>4.1.4</i>	<i>Sulfatos.....</i>	<i>37</i>
<i>4.1.5</i>	<i>Nitrógeno Amoniacal.....</i>	<i>38</i>
<i>4.1.6</i>	<i>Potencial de Hidrógeno</i>	<i>39</i>
<i>4.1.7</i>	<i>Temperatura.....</i>	<i>40</i>
<i>4.1.8</i>	<i>Conductividad Eléctrica.....</i>	<i>41</i>
<i>4.1.9</i>	<i>Oxígeno Disuelto.....</i>	<i>42</i>
4.2	Diversidad Biológica	43
<i>4.2.1</i>	<i>Índice de Shannon Wiener y Simpson</i>	<i>43</i>
<i>4.2.2</i>	<i>Abundancia y riqueza específica de Diatomeas Epilíticas</i>	<i>45</i>
4.3	Diatomeas Epilíticas.....	45
<i>4.3.1</i>	<i>Abundancia de Especies de Diatomeas Epilíticas en la Microcuenca del Río Cebada</i>	<i>46</i>
<i>4.3.1.1</i>	<i>Río Ozogoche</i>	<i>47</i>
<i>4.3.1.2</i>	<i>Río Atillo</i>	<i>48</i>
<i>4.3.1.3</i>	<i>Río Yasepan.....</i>	<i>49</i>
<i>4.3.1.4</i>	<i>Río Cebadas</i>	<i>49</i>
4.4	Sensibilidad de Diatomeas Epilíticas.....	50
4.5	Estado Trófico del agua mediante el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS)	52
<i>4.5.1</i>	<i>Río Ozogoche</i>	<i>52</i>
<i>4.5.2</i>	<i>Río Atillo</i>	<i>53</i>
<i>4.5.3</i>	<i>Río Yasepan</i>	<i>53</i>
<i>4.5.4</i>	<i>Río Cebadas</i>	<i>54</i>
4.6	Resultados de la Diversidad de Diatomeas Epilíticas	56

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES.....	62
RECOMENDACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Coordenadas del Área de Estudio.....	20
Tabla 2-3: Ecosistemas Remanentes del Cantón Guamote.....	21
Tabla 3-3: Criterios De Calidad Admisibles Para La Preservación De La Vida Acuática Y Silvestre En Aguas Dulces, Marinas Y Estuarios.....	23
Tabla 4-3: Interpretación del índice de Shannon Wiener.....	25
Tabla 5-3: Interpretación del índice de Simpson	26
Tabla 6-3: Clasificación del estado ecológico según la puntuación del IPS	27
Tabla 7-3: Parámetros fisicoquímicos.....	30
Tabla 8-3: Métodos de los parámetros fisicoquímicos	30
Tabla 9-4: Resultados del ion nitrito en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas.....	34
Tabla 10-4: Resultados del ion nitrato en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas.....	35
Tabla 11-4: Resultados del ion fosfato en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas.....	36
Tabla 12-4: Resultados del ion sulfato en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas.....	37
Tabla 13-4: Resultados del Nitrógeno Amoniacal en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas	38
Tabla 14-4: Resultados de pH en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas.....	39
Tabla 15-4: Resultados de Temperatura en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas.....	40
Tabla 16-4: Resultados de conductividad eléctrica en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas	41
Tabla 17-4: Resultados de Oxígeno disuelto en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas	42
Tabla 18-4: Género y Especies de Diatomeas Epilíticas	45
Tabla 19-4: Estado Trófico del agua mediante el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS) en el río Ozogoche.....	52
Tabla 20-4: Estado Trófico del agua mediante el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS) en el río Atillo.....	53
Tabla 21-4: Estado Trófico del agua mediante el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS) en el río Yasepan	53
Tabla 22-4: Estado Trófico del agua mediante el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS) en el río Cebadas	54
Tabla 23-4: Registro fotográfico de las Diatomeas Epilíticas	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Ríos del Parque Nacional Sangay	7
Figura 2-2: Parámetros que determinan la contaminación del agua	13
Figura 3-3: Ubicación de los puntos de monitoreo	20
Figura 4-3: Puntos de muestreo	28

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Variación del ion Nitrito en las zonas de estudio	35
Gráfico 2-4: Variación del ion Nitrato en las zonas de estudio	36
Gráfico 3-4: Variación del ion Fosfato en las zonas de estudio.....	37
Gráfico 4-4: Variación del ion Sulfato en las zonas de estudio	38
Gráfico 5-4: Variación del Nitrógeno Amoniacal en las zonas de estudio	39
Gráfico 6-4: Variación de pH en las zonas de estudio	40
Gráfico 7-4: Variación de pH en las zonas de estudio	41
Gráfico 8-4: Variación de la Conductividad Eléctrica en las zonas de estudio	42
Gráfico 9-4: Variación de Oxígeno Disuelto en las zonas de estudio.....	43
Gráfico 10-4: Índice de Simpson y Shannon Wiener de las especies de Diatomeas Epilíticas .	44
Gráfico 11-4: Dendograma descriptivo de las especies de diatomeas epilíticas encontradas....	45
Gráfico 12-4: Abundancia de especies del río Ozogoche	47
Gráfico 13-4: Abundancia de especies del río Atillo	48
Gráfico 14-4: Abundancia de especies del río Yasepan.....	49
Gráfico 15-4: Abundancia de especies del río Cebadas.....	50
Gráfico 16-4: Sensibilidad de géneros de Diatomeas Epilíticas	51
Gráfico 17-4: IPS general de la Microcuenca del río Cebadas	55
Gráfico 18-4: IPS de los géneros de Diatomeas con respecto a la calidad de agua	56

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MUESTREO DE DIATOMEAS

ANEXO B: TRATAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE DIATOMEAS

ANEXO C: ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN EL LABORATORIO

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar la Calidad del Agua mediante la identificación de diatomeas Epilíticas en la Microcuenca del Río Cebadas. Se realizó cuatro monitoreos en los Ríos Ozogoche, Atillo, Yasepan y Cebadas. Se recolectaron muestras de agua para el análisis de parámetros fisicoquímicos como pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Nitritos, Nitratos, Sulfatos, Fosfatos y Nitrógeno Amoniacal, finalmente, se determinó que la calidad del agua de la Microcuenca es buena debido a que parámetros como pH y Oxígeno Disuelto cumplen con los Límites establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Se determinó que el río Atillo presenta el pH más bajo y la mayor concentración de oxígeno, mientras que el Río Yasepan presenta un pH mayor y el Río Ozogoche presenta una mayor concentración de oxígeno disuelto. La recolección de diatomeas se realizó utilizando piedras de cada río, las cuales fueron sometidas a un proceso de limpieza y conservación en tubos eppendorf, para su posterior análisis en el laboratorio. Una vez identificadas y contabilizadas las diatomeas se utilizó índices de diversidad como Shannon, Simpson y el Índice de Polusensibilidad Específica (IPS) a fin de determinar la abundancia de diatomeas. El estudio realizado en la Microcuenca, permitió identificar la presencia de 44 especies de diatomeas agrupadas en 23 géneros, el IPS analizado ha permitido calificar que la Microcuenca del Río Cebadas mantiene una calidad que va de buena a excelente con especies altamente sensibles como: *Encyonema*, *Cymbella*, *Eunotia* y *Tabellaria* mismas que en contraste con los parámetros físicos y químicos analizados garantizan el estado favorable de la calidad de recurso hídrico. Mediante la documentación fotográfica de diatomeas se podrá realizar un estudio comparativo en base a los trabajos de investigación realizados en los diferentes parques nacionales y reservas naturales del país.

Palabras clave: <DIATOMEAS EPILÍTICAS>, <PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS>, <RÍO CEBADAS>, <SENSIBILIDAD>, <ABUNDANCIA>, <ÍNDICES DE DIVERSIDAD>, <ÍNDICE DE POLUSENSIBILIDAD ESPECÍFICA>.



0024-DBRA-UPT-2023

ABSTRACT

The objective of this study was to analyse the water quality by identifying epilithic diatoms in the Cebadas River micro-basin. Four monitoring was carried out in the Ozogoche, Atillo, Yasepan and Cebadas rivers. Water samples were collected to analyse physicochemical parameters such as pH, Temperature, Electrical Conductivity, Dissolved Oxygen, Nitrites, Nitrates, Sulfates, Phosphates and Ammoniacal Nitrogen. Finally, it was determined that the water quality of the Microbasin was good because Parameters such as pH and dissolved oxygen comply with the limits established in the Unified Text of Secondary Legislation of the Ministry of the Environment. It was determined that the Atillo River has the lowest pH and the highest oxygen concentration. In contrast, the Yasepan River has a higher pH, and the Ozogoche River has a higher dissolved oxygen concentration. Diatoms were collected using stones from each river, which were subjected to a cleaning and conservation process in eppendorf tubes for their subsequent analysis in the laboratory. Once the diatoms were identified and accounted for, diversity indices such as Shannon, Simpson and the Specific Polusensitivity index (IPS) were used to determine the abundance of diatoms. The study carried out in the Micro-basin allowed us to identify the presence of 44 species of diatoms grouped in 23 genera. The IPS analysed has allowed us to qualify that the Cebadas River Micro-basin maintains a quality that goes from good to excellent with susceptible species such as Encyonema, Cymbella, Eunotia and Tabellaría themselves that, in contrast to the physical and chemical parameters analysed, guarantee the favourable state of the quality of water resources. Through the photographic documentation of diatoms, a comparative study can be carried out based on the research work carried out in the country's different national parks and nature reserves.

Keywords: <EPILITHIC DIATOMS>, <PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS>, <RIVER CEBADAS>, <SENSITIVITY>, <ABUNDANCE>, <DIVERSITY INDICES>, <SPECIFIC POLUSENSITIVITY INDEX>.

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature appears to read 'Paul Obregón'.

Ing. Paul Obregón. Mgs

0601927122

INTRODUCCIÓN

América Latina cuenta con alrededor del 30 % de las fuentes de agua dulce del mundo; sin embargo, ha estado luchando silenciosamente contra una crisis de agua, una crisis que tiene efectos irreversibles. En el centro de la crisis, está el hecho de que aproximadamente menos del 40 % del agua (Fowler, 2020: pp. 179-202) de la región se deja sin tratar para el consumo y el uso humano, por lo que las fuentes de agua contaminadas se liberan en lagos, ríos y océanos que luego se contaminan con desechos humanos, actividades agrícolas, ganaderas y turísticas que se transfieren a través de los sistemas de agua a muchos hogares, afectando a los sistemas acuáticos. Es por esta razón que el uso de bioindicadores biológicos como las diatomeas representan los impactos de la contaminación generando nuevos estudios por parte de varios científicos.

Las diatomeas (*Bacillariophyceae*) son un componente importante del bioma del fitoplancton, pero gran parte de su especie es fotosensible y está relacionada con los biomas bentónicos, que, en los sedimentos lacustres, lagunas, ríos y en general las microcuencas pueden encontrarse en las columnas de agua. Por esta razón, los sedimentos brindan registros espaciales y temporales de estas especies y el lugar en donde habitan. Las diatomeas depositadas en los sedimentos de los lagos pueden brindar información ambiental sobre los procesos que tienen lugar en los ecosistemas acuáticos (Montoya-Moreno, Yimmy; Et Al., 2012: p. 457-474). Esto es posible ya que, en las capas de sedimentos, se depositan lentamente con poca perturbación, se encuentran restos de diatomeas, que pueden utilizarse como indicador del estado ambiental del lago en ese momento.

La utilización de estas microalgas en este tipo de estudio incluye la inferencia de cambios ambientales pasados tales como eutrofización, acidificación, salinidad, climáticos (Yüce y Gönülol, 2016: p. 1723-1730) y desastres naturales como erupciones volcánicas. Una de las dificultades para el estudio de diatomeas es la falta de información con respecto a la distribución y composición de las especies en un lugar de interés (Alvial et al., 2008: p. 83). En relación a los trabajos de diatomeas realizados en varios lugares es preciso mencionar que el conocimiento de la flora diatomológica de aguas continentales es escaso, limitándose a determinadas zonas geográficas (Alvial et al., 2008: p. 94).

Este estudio se enfoca en la identificación de diatomeas muestreadas en 10 puntos de la microcuenca del río Cebadas durante un período de 4 meses, y su uso como bioindicador de cuerpos de agua que contienen una cantidad significativa de nutrientes orgánicos. El análisis de calidad de agua se realizará en base a los límites máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), Acuerdo Ministerial 097 del 2015. Tabla 3: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

CAPÍTULO I

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- Analizar la Calidad del Agua mediante la Identificación de diatomeas epilíticas en la Microcuenca del Río Cebadas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar la calidad del agua mediante el análisis de los parámetros fisicoquímicos en la Microcuenca del Río Cebadas.
- Establecer la diversidad biológica de diatomeas epilíticas recolectadas mediante índices ecológicos.
- Documentar la diversidad de diatomeas epilíticas presentes en la Microcuenca del Río Cebadas

1.2 Justificación

La determinación del estado ecológico de las masas de agua superficial se realiza mediante el uso de una serie de organismos indicadores de la calidad, como macroinvertebrados bentónicos, macrófitos, fitoplancton, macroalgas, microinvertebrados, microalgas y angiospermas.

En la calidad del agua influyen factores como el flujo, el almacenamiento superficial (presas), sistemas subterráneos de agua que sirven de reservas municipales, domésticas o de áreas protegidas y en el caso de aguas superficiales, sus atributos recreativos y turísticos, Entre los problemas de calidad del agua mayoritariamente asociados con la actividad turística o recreativa se encuentran los siguientes: contaminación debida a bacterias, virus y parásitos, enriquecimiento de los nutrientes de las aguas; sedimentación y turbiedad y cambios en las condiciones tróficas debidos a una acelerada eutrofización.

Las diatomeas son especies que desarrollan una gran cantidad de productos fotosintéticos, produciendo grandes cantidades de oxígeno al medio acuático desempeñando así un papel muy importante en la dinámica de la atmósfera.

Nota: La presente investigación propuesta está vinculada con el proyecto de Sistemas Lacustres Altoandinos del centro del Ecuador como sumideros de Dióxido de carbono propuesto por el grupo de Investigación GIDAC cuyos resultados permitirán el fortalecimiento de la investigación.

1.2.1 *Justificación Teórica*

La presente investigación tiene como finalidad plasmar mediante el estudio y recolección de diatomeas epilíticas y parámetros físico-químicos la calidad de agua que existe en la Microcuenca del Río Cebadas con el propósito de obtener buenos resultados en base de cuatro monitoreos en los meses de junio, julio, agosto y septiembre y comparar la variación que se da en cada mes. Este estudio se divide en tres fases: trabajo de campo, desarrollo experimental e interpretación de datos.

1.2.2 *Justificación Metodológica*

La aplicación de las diatomeas como bioindicadores en el análisis de la calidad de agua de estas lagunas se determinará a partir de métodos estadísticos, el trabajo de campo constará de muestreo, recolección de agua y limpieza de rocas, con respecto al desarrollo experimental se aplicará una serie de reactivos, añadiendo el uso de equipos necesarios para la identificación del tipo de especie encontrada en la muestra. En esta se evaluará parámetros fisicoquímicos, específicamente pH,

conductividad eléctrica, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, de estos dependerá la calidad del agua.

1.2.3 Justificación Práctica

En la calidad del agua influyen factores como el flujo, el almacenamiento superficial (presas), sistemas subterráneos de agua que sirven de reservas municipales, domésticas o de áreas protegidas y en el caso de aguas superficiales, sus atributos recreativos y turísticos.

El estudio de las Diatomeas Epilíticas es importante para determinar la calidad del agua, a través del análisis se puede conocer la tolerancia a la contaminación de la mayoría de los taxones. Su recolección en el campo sigue protocolos rápidos y de escasa dificultad, producen cerca del 25% del oxígeno de la atmósfera terrestre, casi la misma cantidad que producen los bosques tropicales (Cubas, 2008, pp.1-3), de ahí su importancia. La necesidad de profundizar en el tema surge en la falta de estudios de esta especie en zonas andinas del Ecuador, por esta razón se realiza este análisis para poder obtener más información acerca de la calidad de agua a partir de estos bioindicadores en varios lugares del país.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

La Microcuenca del Río Cebadas forma parte del Parque Nacional Sangay y del complejo Lago Ozogoché, incluyen varias lagunas como la Negra, Cuyug, Yasepan y Atillo, en las que existe gran diversidad de vegetación natural y variedad de pastizales. El área circundante tiene hermosos arroyos y cascadas. Además, es rico en vida salvaje. En esta zona se puede observar la presencia de plantas como valeriana, chocho y chuquiragua (Guambo, 2016, pp. 171-173).

La calidad del agua es una herramienta muy útil para agregar grandes cantidades de información, lo que permite registrar e interpretar rápidamente las tendencias de la calidad del agua en el espacio y el tiempo. A su vez, se presentan como una opción viable para explicar las variables físicas, químicas y biológicas de un programa de monitoreo, ya que las diferentes variables se combinan para producir un posible valor numérico aceptable para evaluar, por ejemplo, el impacto de los cambios biológicos y humanos, actividades de procesos de autolimpieza de cuerpos de agua, para evaluar la calidad del agua es necesario monitorear indicadores físicos, químicos y biológicos; sin embargo, en el caso de los parámetros físicos, no son indicadores absolutos de contaminación y no requieren técnicas específicas, entre ellas: olor, color, turbidez, sólidos disueltos, grado de calor y conductividad.

Los índices de diversidad se consideran medidas de varianza en la distribución de la riqueza de especies. Hay muchos indicadores desarrollados, aunque los indicadores de Simpson y Shannon son ciertamente los más utilizados. El uso de indicadores de diatomeas en Europa se remonta a la década de 1970. Varios países europeos han utilizado diatomeas para determinar la calidad del agua de sus ríos, incluidos Alemania, Austria, Francia y Polonia, Suiza y el Reino Unido. Actualmente, decenas de estudios en Europa avalan la eficacia de las diatomeas y otros bioindicadores basados en algas para monitorizar el estado ecológico del agua, principalmente en ambientes lóticos. Dentro de los índices diatomológicos, los más empleados hasta ahora en Europa (Pujante et al. 2016, p. 690) “Son el Índice de Polusensibilidad Específica (IPS), el índice CEE ; el Índice Biológico de Diatomeas (IBD), los índices sapróbico SI y trófico TI de Rott, el índice de eutrofización/polución de Dell’Uomo y el índice trófico de diatomeas TDI” (Pujante et al. 2016: p. 691).

2.2 Microcuencas y contribuyentes del parque nacional Sangay sur occidental

El Parque Nacional Sangay se encuentra ubicado en la región centro andina del Ecuador, ocupando las partes altas y estribaciones orientales de la cordillera oriental; presenta una superficie de 5.177,25 ha. (INEFAN, 1998: p. 45).

El Parque Nacional Sangay es la tercera área protegida más extensa del continente, se caracteriza por sus amplios paisajes prácticamente inalterados y sus altos niveles de endemismo y diversidad ecológica los cuales permitieron que la UNESCO lo declarará Patrimonio Natural de la Humanidad en 1983.

El PNS se encuentra ubicado en cuatro provincias: Tungurahua, Chimborazo, Cañar y Morona Santiago siendo la última la provincia que contiene mayor parte del territorio (80%). Está constituido por 327 lagunas, destacando los sistemas lacustres del Altar, Ozogoche y las lagunas de Atillo, Sardinayacu, Culebrillas, Negra, así como las aguas termales El Placer (ECOLAP y MAE, 2007: p. 3).

El sistema hidrológico del PNS incluye 11 subcuencas, 69 subcuencas principales, 5 subcuencas secundarias y 8 subcuencas terciarias pertenecientes a cuatro subsistemas fluviales principales, a saber, los ríos Pastaza, Santiago, Cañar y Chimbo. La mayor parte de los recursos hídricos del PNS son utilizados para riego y generación hidroeléctrica principalmente; para riego en la Provincia de Chimborazo se captan las aguas de los ríos Cebadas, Chambo, Guarguallá, Alao y Tingo, mientras que para regar algunas parroquias de los cantones de Cañar y el Tambo se captan las aguas de los ríos San Antonio (Culebrillas), Guayllabamba y Silante. “Los ríos Alao, Ozogoche y Atillo” son tributarios del río Chambo, afluente del Pastaza el cual alimenta la central hidroeléctrica de Agoyán. (INEFAN, 1998: p. 53).

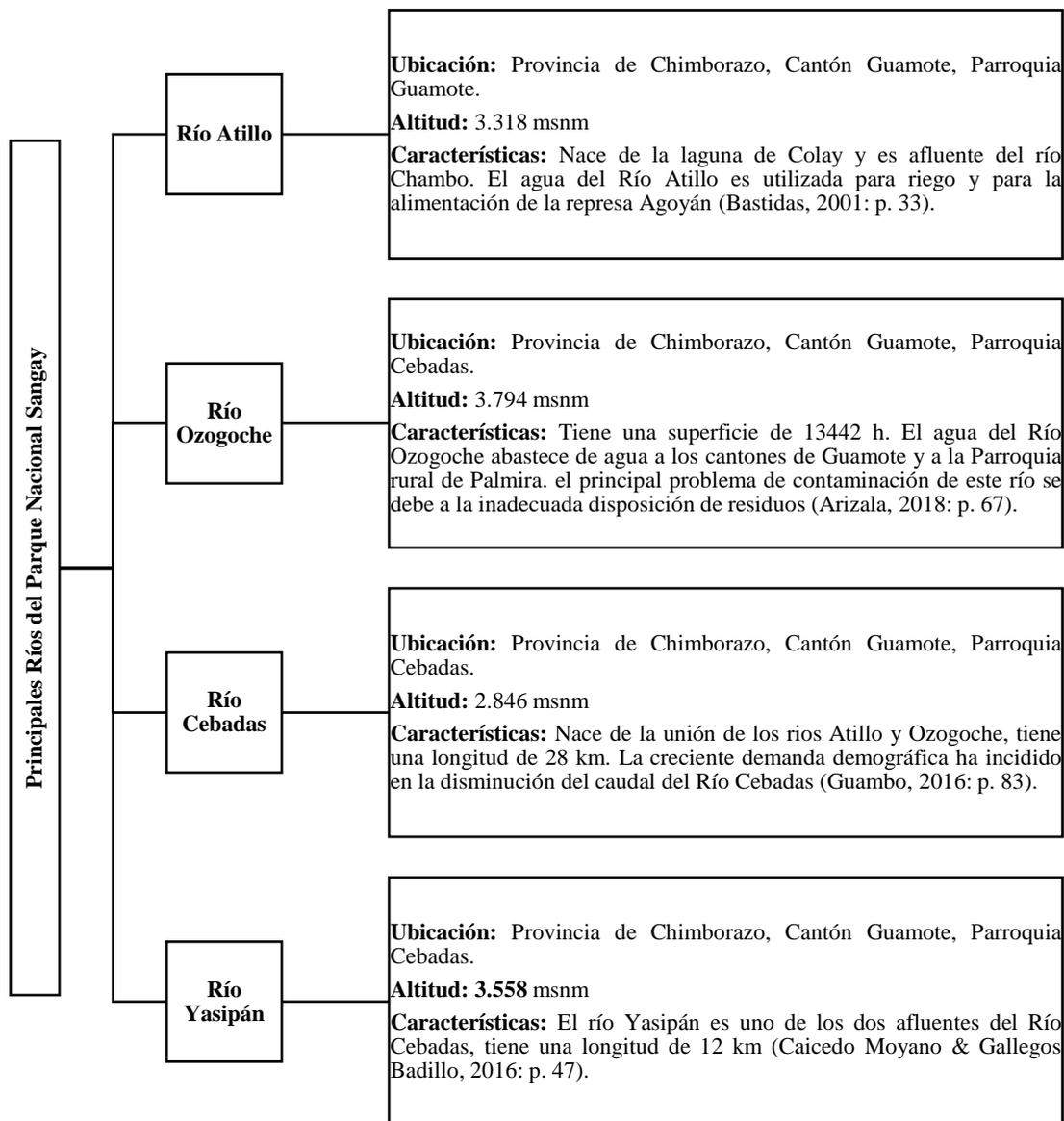


Figura 1-2: Ríos del Parque Nacional Sangay

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

2.3 Los recursos hídricos de altitud, importantes escenarios de conservación

Los recursos hídricos se encuentran en diferentes formas y lugares como en los océanos, atmosfera, lagos, ríos y aguas subterráneas, etc. Los recursos hídricos de altitud son de gran importancia para el ciclo hidrológico donde el agua es captada, almacenada y distribuida a través de sus vertientes. Este tipo de recursos cumplen con varias funciones ecológicas, ambientales, socioeconómicas; entre las funciones ecológicas estos recursos: abastecen el hábitat para el desarrollo y conservación de flora y fauna, influyen en las interacciones físicas y químicas del agua; además se encargan de controlar la recarga hídrica y los ciclo biogeoquímicos, constituyen sumideros de CO₂, alojan bancos de germoplasma; finalmente, proveen de recursos necesarios para el desarrollo de actividades productivas que sirven de sustento a la población (Vásconez et al., 2019: p.16).

2.4 Clasificación del Agua según su Origen

Estos tipos de agua tienen diferentes sustancias disueltas o suspendidas como sales minerales, gases y material partículas en cantidades variables según de donde procedan.

2.4.1 Agua superficial:

Es aquella que se encuentra almacenada en la superficie del terreno como puede ser los ríos, lagos y lagunas.

2.4.2 Agua subterránea:

Es toda aquella agua que se encuentra en el subsuelo como puede ser agua de pozos.

2.4.3 Aguas meteorológica o atmosférica:

Es aquella que se encuentra en forma de lluvia.

2.4.4 Agua de mar:

Es aquella agua que se encuentra en los mares y se diferencia por su alta salinidad.

2.5 Clasificación de los Cuerpos de Agua

Se encuentran en la superficie terrestre o en el subsuelo, la cual se encuentra interconectada desde la atmosfera hasta los océanos por medio del ciclo hidrológico, aquí vamos a definir los cuerpos de aguas que se encuentra en la Tierra:

2.5.1 Ríos:

Son aquellas corrientes que se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente, son considerados cuerpos de agua porque se encuentran combinados y se mueven desde partes altas a partes más bajas. (Esparza y Tibanquiza, 2020: p. 28).

2.5.2 Lagos:

Son aquellos sistemas acuáticos de agua dulce, tienen velocidades muy bajas que varían entre 0.01 y 0.001 m/s, lo cual hace que el agua permanezca en el sistema durante varios años, la calidad del agua de los lagos se encuentra en períodos de estratificación (Esparza y Tibanquiza, 2020: p. 28).

2.5.3 Aguas subterráneas:

Son acuíferos que se encuentra en el subsuelo, el flujo es relativamente estable en cuanto se habla de velocidad y dirección que varía entre 10-10 y 10-3 m/s (Esparza y Tibanquiza, 2020: p. 28).

2.5.4 Cuenca Hidrográfica:

Es aquella parte que se encuentra en el lugar más alta de las montañas, laderas o colinas, aquí se forma un sistema de drenaje superficial que almacena sus aguas en un río principal donde llega a integrarse al mar o lago. Las cuencas se sitúan en el suelo, agua y vegetación, ahí reside el hombre donde realiza actividades (Faustino y Jimenez 2000: p. 35).

2.6 Clasificación de las Cuencas Hidrográficas

En base al sistema de drenaje y su conducción final, se clasifican en:

2.6.1 Arréicas:

No consiguen drenar a un río, mar o lago, llegan a desaparecer por evaporación o infiltración y no forman escurrimiento subterráneo.

2.6.2 Criptorréicas:

Cuando sus aguas corren como ríos en el subsuelo, y sus redes de drenaje no llevan un sistema ordenado.

2.6.3 Endorréicas:

Son aquellas que drenan en un embalse o lago.

2.6.4 Exorreicas:

Cuando las vertientes conducen las aguas a un río o mar (Faustino, 2000: p. 13).

Según su balance Hídrico las cuencas hidrográficas son:

2.6.5 Subcuenca:

Ríos que drenan en el río principal de una cuenca. La unión de subcuencas forma una cuenca.

2.6.6 Microcuenca:

Unidades pequeñas, que originan quebradas y riachuelos. La unión de varias microcuencas forma una Subcuenca (Faustino, 2000: p. 12).

2.6.7 Servicios ecosistémicos de fuentes hídricas andinas

Los servicios ecosistémicos hidrológicos son aquellos beneficios que proporcionan las cuencas hidrográficas al ser humanos. Estos servicios se dividen en:

- a. Servicios de aprovisionamiento relacionados a la extracción (o desviación) de agua,
- b. Servicios de aprovisionamiento relacionados al uso del agua directamente en el cuerpo de agua,
- c. Servicios de regulación relacionados a la mitigación del daño provocado por el agua,
- d. Servicios culturales relacionados al agua (espiritual y estético),
- e. Servicios de soporte relacionados al agua como fuente de otros servicios (Tique, 2021: p. 5).

2.6.8 Causas generales y específicas de deterioro morfométrico de cuencas hídricas

Las principales causas del deterioro de cuencas hídricas están relacionadas con los vertidos provenientes de actividades agrícolas, ganaderas, industriales y domésticas. Este tipo de actividades provoca que la cantidad de agua de buena calidad sea limitada, escases de agua durante el verano, pérdida de la capa fértil del suelo y desaparición de flora y fauna silvestre (Júarez et al., 2017: p. 1).

La disminución de la calidad y cantidad del recurso hídrico tiene su origen en la destrucción de los bosques por el avance de la frontera agrícola, en el uso del suelo para cultivos, provocando la pérdida de la capa protectora del suelo, reducción de la capacidad de infiltración de la lluvia y el aumento de la tasa de erosión del suelo.

Entre las causas específicas se puede establecer las condiciones de vida de los habitantes que viven en zonas cercanas a las cuencas, entre las cuales se puede definir: bajos ingresos familiares e inseguridad alimentaria, falta de tecnologías, problemas fitosanitarios y la falta de políticas que beneficien a los pobladores y al ambiente (Londoño, 2001: p. 88).

2.7 Estrategias de conservación de recursos hídricos

2.7.1 Levantamiento y manejo de información de la Calidad del Agua en las Cuencas Hidrográficas

A partir de esta estrategia se busca generar un registro con información relacionada con la calidad del agua como datos físicos, químicos, biológicos, microbiológicos y radiológicos. Para el cumplimiento de esta estrategia se propone tres líneas de acción: Sistema nacional de información de la calidad del agua de los recursos hídricos, monitoreo de la calidad del agua para el levantamiento de la información de las cuencas hidrográficas y manejo y evaluación de la información de la calidad del agua de los recursos hídricos.

2.7.2 Control de la calidad del agua de los recursos hídricos

Se pretende optimizar y crear mecanismos de control eficientes que permitan controlar la contaminación de las fuentes de agua, por medio de esta estrategia se promueve la generación de espacios que permitan el establecimiento del recurso hídrico mediante mecanismos de control y vigilancia del agua en las fuentes, zonas de recarga, usos, aprovechamientos y destinos del agua conforme a los estándares de calidad establecidos en el marco regulatorio y el desarrollo de acciones de control interinstitucional.

2.7.3 Mejoramiento de servicios públicos relacionados al agua

Por medio de esta estrategia se busca fortalecer las capacidades de los prestadores de servicios de manera que se evite la descarga directa de aguas residuales y se realice un tratamiento adecuado para el agua de consumo y sus diferentes usos, además de prevenir la contaminación durante el almacenamiento, distribución y manipulación del agua de consumo de pueda disminuir las enfermedades de origen hídrico y la afectación de los ecosistemas vinculados al agua.

2.7.4 Cultura del agua

Con esta estrategia se aspira concientizar y sensibilizar sobre el uso y aprovechamiento del recurso hídrico, promover la acción conjunta del gobierno central, GADs y organizaciones comunitarias y la participación social para la conservación y mejoramiento de estado ecológico de los ríos en las cuencas hidrográficas.

2.7.5 Conservación y protección de la calidad del agua

Los recursos hídricos son indispensables en el desarrollo de procesos naturales y las actividades humanas, a partir de esta estrategia se promueve la generación de instrumentos para determinar caudales ecológicos, áreas y zonas de protección y conservación que permitan gestionar las fuentes de agua (SENAGUA, 2016: p. 75-81) .

2.8 Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente establece las políticas básicas ambientales del Ecuador, cuyo principio fundamental es promover el desarrollo en base a la sustentabilidad, para lo cual presenta un listado de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que permiten normar y regular el uso del recurso agua, así como también los requisitos que deben cumplir los efluentes destinados a descargas.

El Libro VI, Anexo I presenta la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso agua, la cual tiene como objetivo principal proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

La normativa establece:

- a. Los principios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua;
- b. Las definiciones de términos importantes y competencias de los diferentes actores;
- c. Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos;
- d. Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- e. Permisos de descarga;
- f. Los parámetros de monitoreo de las descargas de industrias de importancia

En base a los criterios de calidad por usos se clasifican en:

1. Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización.
2. Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.
3. Criterios de calidad para aguas subterráneas.
4. Criterios de calidad para aguas de uso agrícola o de riego.
5. Criterios de calidad para aguas de uso pecuario.
6. Criterios de calidad para aguas con fines recreativos.
7. Criterios de calidad para aguas de uso estético.
8. Criterios de calidad para aguas utilizadas para transporte.
9. Criterios de calidad para aguas de uso industrial.

2.9 Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.

Estos criterios se establecen para actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas sin causar alteraciones, además de actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura (TULSMA).

2.9.1 Parámetros que determinan la contaminación del Agua

La contaminación del agua se da por el hombre en forma directa o indirectamente por sustancias o energía a los cuerpos de agua alterando así su calidad. Las propiedades que llegan alterarse son: color, olor, sabor, turbidez, temperatura y la conductividad.

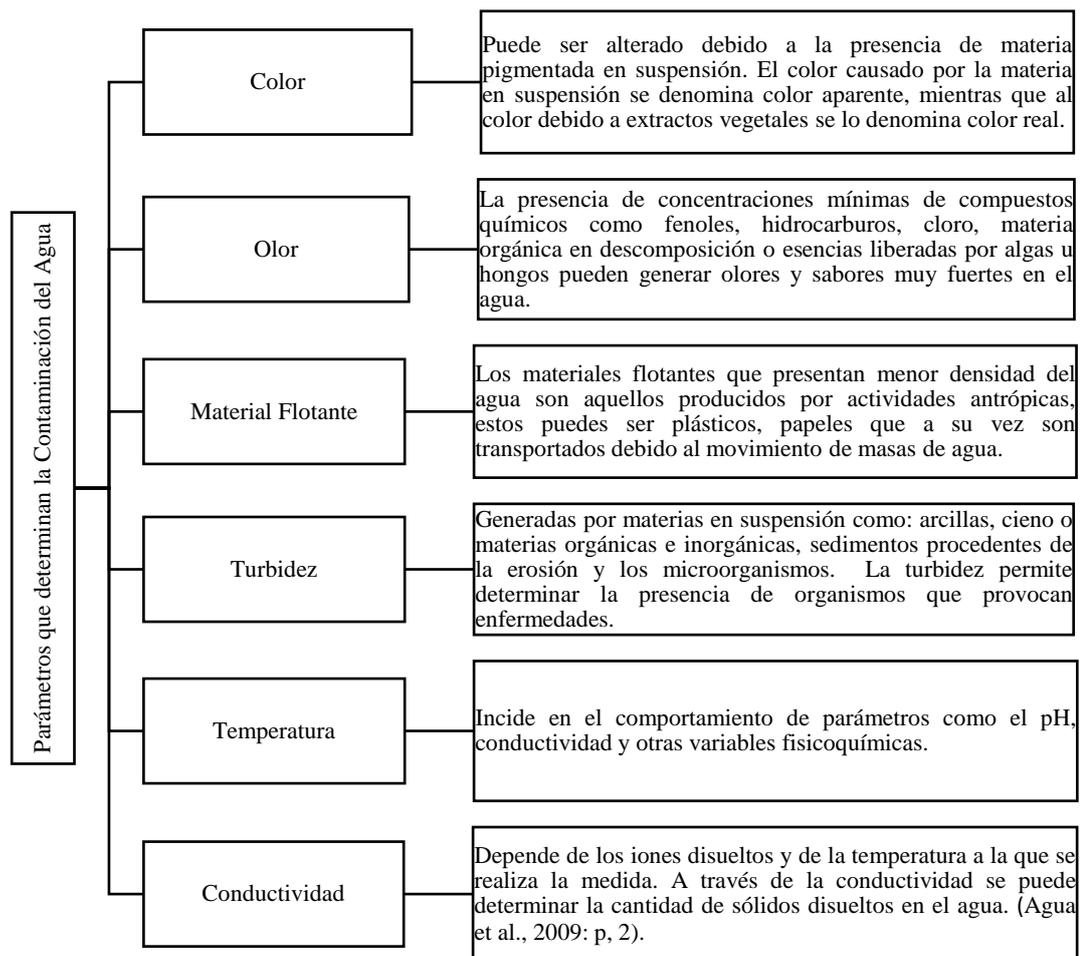


Figura 2-2: Parámetros que determinan la contaminación del agua
Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

2.9.1.1 Contaminantes químicos

- Sulfuros y Sulfatos
- Nitrógeno (Nitrógeno Orgánico o Nitrógeno amoniacal)
- Nitratos y nitritos
- Metales pesados
- Fosfatos
- Detergentes
- Fenoles
- Hidrocarburos

2.9.1.2 *Parámetros para el Análisis de la Calidad del Agua*

Para determinar el índice de calidad del agua, las características fisicoquímicas son tomadas en el sitio de muestreo de cada estación, además, se toman muestras de agua que serán evaluados y comparadas, se realiza durante la época lluviosa. Estas características se encuentran relacionadas directamente con las condiciones climáticas de sitio de muestreo

2.9.1.3 *Parámetros Físicos*

- **Conductividad**

El agua es un aislante eléctrico donde las sustancias disueltas proporcionan al agua la capacidad de conducir la corriente eléctrica. Para tomar la conductividad de una muestra se lo debe realizar in situ y las muestras se almacenan en frascos de polietileno a una temperatura de 2-4 °C. La forma más común para tomar la conductividad del agua es con instrumentos de lectura directa que el resultado son expresados en unidades de micro siemens cm-1 ($\mu\text{S cm}^{-1}$) (Romero, 2009: p. 114).

$$SD \text{ (mg/L)} = 0,8 \cdot \Lambda_0 \text{ (}\mu\text{S cm}^{-1}\text{)}$$

- **Turbidez**

Este parámetro es la propiedad óptica de una suspensión en la cual la luz que ingresa será remitida y no transmitida por la suspensión. En el agua la turbidez se da por materiales que se encuentran suspendidos que se encuentran en diferentes tamaños como puede ir desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas. Las unidades que se utiliza NTU, donde a mayor luz remitida en suspensión mayor turbidez, los valores de turbidez que generen sirven para determinar el grado de tratamiento requerido (Romero, 2009: p. 107).

- **Temperatura**

Es un parámetro muy importante del agua ya que es una magnitud escalar que nos ayuda a medir la cantidad de energía térmica que tiene un cuerpo para saber así, si afecta o no a la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas (Sierra Ramírez, 2011: p. 58).

- **Sólidos Disueltos**

Es el resultado de la diferencia de los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Si se determina de manera directa se seca a una temperatura de 103 – 105°C, el líquido se evapora mientras que en el fondo permanecen los sólidos disueltos (Minaya, 2017: p. 37).

2.9.1.4 *Parámetros Químicos*

- **Nitrógeno Amoniacal**

Es la cantidad total de nitrógeno que se encuentra como ion amonio. Este indicador a manera de ion amoniaco o ion amonio (Sierra Ramírez, 2011: p. 71).

- **pH**

Permite medir la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. Se lo puede medir in situ o en el laboratorio utilizando un pH-metro (Sierra Ramírez 2011: p. 75).

- **Nitratos**

Es un contaminante común del agua, es inodoro, incoloro. Entre las principales fuentes de nitrato se encuentran en fertilizantes, estiércol, compost los cuales llegan fácilmente a fuentes de agua por lixiviación (Minaya, 2017: p. 38).

- **Fosfatos**

En el agua la cantidad de fósforo se encuentra como fosfatos (PO₄)³⁻, nos ayuda a controlar la eutrofización en los cuerpos de aguas este problema se da por detergentes, fertilizantes, escurrimiento de tierras agrícolas y desechos industriales (Minaya, 2017: p. 38).

2.10 Diversidad de Diatomeas como determinantes en la calidad del agua

Las diatomeas son un grupo de microalgas unicelulares de la familia *Bacillariophyceae*. El tamaño de estas algas varía desde menos de 10 micras de longitud hasta 1 mm de diámetro para las especies más grandes, e incluso dentro de la misma especie, la diferencia de tamaños puede alcanzar hasta unas treinta veces más su tamaño normal, como resultado de un característico método de reproducción (Siqueiros-Beltrones et al. 2014, p. 1065-1085). Una característica especial de este tipo de algas es que se encuentran rodeadas por una pared celular única, hecha de sílice (dióxido de silicio hidratado) llamada frústula y que se pueden encontrar solitarias o conformando cadenas. La clasificación de este grupo se basa en dos aspectos principales: simetría y características de la pared celular, y forman el grupo más importante de fitoplancton porque contribuyen con cerca del 90% de la productividad de los sistemas acuícolas. Gran número de diatomeas mueren como consecuencia de los cambios estacionales, como por ejemplo aquellos que provocan el empobrecimiento local del material nutritivo, alteraciones medio ambientales, su transporte por movimientos verticales del agua (Vélez, et al, pp. 1-12). Los macroinvertebrados, peces, los bosques de ribera, diatomeas y los análisis fisicoquímicos se han utilizado como bioindicadores para evaluar la calidad del agua de los ríos (Luis Godínez-Ortega et al. 2017, p. 45-58)

2.10.1 Factores que inciden en la diversidad de diatomeas

Condiciones ambientales como luz, temperatura, pH, entre otras, afectan el crecimiento y asimilación de nutrientes en las microalgas (Díaz y Rivera, 2004: p. 12-18) La luz es la fuente de energía que conduce a las reacciones fotosintéticas, por lo que al trabajar con microalgas se debe considerar la calidad, cantidad y ciclo de la fotosíntesis, ya que varían según su tipo, afectando el crecimiento y sintetizan compuestos orgánicos como lípidos, carbohidratos y proteínas. , si la intensidad de la luz es muy fuerte, se produce un efecto foto-inhibidor, reduciendo su crecimiento.

2.10.1.1 Temperatura en microalgas

La temperatura también regula el metabolismo de las microalgas, así como la composición de la biomasa y la tasa de crecimiento, siendo el rango óptimo para la mayoría de las microalgas entre 18 y 22 °C.

2.10.1.2 pH en microalgas

En cuanto al pH, el rango óptimo para la mayoría de las microalgas está entre 7 y 9, siendo tolerables valores superiores a este, ya que los valores ácidos suelen provocar la muerte de las microalgas y también afecta a la solubilidad de algunos compuestos en el medio de cultivo, por lo que a pH elevado disminuye la asimilación de algunos metales traza (Dr. Vladimir, 1967, p. 5-24), teniendo efecto inhibitorio sobre el crecimiento de las microalgas.

2.10.1.3 Turbulencia

La Turbulencia es de gran importancia ya que permite una distribución uniforme de las microalgas en su entorno, facilitando la asimilación de nutrientes, la captación de luz, mejorando el intercambio gaseoso y tiene una función termorreguladora (Dr. Vladimir, 2013: pp. 5-24).

2.10.1.4 Salinidad

La salinidad regula principalmente el crecimiento basado en la ósmosis, que varían ampliamente entre las especies de microalgas y pueden tener efectos letales (Hernández y Labbé, 2014: pp. 157-173). Entre los nutrientes necesarios para el crecimiento de las microalgas se destacan el carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio, calcio, sodio y hierro.

2.10.1.5 Naturaleza del sustrato

Las diatomeas pueden encontrarse en diferentes sustratos, por lo común viven adheridas al medio en que se desarrollan. Tienen dos modos principales de vida: muchos son planctónicos, es decir, viven flotando en la columna de agua, mientras que otros son periféricos, con un ciclo de vida adherido a un tipo de sustrato. En estas últimas, según el sustrato sobre el que se anclan, se distinguen tres grandes grupos: epífitas, epilíticas y epipélicas, según se trate de sustratos rocosos, vegetativos o sedimentarios, respectivamente (Zoppi y Ayma 2013: pp. 251-253)

2.10.2 Reproducción de las Diatomeas

Se reproducen asexualmente por división celular, a menudo produciendo esporas resistentes que pueden persistir durante largos períodos de tiempo enterradas en los sedimentos. Su forma de vida es principalmente Holoplanctónica (viven todo su ciclo de vida en la columna de agua) o mero planctónica (pasan parte de su ciclo de vida en forma de quistes, enterrados en el sedimento); Por ello, son abundantes en ambientes marinos, y relativamente menos en ambientes continentales (Cubas, 2008, pp. 1-5).

Antes de la división celular en diatomeas, es esencial que la pared celular esté completamente construida. Los detalles de su formación no se conocen del todo; Entenderlo permitirá producir

nanoestructuras con una gran cantidad de aplicaciones en diferentes campos, incluido el de la electrónica, que han sido objeto de investigación por parte de diferentes grupos de investigación (Lora y Pérez, 2020: pp. 1689-1699)

2.10.3 Ventajas de las Diatomeas como bioindicadoras

Para facilitar el análisis comparativo y estimar el método ideal a aplicar en cada caso, se pueden establecer una serie de ventajas generales del uso de diatomeas como indicadores ecológicos en ecosistemas fluviales. Existen algunas características que las diatomeas presentan tales como:

- **Sensibilidad:** Las diatomeas, que forman parte de los principales productores de los sistemas acuáticos, son muy sensibles a los cambios en la naturaleza química del medio ambiente, especialmente las concentraciones de nutrientes (P, N, Si) y la presencia de contaminantes. Constantemente expuestos al agua, responden de manera muy específica a los cambios ambientales en los ecosistemas en los que prosperan (PICCARDO ANTUNEZ, Andrea 2020, p. 50).
- **Ubicuidad:** Las diatomeas pueden estar presentes en casi cualquier sistema acuático, creciendo en muchas formas de vida (plancton, colonias, etc.), por lo que pueden usarse como biorreguladores en casi todos los ecosistemas en los que el agua es parte de los organismos.
- **Cosmopolitismo:** La distribución de la división *Bacillariophyta* (diatomeas) es básicamente mundial, encontrándose desde los polos hasta regiones desérticas, tanto en aguas dulces como marinas, salobres, térmicas y super alcalinas, en una amplia gama de condiciones ambientales.
- **Precisión estadística:** Los indicadores diatomológicos más comunes se basan en la identificación de un mínimo de 400 individuos por muestra. Esto significa que el error que se comete al estimar la composición de la comunidad es inferior al 10% en todos los casos, lo que supone una mayor fiabilidad y precisión de estos métodos desde el punto de vista estadístico (PICCARDO ANTUNEZ, Andrea, p. 83).

2.10.4 Morfología de las Diatomeas

Las diatomeas son algas microscópicas, unicelulares y eucariotas, constituidas en un 60% por sílice (SiO₂), debido a que la célula está protegida por un caparazón de silicio denominada tallo, que le confiere una gran rigidez y resistencia. La estatua se compone de dos mitades entrelazadas, llamadas teca, la parte superior (el epitelio) es siempre más grande y la parte que rodea la parte inferior (la empuñadura). Cada teca consta de una válvula (epi-e hipovalva respectivamente) y un cingulo (epi-e hipocingulo). Sobre la válvula se ha desarrollado toda una gama de internos que permiten determinar la clasificación (Lozano y Navas, 2010: p. 84)

La división de las diatomeas se da en dos grandes grupos según su morfología: centrales con valvas radialmente simétricas y emplumadas con valvas bilateralmente simétricas. De acuerdo con la taxonomía diatómica propuesta por (Bargu y Ozhan 2011: p. 520) pertenecen a una división de tres clases, la clase *Coscinodiscophyceae*, en la que se clasifican todas las diatomeas centrales, y las clases *Fragilariophyceae* y *Bacillariophyceae* en las que se agrupan las diatomeas blancas. La observación de diatomeas bajo un microscopio óptico requiere el conocimiento de dos lugares donde pueden aparecer. Cuando miramos la pleura, observamos el eje transversal de la célula, distinguiendo sus componentes básicos: los dos tubos telescópicos y el corion que los une. En vista de válvula se observa una de las válvulas de la celda con los elementos decorativos que la componen y que nos permiten definir su clasificación (Lozano y Navas, 2010: p p. 83-116).

2.10.5 Ecología de las Diatomeas

Las diatomeas se distinguen por su abundancia en organismos bénticos y también por su rápida colonización de sustratos. Su distribución espacial y temporal determina la distribución de otros microorganismos, como bacterias, hongos, microfauna, meiofauna y macrofauna, por lo que juegan un papel ecológico importante en las comunidades bentónicas (Buendia et al., 2015: pp. 531-558). Esta comunidad es muy rica en sustratos y organismos, por lo que se ha hecho un esfuerzo por clarificar la terminología de las formas de vida.

Una característica muy relevante a la hora de utilizar las diatomeas como ligante biológico de la calidad del agua es su susceptibilidad a determinados factores ambientales (parámetros físicos, concentraciones de determinadas sustancias, etc.). Cuando su sensibilidad es alta, la presencia del elemento provoca la desaparición de los individuos sensibles a él. Las especies pueden ser moderadamente sensibles al elemento o incluso indiferentes, por lo que su papel como organismo bioindicador se ve disminuido (Fonseca y Silva 2017: p. 3-8).

2.11 Índices de Diversidad

Estos índices han sido propuestos para describir la abundancia y equidad de las especies, y se conocen como índice de riqueza e índice de equidad; combinan la riqueza y uniformidad de especies en un solo valor y se refieren a algoritmos matemáticos que describen una cierta cantidad de diversidad de especies en el área. Un índice es una forma de número biológico que genera información y criterios para evaluar la contaminación en función de la integridad del ecosistema.

2.11.1 Índice de diversidad de Simpson

El índice de Simpson es un indicador de dominancia más que de diversidad y representa la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie. Su inversa se considera un buen indicador de diversidad. Varios estudios vinculan la riqueza y diversidad de especies con los niveles de perturbación en los ecosistemas forestales (López y Fagilde, 2017: p p. 457-466).

2.11.2 Índice de diversidad Rao

El índice de biodiversidad de Rao, compara la diversidad funcional utilizando características funcionales para evaluar la variabilidad, es una aproximación del índice de diversidad de Simpson.

2.11.3 Índice de diversidad Shannon-Wiener

Este índice se basa en la teoría de la información (mide el contenido de información de cada símbolo de un mensaje que consta de símbolos discretos de tipo S, y la probabilidad de que estos símbolos sean $p_1 \dots p_S$), y quizás el más utilizado en comunidad ecológica (Valdez Marroquín et al. 2018, p. 1674-1682). Como indicador de diversidad, mide el contenido de información de cada individuo en una muestra extraída aleatoriamente de una comunidad "grande" con el número total de especies S. La diversidad conocida también se puede considerar como una medida de incertidumbre al predecir a qué especie pertenece un individuo seleccionado al azar de una muestra de especies S e individuos N.

2.11.4 Índices no convencionales

2.11.4.1 Índice de Polusensibilidad (IPS)

Este índice refleja las variaciones debidas a la presencia de nutrientes o de contaminación orgánica en general. El IPS es el indicador que sirve para evaluar el estado relativo al indicador de calidad de organismos fitobentónicos en el caso de masas de agua de la categoría ríos, utiliza las diatomeas para determinar la calidad del agua existente, se calcula sobre la base de las medias ponderadas de los valores de sensibilidad a la contaminación (S_j), valor indicador de contaminación (V_j) y abundancia relativa de la especie (j) (Pujante et al. 2016, p. 201-218) .

El valor S del IPS varía entre 1 y 5, las especies que son insensibles a la contaminación y, por tanto, crecen en aguas contaminadas tienen valores bajos de S (1), mientras que las que viven en aguas limpias, por ser sensibles a la contaminación, tienen un alto valor de S (5). El valor de V indica el espectro de distribución de la especie y varía entre 1 y 3 (Pujante et al. 2016, p. 201-218). Las especies con estrecha valencia ecológica y que por tanto crecen en masas de agua con determinadas características, tienen valores de V elevados, próximos al mismo 3 y serían buenos indicadores de calidad del agua. Sin embargo, especies que son capaces de crecer en ambientes muy diferentes, al no tener requisitos estrictos, tienen valores bajos de V (1), y no serán un buen indicador de la calidad del sistema que están desarrollando.

El resultado del IPS es un valor numérico que oscila entre 1 y 20, representando estos valores los estadios de mínima y máxima calidad biológica posibles, respectivamente, para un determinado tramo fluvial.

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Área de estudio

El área de estudio de este proyecto de investigación se centra en la Microcuenca del río Cebadas, perteneciente al cantón Guamote en la provincia de Chimborazo, el cual cuenta con un rango altitudinal oscila entre 1.000 y 6.000 msnm., la zona alta está representada por elevaciones como el Tungurahua, Altares, Sangay, los Cubillines, Atillo y Ozogoche.

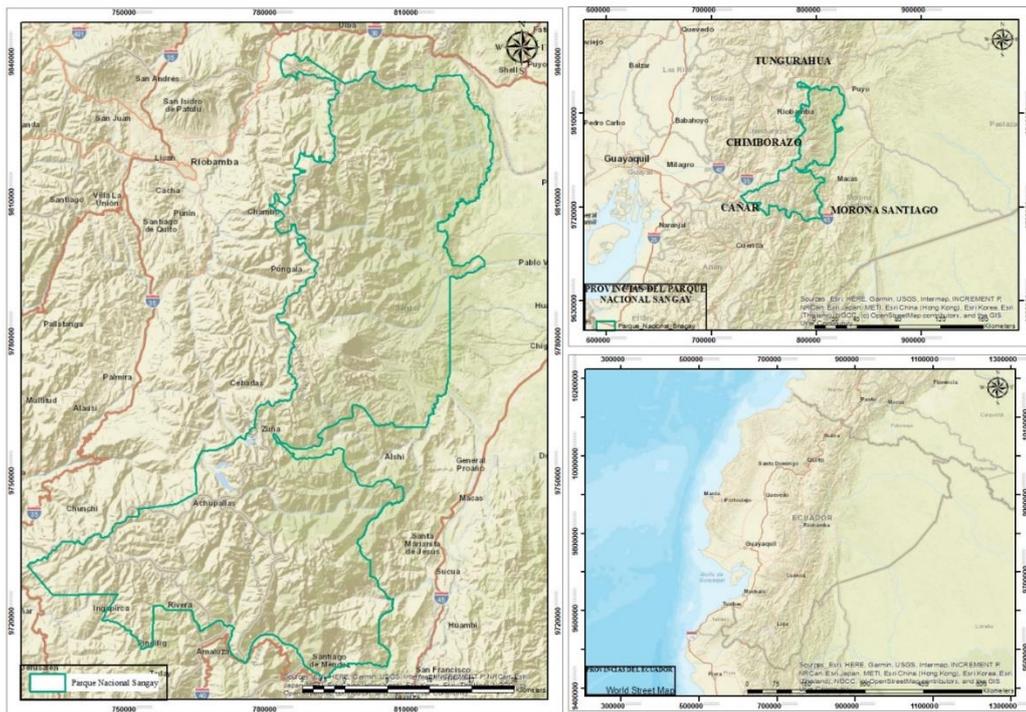


Figura 3-3: Ubicación de los puntos de monitoreo
Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

3.2 Coordenadas del Área de Estudio

El presente estudio se desarrollará en 4 ríos pertenecientes a la microcuenca del Río Cebadas: Río Atillo, Río Ozogoche, Río Yasepan y Río Cebadas

Tabla 1-3: Coordenadas del Área de Estudio

	X	Y
P1	768104	9750118

P-3	765230	9753987
P-5	773739	9757516
P-7	769599	9761686
P-8	768563	9765930
P-10	767415	9768396
P-12	774525	9768048
P-14	767234	9770122
P-15	765040	9772378
P-18	763513	9792343

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

3.2.1 Tipos de Ecosistemas

En las zonas aledañas a la microcuenca del Río Cebadas se puede evidenciar la presencia de diversos ecosistemas, entre los que podemos mencionar:

Tabla 2-3: Ecosistemas Remanentes del Cantón Guamote

Tipo de Ecosistema	Ha	%
Arbustal Siempreverde montano del norte de los Andes	71.00	0.48
Arbustal Siempreverde y Herbazal del Páramo	13452.00	51.63
Bosque Siempreverde del Páramo	40.00	2.74
Bosque Siempreverde montano alto de Cordillera Occidental de los Andes	176.00	1.84
Bosque Siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	258.00	1.95
Bosque Siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes	15.00	0.07

Fuente: (Guamote, 2019)

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

3.2.2 *Temperatura*

Los meses de febrero, marzo y abril presentan temperaturas elevadas, mientras que los meses de mayo a octubre presentan temperaturas ligeramente más bajas con respecto a la media anual. La temperatura promedio en el cantón Guamote es de 13.6°C.

3.2.3 *Caudal Referencial*

El cantón Guamote forma parte de la cuenca del río Pastaza, de donde nacen los ríos Atillo, Ozogoché, Yasepan, Tingo, entre otros, en la parroquia Cebadas. En la Parroquia La Matriz se localizan los acuíferos y vertientes de los ríos Guamote y Chipó. Un importante elemento del sistema hídrico del cantón lo constituye el complejo lacustre de Atillo y La Laguna Negra de los cuales nacen el río Atillo y el río Upano que forma parte de la cuenca del Río Santiago. Los máximos módulos de escurrimiento mensual pertenecen al período marzo-mayo. Las variaciones mensuales no son relativamente altas, es así como en el río Guamote fluctúan entre los 3.5 y 6.7 l/s/km². Los caudales mínimos se registran en forma regular en los meses de noviembre y diciembre. Los usos consuntivos en esta zona son altos, es por esto que los caudales en períodos de estiaje descienden notoriamente. El Cantón Guamote dispone de 109 sistemas de riego, con un área de riego de 11.038,94 ha, con un caudal de 3744 litros por segundo y una dotación de 0,34 litros por segundo y por hectárea, distribuidas en 44 sistemas de riego en la parroquia La Matriz que representa el 40,37%, seguido de la parroquia de Palmira con 34 sistemas que corresponde el 31,19% y finalmente la parroquia de Cebadas con 31 sistemas de riego con el 28,44% (Kara, 2014, p. 107) .

3.3 *Enfoque de investigación*

La recolección de muestras se realizará durante un período de cuatro meses, para ello se aplicarán dos métodos de muestreo: cualitativo, cuantitativo y mixto, enfatizando un muestreo aleatorio estratificado en los nueve puntos donde se tomarán tres muestras aleatorias simples de cada uno de los estratos. Se empleará un enfoque criterial en el cual se realizará un muestreo de inducción a fin de reconocer los diferentes afluentes de la Microcuenca del Río Cebadas, en el que se evidencie mayor presencia de diatomeas.

3.3.1 *Cuantitativo*

El enfoque de la investigación es cualitativo debido a que manipulamos distintas variables como pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos y nitrógeno amoniacal, tratando de conocer la variabilidad de los resultados durante el periodo de

4 meses (junio, julio, agosto y septiembre). Y con respecto a las diatomeas se realiza un enfoque cuantitativo para determinar la abundancia de las especies.

3.3.2 *Cualitativo*

El enfoque cualitativo de la investigación se da debido a la identificación de las diatomeas epilíticas con respecto a la taxonomía de cada especie.

3.3.3 *Mixto*

En la microcuenca del río Cebadas se han aplicado algunos índices ecológicos en varios estudios como, la evaluación de la calidad del agua mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos establecidos en el Libro VI, Anexo I, Tabla 3. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario del TULSMA, también la diversidad existente con el índice Alpha Shannon-Wiener para medir el caudal.

El proyecto de investigación se realizó en base a 4 monitoreos de diferentes meses con 10 puntos distintos de la microcuenca del río Cebadas. La recolección de diatomeas se realizó utilizando piedras planas del centro de los ríos y las muestras se colocaron en tubos eppendorf de 10ml; para los parámetros físicos del agua, se determinaron in situ parámetros como: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, y los otros parámetros como: nitritos, nitratos, sulfatos, fosfatos y nitrógeno amoniacal del agua se analizaron en el laboratorio de Calidad de Agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- *Determinación de la Calidad del Agua*

Para determinar si los resultados de los parámetros medidos en el desarrollo de la investigación son adecuados, se empleará la Tabla 3: Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en Aguas Dulces, Marinas y de Estuarios del Libro VI, Anexo I del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente.

Tabla 3-3: Criterios De Calidad Admisibles Para La Preservación De La Vida Acuática Y Silvestre En Aguas Dulces, Marinas Y Estuarios

TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y ESTUARIOS			
PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
			Agua dulce

Aluminio	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoniaco Total	NH3	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	ug/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl2	mg/l	0,010,2	0,01
Clorofenoles		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como Fenoles	mg/l	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	Visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05

Fuente: (TULSMA,2015)

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

- *Abundancia de las especies de Diatomeas Epilíticas*

La abundancia relativa de Diatomeas Epilíticas encontradas en los ríos de la microcuenca estudiada ayuda a determinar qué tan comunes o raras son las especies en el ecosistema; la abundancia absoluta se conoce como el número de especies que se encuentran en un lugar o área determinada, por lo tanto, la abundancia relativa se calcula dividiendo el número de especies de un grupo por el número total de especies en general, multiplicado por 100 para encontrar el porcentaje final. Es importante mencionar que las especies con un valor superior al 5% se consideran representativas.

- *Determinación del índice de Shannon-Wiener*

Para el índice de Shannon Wiener (diversidad alfa, abundancia), se tiene en cuenta una tabla de datos con la clasificación de todas las especies de diatomeas identificadas durante el análisis y el número presente en cada sitio. Tiene un rango de valores por lo general desde 1,5 que indica baja diversidad y 3,5 que indica alta diversidad (Pla, 2006, p. 583-585)

La fórmula que se utiliza para el cálculo de este índice es la siguiente:

$$H = \sum p_i \ln p_i$$

Donde:

H: Es el Índice de Shannon-Wiener

p_i : La abundancia proporcional de las i -ésimas especies, es igual a (n/N)

n_i : El número de especies de un lugar particular

N: El número de individuos de todas las especies

Tabla 4-3: Interpretación del índice de Shannon Wiener

Valores	Interpretación
0.1 – 1.5	Diversidad baja
1.6 – 3.0	Diversidad media
3.1 – 4.5	Diversidad alta

Fuente: (Mora Donjuán et al., 2017)

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

- *Determinación del índice de Simpson*

El índice de dominancia de Simpson indica la abundancia de las especies más frecuentes, es decir, describe el mayor número de especies representadas en la muestra total de individuos

La fórmula que se utiliza corresponde a $1 - D$:

$$\text{Siendo } D = \sum pi^2$$

Donde:

pi = Es la abundancia proporcional de la especie i , es entonces, el número de individuos de la especie y dividido entre el número total de individuos de la muestra (López y Fagilde, 2017: pp. 457-466)

Tabla 5-3: Interpretación del índice de Simpson

Valores	Interpretación
0.00 – 0.35	Diversidad baja
0.36 – 0.75	Diversidad media
0.76 – 1.00	Diversidad alta

Fuente: (Mora Donjuán et al., 2017)

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

- *Determinación del índice de Polusensibilidad específica (IPS)*

La identificación de la taxonomía de las diatomeas se realizó a nivel de especie. La identificación de los individuos se basó en la morfología de estos organismos utilizando la Guía metodológica para la implementación del Índice Biológico de Diatomeas.

El índice IPS se calcula sobre la base de una media ponderada de los valores de sensibilidad a la contaminación (S_j), valores de tolerancia a la contaminación (V_j) y la abundancia relativa de cada especie. La fórmula que se utiliza para obtener el valor del índice es:

$$IPS = \frac{\sum Aj * Sj * Vj}{\sum Aj * Vj}$$

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

Tabla 6-3: Clasificación del estado ecológico según la puntuación del IPS

SIGNIFICADO	VALOR
EXCELENTE ESTADO	$20 \geq 17$
BUEN ESTADO	$17 \leq 13$
ESTADO MODERADO	$13 \leq 9$
ESTADO MALO	$9 \leq 5$
ESTADO DEFICIENTE	$5 \leq 0$

Fuente: (Prygiel, 2000)

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

3.4 Nivel de investigación

3.4.1 Descriptiva

La microcuenca se encuentra en el callejón interandino con una altitud que va desde los 2600 hasta los 4640 m.s.n.m, tiene una topografía intermitente debido a la influencia de las cordilleras occidental y central de los Andes. Cebadas posee 3 partes latitudinales que son: una zona baja, una media y una zona alta. Se caracteriza por tener un suelo de materia parental que tiene origen volcánico, el resto del suelo de la microcuenca es metamórfico, ya que tiene una inclinación de 12-25%, ocupando así 2.625,67 Ha de territorio (Esparza y Tibanquiza, 2020: p. 25-27).

En la microcuenca se pudo visualizar ecosistemas importantes como son: el Herbazal de Páramo y el arbustal siempre verde.

En las regiones altoandinas del Ecuador existen varios tipos de ecosistemas distribuidos en las zonas norte, sur y central de la Cordillera Oriental de los Andes y en la región del páramo. El buen manejo y conservación de estos ecosistemas es crucial, ya que además de estar habitados por especies vegetales y animales nativos y/o endémicos, también almacenan grandes cantidades de carbono al capturar materia orgánica del suelo, proveniente de condiciones climáticas adecuadas que limitan la descomposición de la materia orgánica (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2012 p. 186).

3.5 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental – longitudinal ya que nos centramos en estudiar la evolución o el cambio de las distintas variables que se van a utilizar para el análisis de la calidad del agua mediante los parámetros fisicoquímicos y la identificación de diatomeas epilíticas en los distintos puntos de la microcuenca.

3.5.1 Según la manipulación de las variables

- *Variable Independiente:*

Biodiversidad de diatomeas: Corresponde a la identificación de los diferentes taxones de diatomeas, las cuales son utilizadas como bioindicadores de la calidad de agua; suelen constituir del 80% al 90% de la comunidad del perifiton y son especies cosmopolitas. El perifiton se refiere a la comunidad microbiótica que vive sobre diferentes tipos de sustrato sumergidos.

- *Variable Dependiente:*

Calidad del Agua: Corresponde a la medición de parámetros físico-químicos y la estimación de indicadores ecológicos que permitan determinar la calidad de un recurso hídrico, la cual se ve afectada por el desarrollo de actividades antrópicas especialmente aquellas relacionadas con la agricultura y ganadería.

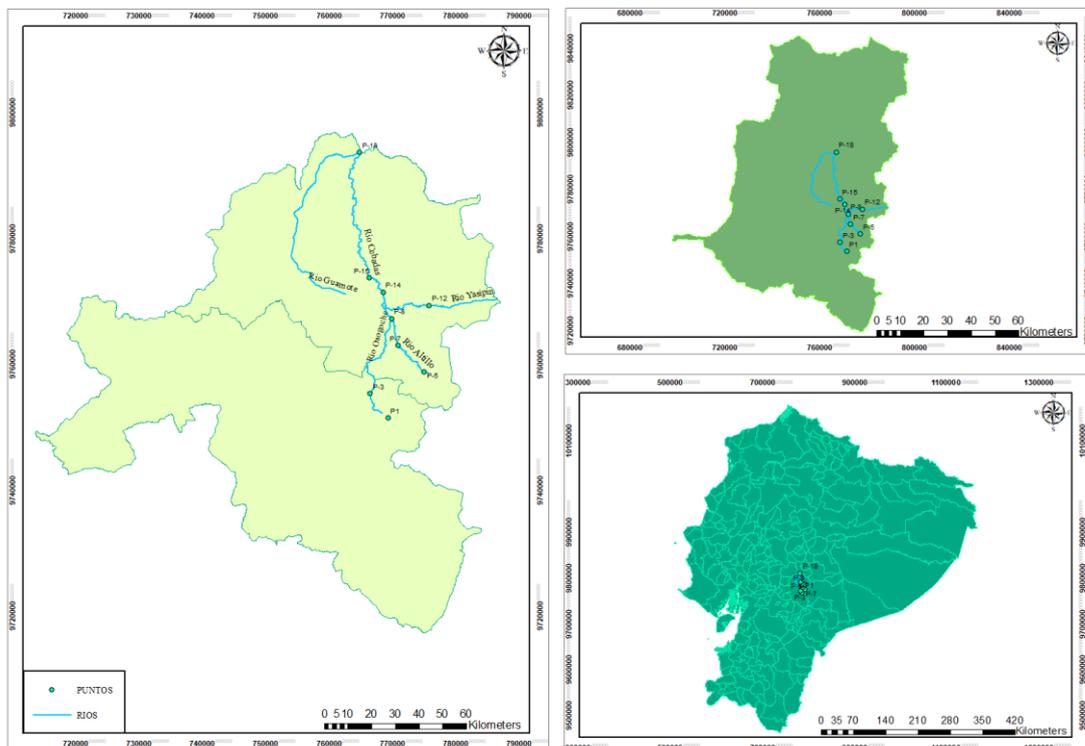


Figura 4-3: Puntos de muestreo

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

3.6 Tipo de estudio

No experimental: no manipula las variables. Estudio causa efecto, son estudios descriptivos que buscan medir el efecto que produce una causa (descarga, calidad del agua deteriorada, alto nivel

de DBO₅, pH ácido, pH básico). Como el pH incide en la salinidad, concentración de cationes, a mayor pH menor concentración de cationes o aniones

El estudio a desarrollar es de tipo no experimental, puesto que por medio del análisis de la calidad del agua de la Microcuenca del Río Cebadas se evaluará la dominancia de especies de diatomeas epilíticas. Este cambio de especies ocurre como consecuencia de la descarga de aguas residuales y vertidos⁴ provenientes de la agricultura y ganadería, lo cual genera un incremento en el consumo de nutrientes y sedimentos de las cuencas hídricas y por ende la alteración de los componentes bióticos.

Factores como el pH, nitrógeno total y conductividad permiten determinar la presencia de diatomeas en el medio acuático, de ahí su importancia como indicador del estado ecológico de aguas superficiales

3.7 Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

En el desarrollo del presente proyecto de investigación se trabajará con dos tipos de población: finita e infinita. La población finita estará representada por los habitantes de las comunidades de Atillo, Ozogoche, Yasepán, Cebadas y Guamote.

Mientras que la población infinita estará representada por las diatomeas, las cuales estarán presentes en los diferentes puntos de monitoreos establecidos.

3.8 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.8.1 Observación de campo

Se georreferenciará el sitio de estudio, de manera que se establezca la ubicación de los 10 puntos de monitoreo para el análisis multitemporal.

3.8.2 Investigación

Se tendrá contacto directo en la recolección de muestra

3.8.3 Observación en laboratorio e Investigación descriptiva

Facilita la identificación de las muestras de diatomeas recolectadas, y la medición de los parámetros fisicoquímicos de las muestras recolectadas en los 10 puntos de monitoreo.

- **Métodos para el análisis de los parámetros fisicoquímicos**

Para la recolección de agua en los diferentes ríos utilizamos los métodos basados en la norma (INEN 2169, 2013, p.26) el cual nos indica las técnicas y precauciones que se deben tomar para la recolección y transporte de las muestras de agua, en este proyecto se analizan los parámetros de:

Tabla 7-3: Parámetros fisicoquímicos

Parámetros
Temperatura
pH
Conductividad Eléctrica
Oxígeno Disuelto
Nitritos
Nitratos
Sulfatos
Fosfatos
Nitrógeno Amoniacal

Fuente: Autores, 2022.

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

Para la recolección de agua en muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, se debe llenar los frascos completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra. Esto restringe la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte así se evita la alteración del contenido de dióxido de carbono y la variación en el valor del pH (INEN 2169, 2013, p. 26).

Tabla 8-3: Métodos de los parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	Método	Principio	Cita
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	8507	fotómetro de Hach	(HACH COMPANY, 2000, pp. 2-3)
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	8039 HR	fotómetro de Hach	(HACH COMPANY, 2000, pp. 2-3)
Fosfatos (PO ₄ ³⁻)	mg/L	8190	fotómetro de Hach	(HACH COMPANY, 2000, pp. 2-3)
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	8051	fotómetro de Hach	(HACH COMPANY, 2000, pp. 2-3)
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃)	mg/L	8075	fotómetro de Hach	(HACH COMPANY, 2000, pp. 2-3)

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

Los parámetros físicos y químicos del agua en los puntos de muestreo se registraron in-situ mediante un equipo multímetros; en cuanto a fosfatos, sulfatos, nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal, el análisis se realizó en el laboratorio del Grupo de Investigación en Desarrollo Ambiental y Cambio Climático (GIDAC) y en el laboratorio de Calidad del agua de la ESPOCH, con la ayuda del equipo de Hach, obteniendo resultados rápidos y confiables; los datos están representados por puntos de muestra.

El equipo Hach es utilizado con reactivos en sobre, es un instrumento de medida y accesorios de alta calidad, además es ideal para los análisis de aguas. Se utiliza en el laboratorio y garantiza análisis exactos y fiables de todos los parámetros necesarios.

- Según las intervenciones en el trabajo de campo

El trabajo de campo constará de cuatro fases: medición de parámetros fisicoquímicos, muestreo, recolección de agua y limpieza de rocas. La medición de parámetros físicos como pH, temperatura (°C), oxígeno disuelto y conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), se los realizará de manera in situ con ayuda de un multiparámetro previamente calibrado, de manera que los valores sean lo más exactos posibles. La toma de la muestra se realizará a una distancia prudente de la orilla de cada uno de los ríos a monitorear.

Para la recolección de diatomeas se empleará la metodología propuesta por (Lobo et al., 2016; citados en Morales & Alvarez 2017, p. 19), en la cual se tomarán piedras que serán sometidas a un proceso de lavado y recolección mediante el uso de un pincel y un tubo eppendorf.

La determinación de nitritos, nitratos, fosfatos y sulfatos se los realizará mediante el uso de reactivos HACH siguiendo el procedimiento establecido en el manual del equipo HACH DR2800, mientras que para la determinación de nitrógeno amoniacal se utilizó el reactivo de NESSLER La técnica de muestreo se realizó durante cuatro meses (Junio, Julio, Agosto y Septiembre) del presente año.

Para el desarrollo del trabajo de campo se consideraron ciertos criterios:

- La medición de parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica se lo realizará de manera directa en cada uno de los ríos.
- La recolección de la muestra no debe superar los 50 cm de profundidad, puesto que la luz podría ser un factor limitante en el desarrollo de diatomeas, no se debe tomar muestras cercanas a la orilla o en zonas muy sombreadas a no ser que el caudal de los ríos esté muy elevado.

- En cada uno de los puntos se debe recolectar 2 piedras planas de 10 a 20 cm del lecho del río, a profundidades de entre 10 y 30 cm. Es muy importante que el sustrato tenga una coloración marrón.
- Colocar la piedra en un recipiente y con la ayuda de un pincel grueso y de cerdas suaves remover la superficie de la piedra, se debe agregar un chorro de agua con ayuda de una pipeta de Pasteur con el fin de despegar las especies adheridas al sustrato.
- Para la recolección de la muestra se empleará tubos eppendorf los cuales tomarán una coloración oscura debido a la presencia de diatomeas recolectadas.

3.8.4 Procedimiento de extracción de las diatomeas

3.8.4.1 Muestreo de Diatomeas

El muestreo de Diatomeas Epilíticas en la Microcuenca está basado en la norma técnica ecuatoriana INEN 2176: 2013, la cual produce muestras puntuales debido a que el flujo del agua a muestrear no es uniforme (INEN, 2013, p. 2). Tomando en consideración los lineamientos mencionados en la norma acerca de las características de los equipos de muestreo y las técnicas para el rotulado, fue necesario la división en fases del procedimiento general para mayor especificación del trabajo realizado.

3.8.4.2 Fase laboratorio

Para el tratamiento de las muestras en laboratorio se consideró la normativa española (AENOR, 2004, 2005; citado en Vicente et al., 2005, p.95), sin embargo, fue necesario realizar ciertos cambios.

- De manera inicial se debe tamizar las muestras por separado utilizando un tamiz de 180 micras, con el fin de retirar la mayor cantidad de materia orgánica.
- Una vez tamizada la muestra, se coloca en un tubo falcón de 50 mL y se añade 10 ml de agua destilada.
- Previo a la centrifugación es importante nivelar los pesos de cada tubo falcón, con el fin de evitar cualquier daño en el equipo, a continuación, se centrifuga a 1500 rpm durante 3 minutos. Repetir este proceso por tres veces.
- Retirar el exceso de agua destilada y posterior a ello se debe agitar la muestra para homogeneizar.
- Cuando la muestra esté homogeneizada colocar en tubos de ensayo y añadir 2 ml de peróxido de hidrógeno al 50%, con ayuda de una pipeta de 10 ml y una pera de succión, es importante el uso de guantes para manipular de forma adecuada el reactivo.
- Disponer los tubos de ensayo con las muestras en baño de arena durante 120 min a 95°C, antes de colocar estos, es importante tapar la boquilla del tubo con bolitas de vidrio (canicas) para evitar la salida de vapor.

- Culminado el tiempo señalado retirar los tubos del baño de arena, con ayuda de una pinza de madera y colocarlos en una gradilla hasta que estos se enfríen.
- Retirar el exceso de peróxido de hidrógeno, en un recipiente destinado para desechar reactivos, de acuerdo a las normas de laboratorio.
- Llevar las muestras a tubos falcón aforar con 10ml de agua destilada y centrifugar las muestras a 1500 rpm durante 3 minutos.
- Transferir las muestras a los tubos eppendorf y etiquetar.

3.8.4.3 Fase de análisis de muestras

Para el análisis de muestras se toma como referencia la técnica de conteo e identificación de diatomeas redactada por (Gómez et al., 2009, p.226), con algunas modificaciones.

- Con una micropipeta o una pipeta de Pasteur previamente agitada colocar 1ml de la muestra en un portaobjetos etiquetado de manera que pueda ser identificado posteriormente.
- Colocar el portaobjetos en un reverbero para fijar la muestra y retirarlo con ayuda de una pinza de madera.
- Una vez fijada la muestra colocar la porta y cubre objetos en el microscopio.
- Contar e identificar las especies de diatomeas epilíticas mediante la visualización en el microscopio con ayuda del lente de 40 x.
- Emplear guías, libros, u otros documentos que indiquen la diversidad de diatomeas presentes en ríos.
- Registrar los datos en una hoja de Excel para su posterior utilización.

CAPÍTULO IV

4 MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados del análisis de parámetros fisicoquímicos

En base al primer objetivo específico planteado en el presente trabajo de investigación se determinó la Calidad del Agua de la Microcuenca del Río Cebadas mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos como: nitritos, nitratos, fosfatos, sulfatos, nitrógeno amoniacal, pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. Los resultados obtenidos fueron comparados en base a los límites máximos permisibles establecidos en la Tabla 3: Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la Vida Acuática y Silvestre en Aguas Dulces, Marinas y de Estuarios del Libro VI, Anexo I del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente.

4.1.1 Nitritos

Formado durante la biodegradación de compuestos orgánicos nitrogenados, sirven como indicadores de contaminación fecal.

Tabla 9-4: Resultados del ion nitrito en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas

	Nitritos			
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Río Ozogoche	0,011	0,009	0,010	0,008
Río Atillo	0,009	0,004	0,007	0,007
Río Yasepan	0,006	0,010	0,008	0,010
Río Cebadas	0,017	0,017	0,017	0,033

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

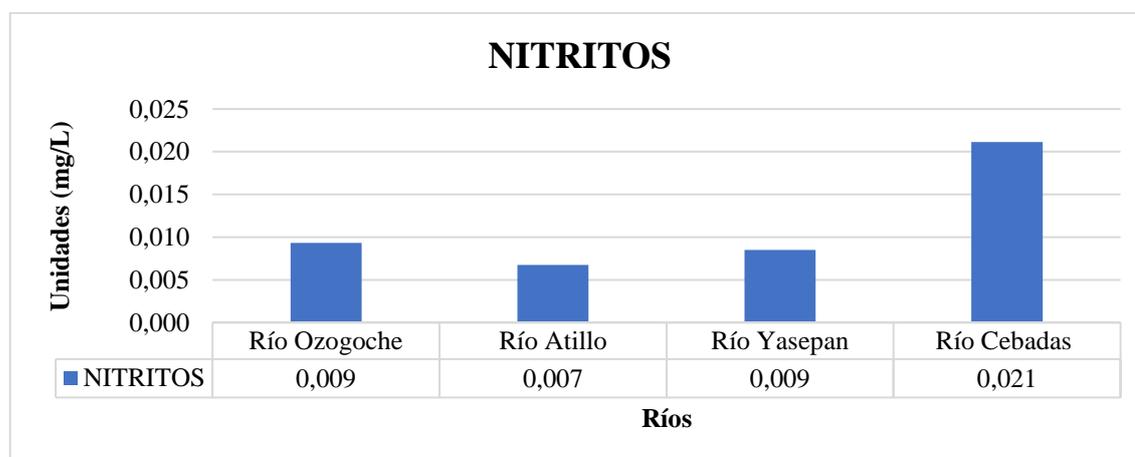


Gráfico 1-4: Variación del ion Nitrito en las zonas de estudio

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

En la Tabla 3 del TULSMA no se establece un límite máximo permisible para la Nitritos, sin embargo es muy importante considerar que la concentración se puede alterar debido a la biodegradación de nitratos, la presencia de nitrógeno amoniacal u otros compuestos nitrogenados que pueden ser arrastrados a las diferentes fuentes de captación durante épocas de lluvia.

De acuerdo a los valores promedios obtenidos se puede determinar que el Río Atillo presenta menor concentración de Nitritos con valores de 0,007 mg/L, mientras que el Río Cebadas presenta mayor concentración de Nitritos con un valor de 0,021 mg/L.

En el gráfico, se puede evidenciar la variación de las concentraciones del ion nitrito en los diferentes ríos monitoreados, la concentración más alta corresponde al Río Cebadas, el cual se relaciona con la presencia de efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ubicada en uno de los puntos de monitoreo.

4.1.2 Nitratos

Las concentraciones excesivas de nitratos en el agua generan un proceso de eutrofización, el cual se evidencia con la presencia de algas y plantas acuáticas, provocando efectos negativos en la diversidad de especies

Tabla 10-4: Resultados del ion nitrato en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas

	Nitratos			
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Río Ozogoche	1,450	1,150	1,300	1,100
Río Atillo	1,100	0,433	0,767	1,133
Río Yasepan	1,300	0,900	1,100	1,600
Río Cebadas	2,467	2,067	2,267	1,967

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

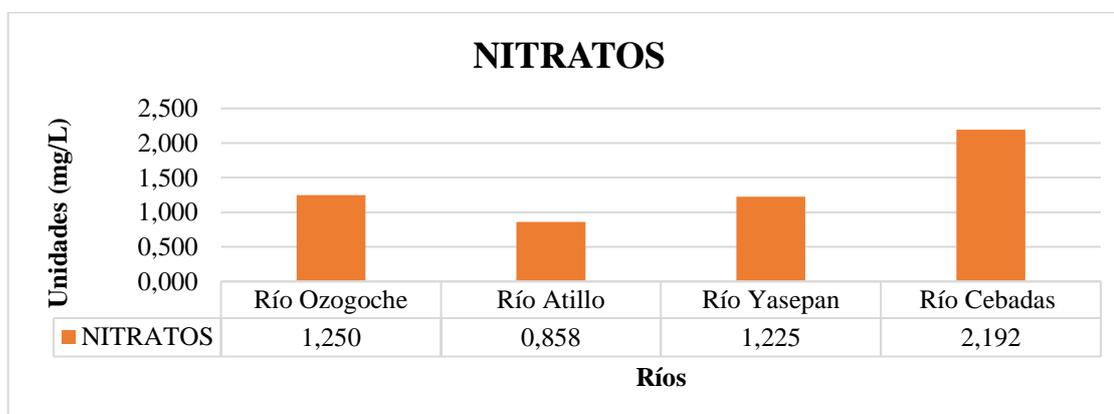


Gráfico 2-4: Variación del ion Nitrato en las zonas de estudio

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

En la Tabla 3 del TULSMA no se establece un límite máximo permisible para Nitratos, sin embargo es un parámetro que se relaciona con la mayoría de parámetros.

De acuerdo a los valores promedios obtenidos se puede determinar que el Río Atillo presenta menor concentración de Nitratos con un valor de 0,858 mg/L, mientras que el Río Cebadas presenta mayor concentración de Nitratos con un valor de 2,192 mg/L.

En el gráfico, se puede evidenciar la variación de las concentraciones del ion nitrato en los diferentes ríos de estudio, la concentración más alta corresponde al Río Cebadas el cual se relaciona con la presencia de efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ubicada en uno de los puntos de monitoreo y a la gran cantidad de asentamientos urbanos. En zonas como Ozogoche y Yasepan se puede observar que las concentraciones de nitratos son medias, esto puede relacionarse con las diferentes actividades antropogénicas que se llevan a cabo como: ganadería y agricultura, elevadas concentraciones de nitratos permiten identificar la presencia de heces fecales las cuales llegan al agua mediante procesos de escorrentía y lixiviación.

4.1.3 Fosfatos

Las concentraciones excesivas de fosfatos estimulan el proceso de eutrofización, el cual se evidencia con la presencia de algas y plantas acuáticas, provocando efectos negativos en la calidad del agua.

Tabla 11-4: Resultados del ion fosfato en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas

	Fosfatos			
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Río Ozogoche	0,210	0,025	0,118	0,160
Río Atillo	1,490	0,193	0,842	0,323
Río Yasepan	0,190	1,360	0,775	1,390
Río Cebadas	0,707	0,540	0,623	0,330

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

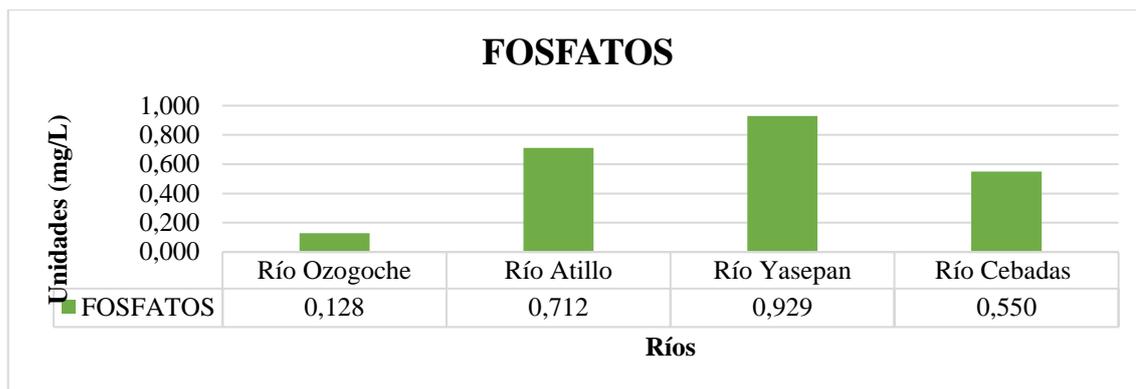


Gráfico 3-4: Variación del ion Fosfato en las zonas de estudio

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

En la Tabla 3 del TULSMA no se establece un límite máximo permisible para fosfatos. De acuerdo a los valores promedios obtenidos se puede determinar que el Río Ozogoche presenta menor concentración de Fosfatos con un valor de 0,128 mg/L, mientras que el Río Yasepan presenta mayor concentración de Fosfatos con un valor de 0,929 mg/L.

En la gráfica se puede evidenciar la variación de las concentraciones del ion fosfato en los diferentes puntos de estudio, las concentraciones más altas se relacionan con el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas.

4.1.4 Sulfatos

La presencia de sulfatos en el agua se da de forma natural, por el lavado y la disolución parcial de materiales del terreno por el que discurre (como las formaciones rocosas y suelos sulfatados).

Tabla 12-4: Resultados del ion sulfato en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas

	Sulfatos			
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Río Ozogoche	9,000	16,500	12,750	4,500
Río Atillo	12,333	9,333	10,833	2,333
Río Yasepan	22,000	13,000	17,500	4,000
Río Cebadas	16,000	25,667	20,833	7,667

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

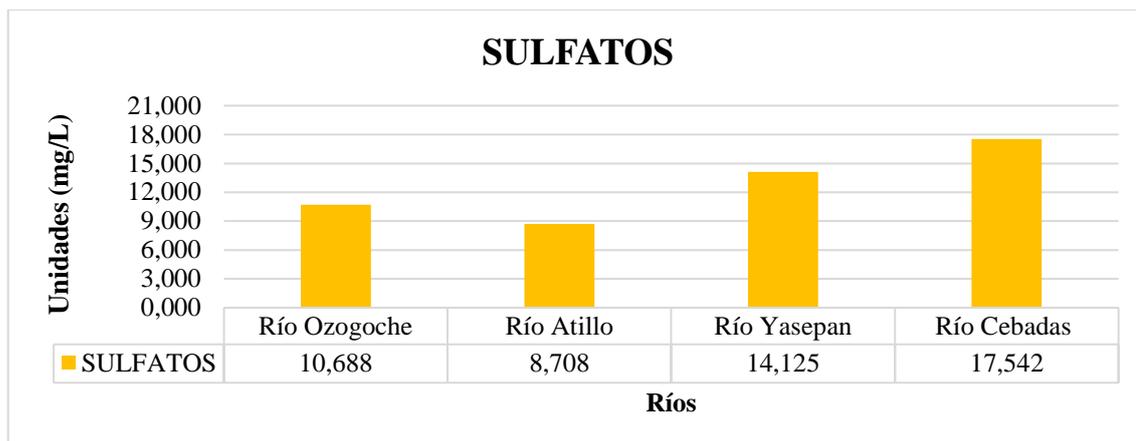


Gráfico 4-4: Variación del ion Sulfato en las zonas de estudio

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

En la Tabla 3 del TULSMA no se establece un límite máximo permisible para sulfatos.

De acuerdo a los valores promedios obtenidos se puede determinar que el Río Atillo presenta menor concentración de Sulfatos con un valor de 8,708 mg/L, mientras que el Río Cebadas presenta mayor concentración de Sulfatos con un valor de 17,542 mg/L.

4.1.5 Nitrógeno Amoniacal

La presencia de nitrógeno amoniacal en las aguas se da de forma natural, como resultado de la degradación de compuestos orgánicos e inorgánicos del suelo y agua, debido a la reducción de nitrógeno gaseoso en el agua por la presencia de microorganismo.

Tabla 13-4: Resultados del Nitrógeno Amoniacal en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas

	N. Amoniacal			
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Río Ozogoche	0,115	0,020	0,068	0,090
Río Atillo	0,077	0,050	0,063	0,100
Río Yasepan	0,110	0,160	0,135	0,110
Río Cebadas	0,167	0,113	0,140	0,167

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

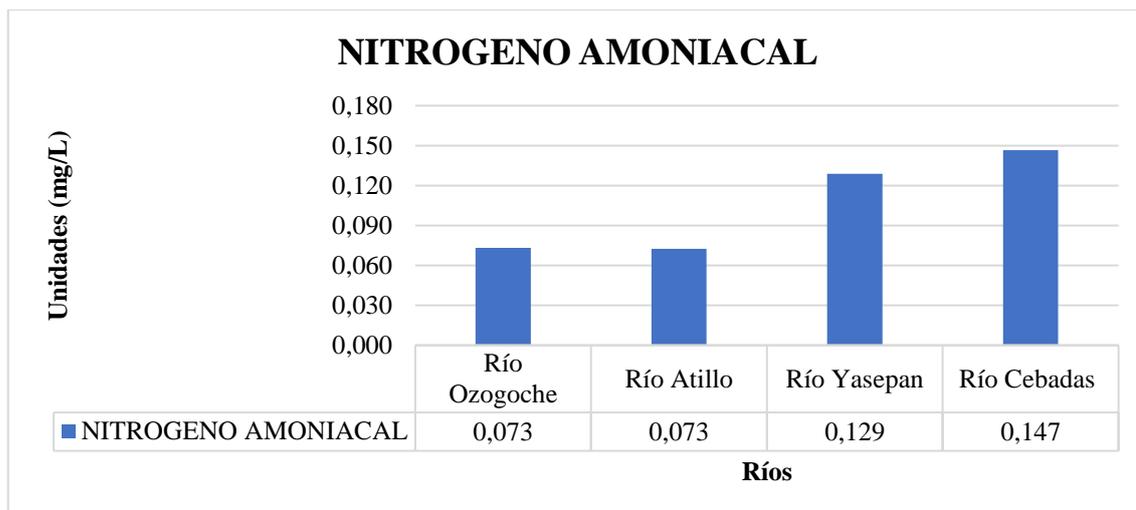


Gráfico 5-4: Variación del Nitrógeno Amoniacal en las zonas de estudio

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

En la Tabla 3 del TULSMA no se establece un límite máximo permisible para nitrógeno amoniacal.

Los valores del nitrógeno amoniacal obtenidos sobre los puntos de monitoreo no debe ser mayor a 5 mg/L, si se supera este valor estándar se debe realizar un proceso químico para que el agua tome buenas condiciones para el consumo humano. Se observa que las muestras tomadas sobre los diferentes ríos establecidos durante los 4 meses no superan los 5 mg/L. Se registra que el punto 5 correspondiente al Río Atillo tiene una menor concentración de nitrógeno amoniacal con valor de 0,073 mg/L, mientras que el Río Cebadas presenta mayor concentración de nitrógeno con un valores de 0,147 mg/L.

4.1.6 *Potencial de Hidrógeno*

Mide la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua.

Tabla 14-4: Resultados de pH en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas

	pH			
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Río Ozogoche	8,415	6,840	8,025	8,500
Río Atillo	7,470	7,017	7,887	7,820
Río Yasepan	7,910	9,900	8,140	8,150
Río Cebadas	8,083	7,550	8,230	8,613

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

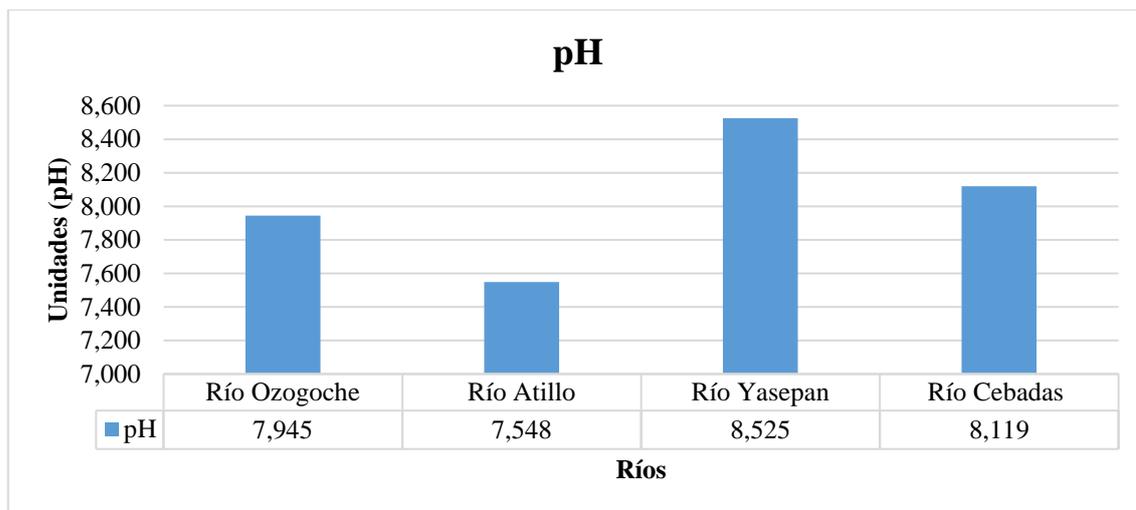


Gráfico 6-4: Variación de pH en las zonas de estudio

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

Los resultados muestran que todos los ríos cumplen con el límite máximo permisible establecido en el TULSMA. El pH óptimo debe estar entre un rango de 6 a 9. De acuerdo a los valores promedios obtenidos se puede determinar que el Río Atillo presenta el pH más bajo con un valor de 7,548 mientras que el Río Yasepan presenta un pH mayor con un valor de 8,525.

4.1.7 Temperatura

Mide la cantidad de energía térmica de un cuerpo para saber si afecta o no a la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas.

Tabla 15-4: Resultados de Temperatura en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas

	Temperatura			
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Río Ozogoche	12,400	10,300	8,200	10,200
Río Atillo	11,550	10,933	9,467	11,833
Río Yasepan	9,900	9,000	7,600	9,100
Río Cebadas	12,900	14,300	9,967	13,067

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

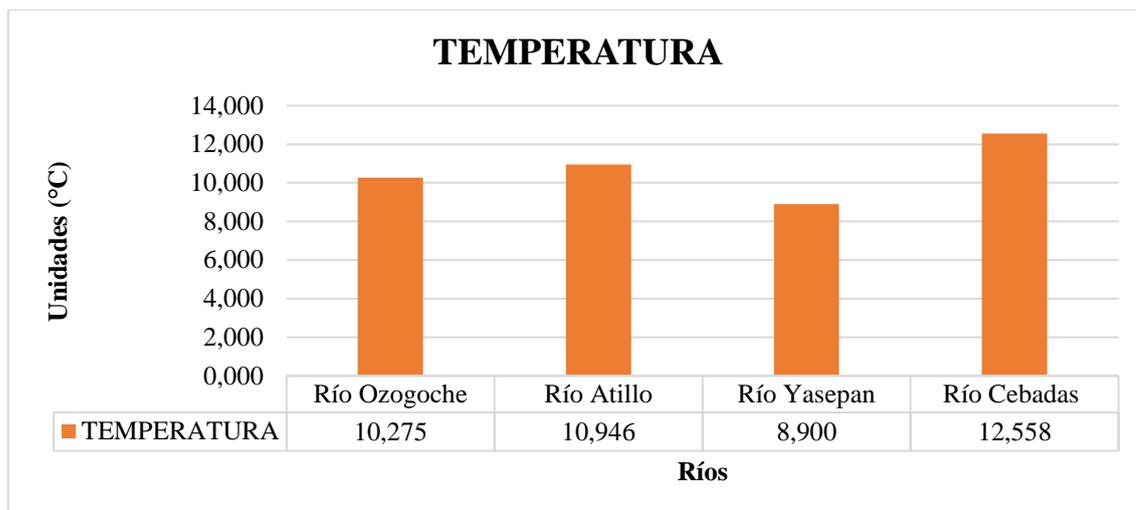


Gráfico 7-4: Variación de pH en las zonas de estudio

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

En la Tabla 3 del TULSMA no se establece un límite máximo permisible para la Temperatura, sin embargo es un parámetro que se relaciona con la mayoría de parámetros.

El rango de temperatura en estas zonas varía entre 4°C a 20°C con una media anual de 12°C (Chambo, 2015, p. 554), en la gráfica se observa que el Río Yasepan presenta una temperatura menor con un valor de 8,90 °C, mientras que el Río Cebadas presenta una temperatura máxima con un valor de 12,558 °C esta variación de temperatura se da debido a la ubicación de los distintos puntos ya que se encuentran en zonas altas y bajas.

4.1.8 Conductividad Eléctrica

Indica la capacidad que tiene una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica, depende de la temperatura.

Tabla 16-4: Resultados de conductividad eléctrica en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas

	CE			
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Río Ozogoche	49,350	41,200	57,630	47,350
Río Atillo	52,900	45,633	53,867	61,333
Río Yasepan	105,900	102,800	53,500	118,000
Río Cebadas	151,633	216,867	68,267	280,933

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

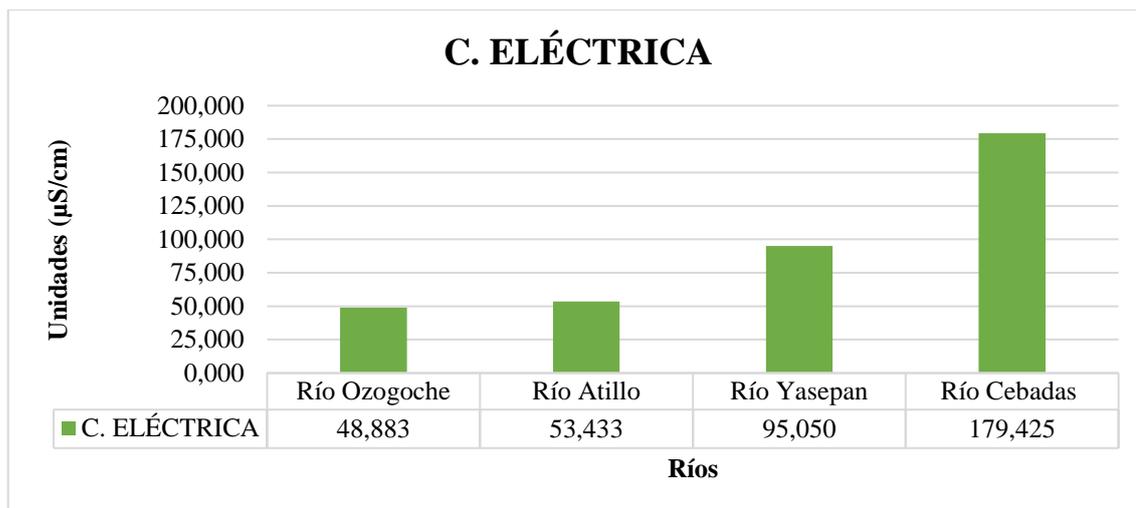


Gráfico 8-4: Variación de la Conductividad Eléctrica en las zonas de estudio

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

En la Tabla 3 del TULSMA no se establece un límite máximo permisible para la Conductividad Eléctrica, sin embargo es un parámetro muy importante puesto que esta relacionado con la presencia de sólidos disueltos, es decir que a mayor conductividad mayor presencia de sólidos disueltos.

De acuerdo a los valores promedios obtenidos se puede determinar que el Río Ozogoché presenta un nivel bajo de conductividad eléctrica con un valores de 48,883 $\mu S/cm$, mientras que el Río Cebadas presenta un alto valor de conductividad de 179,425 $\mu S/cm$.

En el gráfico, se puede evidenciar la variación de conductividad eléctrica en los diferentes puntos de estudio, el cual se encuentra en un rango entre 48-180 $\frac{\mu S}{cm}$, esto debido a que la investigación se llevo a cabo en época de lluvia. La conductividad puede influir en la diversidad de diatomeas.

4.1.9 Oxígeno Disuelto

Es un parámetro importante que permite el desarrollo de vida acuática, un cuerpo hídrico en constante movimiento genera gran cantidad de oxígeno.

Tabla 17-4: Resultados de Oxígeno disuelto en los puntos de monitoreo de la microcuenca del Río Cebadas

	OD			
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Río Ozogoché	75,900	74,800	79,650	90,850
Río Atillo	85,967	73,500	78,633	92,967
Río Yasepan	90,200	70,300	79,700	89,000

Río Cebadas	79,300	70,733	88,200	87,767
-------------	--------	--------	--------	--------

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

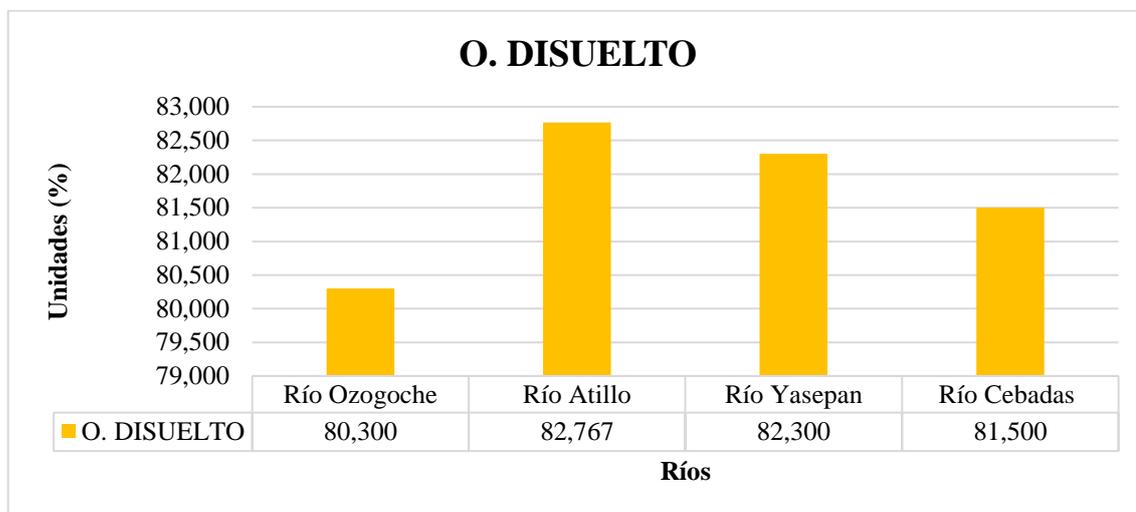


Gráfico 9-4: Variación de Oxígeno Disuelto en las zonas de estudio

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

En base a la Tabla 3 del TULSMA, el límite máximo permisible debe ser mayor al 80% de saturación de oxígeno disuelto. De acuerdo a los valores promedios obtenidos se puede determinar que el Río Ozogoche presenta bajos niveles de oxígeno disuelto con un valor de 80,300 %, mientras que el Río Atillo presenta mayores niveles de oxígeno disuelto con un valor de 82,767 %.

En el gráfico, se puede evidenciar la variación de oxígeno disuelto en los diferentes puntos de estudio, el cual se encuentra en un rango entre 80-83 ppm. El oxígeno disuelto es un indicador de eutrofización.

4.2 Diversidad Biológica

4.2.1 Índice de Shannon Wiener y Simpson

Estos indicadores describen la diversidad de especies presentes en un determinado ecosistema, en este caso la diversidad de diatomeas presentes en los puntos muestreado en los diferentes ríos de la Microcuenca del Río Cebadas, donde se indica el número de especies y sus abundancias relativas, estos índices se calculan mediante expresiones matemáticas, relacionados con el número de especies de una comunidad y valores importantes, el programa utilizado para el desarrollo de estos indicadores es Past, versión 3.17 y Excel, donde se pueden calcular múltiples tipos de indicadores, sin embargo, los de este proyecto de investigación son los tres que se detallan a continuación. :

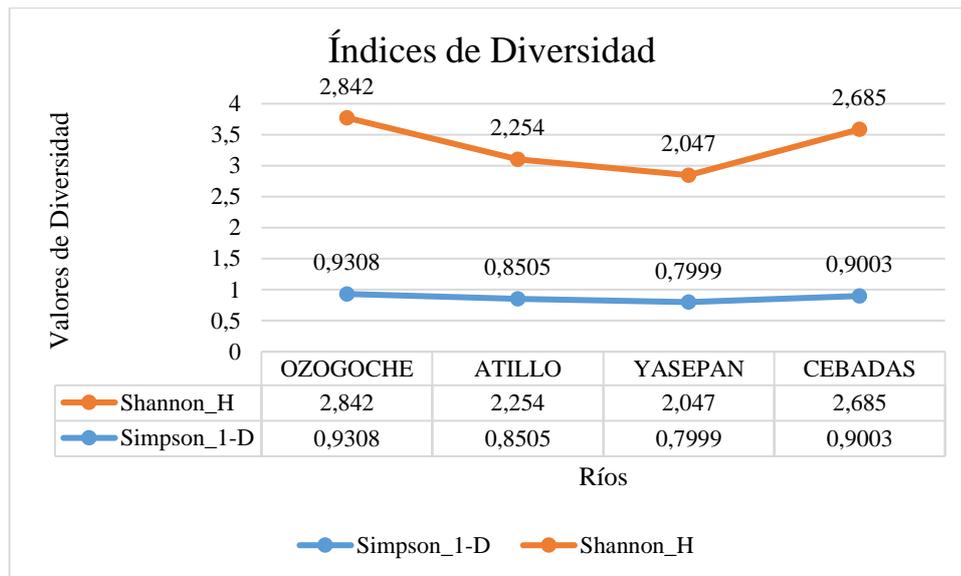


Gráfico 10-4: Índice de Simpson y Shannon Wiener de las especies de Diatomeas Epilíticas

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

En el índice de Simpson nos indican una escala de 0 a 1, entonces si los valores están cerca de 0 se dice que existe una alta diversidad de especies y si el valor está cerca de 1 la diversidad es baja. Como se observa en la tabla el Índice de Simpson nos indica diferentes valores dependiendo el Río que se muestreó, el promedio menor en la concentración de especies se presenta en el punto 12 perteneciente al Río Yasepan con un valor de 0,7999, mientras que la mayor concentración de especies está presente en los puntos 1 y 3 pertenecientes al Río Ozogoché con un valor de 0,9308. Se concluye que existe una baja diversidad de especies según el rango del índice de Simpson. Con respecto a los análisis del Índice de Shannon según los autores nos indican que hay una escala que va de 0,5, hasta 5, lo que indica que cuando la población está dentro de 2 y 3 se dice que es una población normal, mientras que cuanto se encuentra en un rango de 3 a 5 se dice que tiene una alta diversidad de especies y finalmente si el valor es menor a 2, la diversidad es baja, por lo tanto según la tabla se puede observar que la menor concentración de especies se da también en el punto 12 perteneciente al Río Yasepan con un valor de 2,047; mientras que la concentración más alta se da en el mismo punto del Índice de Simpson que son los puntos 1 y 3 y le corresponden al Río Ozogoché con un valor de 2,842. Entonces se puede decir que la diversidad de especies en esta investigación según el índice de Shannon es normal ya que está dentro de un rango de 2 y 3. En este proyecto de investigación hemos notado que existe una variación en la composición poblacional de diatomeas en los diferentes puntos. Como nos indica el análisis de las gráficas de los Índices de Shannon y Simpson, esta variación puede ser debida a factores ambientales propios de la localización de estos puntos de la Microcuenca del Río Cebadas. No obstante, no descartamos la posibilidad que este cambio poblacional sea consecuencia del gradiente de

eutrofización existente entre estos puntos. Según el (Kara 2014, p. 107) en el cantón Guamate se realiza principalmente actividades agrícolas y ganaderas, las cuales pueden ser la causa de la presencia de materia orgánica en los análisis realizados.

4.2.2 Abundancia y riqueza específica de Diatomeas Epilíticas

En el área de investigación se observaron diferentes especies de diatomeas epilíticas, las cuales fueron caracterizadas con base en estudios previos como bioindicadores de buena y mala calidad del agua para mostrar el estado biológico de los ríos en la microcuenca. Se determinaron un total de 35 especies de diatomeas, ya que algunas especies estuvieron presentes en todos los puntos analizados. A continuación, se indica el dendrograma de las diferentes especies:

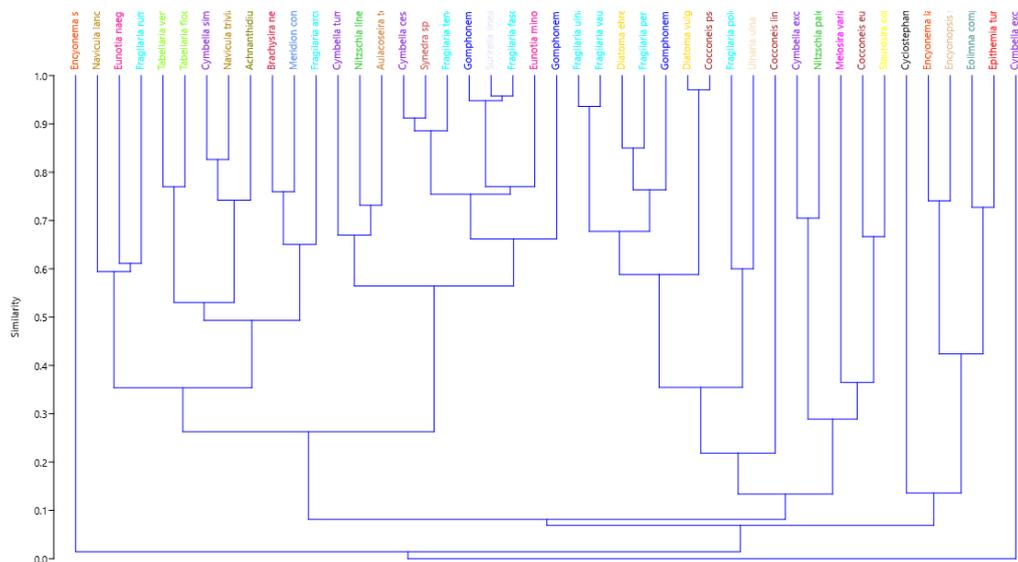


Gráfico 11-4: Dendrograma descriptivo de las especies de diatomeas epilíticas encontradas

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

4.3 Diatomeas Epilíticas

El análisis e identificación de diatomeas epilíticas se realizó en base a la Guía de Diatomeas de la Cuenca del Duero, encontrando un total de 43 especies durante los cuatro monitoreos realizados.

Tabla 18-4: Género y Especies de Diatomeas Epilíticas

GÉNERO	ESPECIE	INDIVIDUOS
<i>Achnantheidium</i>	<i>Achnantheidium catenatum</i>	231
<i>Aulacoseira</i>	<i>Aulacoseira tenella</i>	74
<i>Brachysira</i>	<i>Brachysira neglectissima</i>	513
<i>Cocconeis</i>	<i>Cocconeis euglypyta</i>	33
	<i>Cocconeis lineata</i>	144
	<i>Cocconeis pseudolineata</i>	33
<i>Cyclostephanos</i>	<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	2

Cymbella	<i>Cymbella cesatii</i>	122
	<i>Cymbella excisa</i>	63
	<i>Cymbella excisiformis</i>	5
	<i>Cymbella simonsenii</i>	270
	<i>Cymbella tumida</i>	62
Diatoma	<i>Diatoma ehrenbergii</i>	22
	<i>Diatoma vulgare</i>	35
Encyonema	<i>Encyonema lange-bertalotti</i>	10
	<i>Encyonema silesiacum</i>	2
Encyonopsis	<i>Encyonopsis subminuta</i>	17
Eolimna	<i>Eolimna comperei</i>	8
Epithemia	<i>Epithemia turgida</i>	14
Eunotia	<i>Eunotia minor</i>	124
	<i>Eunotia naegelii</i>	229
Fragilaria	<i>Fragilaria arcus</i>	995
	<i>Fragilaria fasciculata</i>	71
	<i>Fragilaria perminuta</i>	23
	<i>Fragilaria polonica</i>	3
	<i>Fragilaria rumpens</i>	464
	<i>Fragilaria tenera</i>	95
	<i>Fragilaria ulna</i>	22
	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	25
Gomphonema	<i>Gomphonema exilissimum</i>	164
	<i>Gomphonema minusculum</i>	14
	<i>Gomphonema truncatum</i>	64
Melosira	<i>Melosira varians</i>	7
Meridion	<i>Meridion constrictum</i>	731
Navicula	<i>Navicula lanceolata</i>	327
	<i>Navicula trivialis</i>	352
Nitzschia	<i>Nitzschia linearis</i>	49
	<i>Nitzschia palea</i>	59
Staurosira	<i>Staurosira construens</i>	18
Surirella	<i>Surirella linearis var. constricta</i>	71
Synedra	<i>Synedra sp.</i>	123
Tabellaria	<i>Tabellaria flocculosa</i>	821
	<i>Tabellaria ventricosa</i>	572
Ulnaria	<i>Ulnaria ulna</i>	7

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

4.3.1 Abundancia de Especies de Diatomeas Epilíticas en la Microcuenca del Río Cebadas

La abundancia de Diatomeas Epilíticas encontradas en cada uno de los ríos que conforman la microcuenca del Río Cebadas permite reconocer de manera especial el desarrollo de los ecosistemas. Para determinar la abundancia de las especies se tomó en cuenta los criterios abundancia absoluta y relativa; la abundancia absoluta es el número de especies encontradas en cada uno de los ríos, mientras que la abundancia relativa es el resultado entre la división del número de especies de un grupo por el número total de especies de los grupos multiplicado por

100 %. Se considera que las especies que presentan valores inferiores al 5% son consideradas representativas.

4.3.1.1 Río Ozogоче

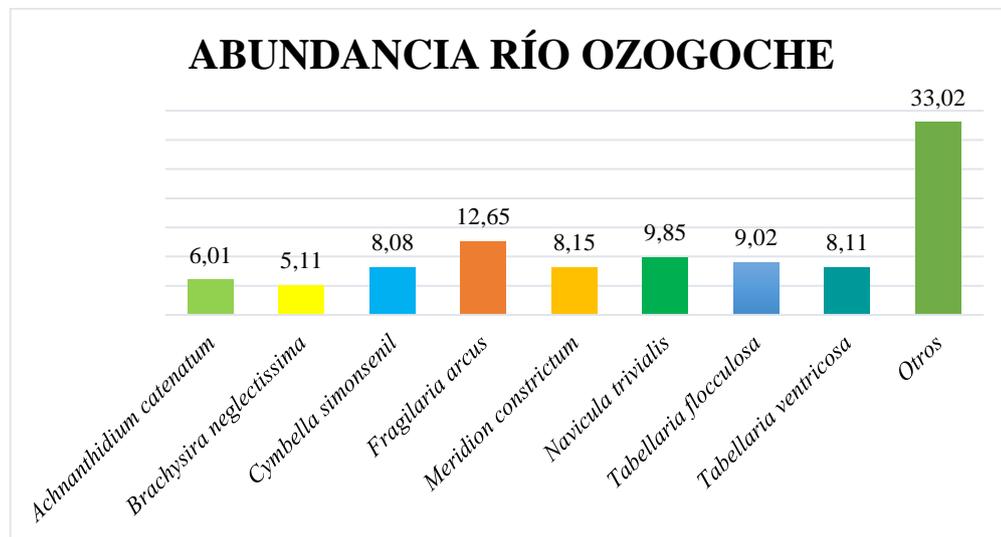


Gráfico 12-4: Abundancia de especies del río Ozogоче

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

Durante los cuatro monitoreos realizados, se encontraron 33 especies, de las cuales 8 superan el 5% de abundancia relativa. Como se evidencia en el gráfico el 33,02% representa 15 de las 33 especies encontradas entre las que podemos citar *Cymbella cesatii*, *Fragilaria tenera*, *Synedra sp*, entre otros. Mientras que el 12,65% corresponde a *Fragilaria Arcus* la cual se caracteriza por ser una especie colonizadora de ambientes donde se acumula gran cantidad de materia orgánica. Finalmente, la especie que presenta una abundancia relativa cercana al 5% es *Brachysira neglectissima* con un 5,11%.

4.3.1.2 Río Atillo

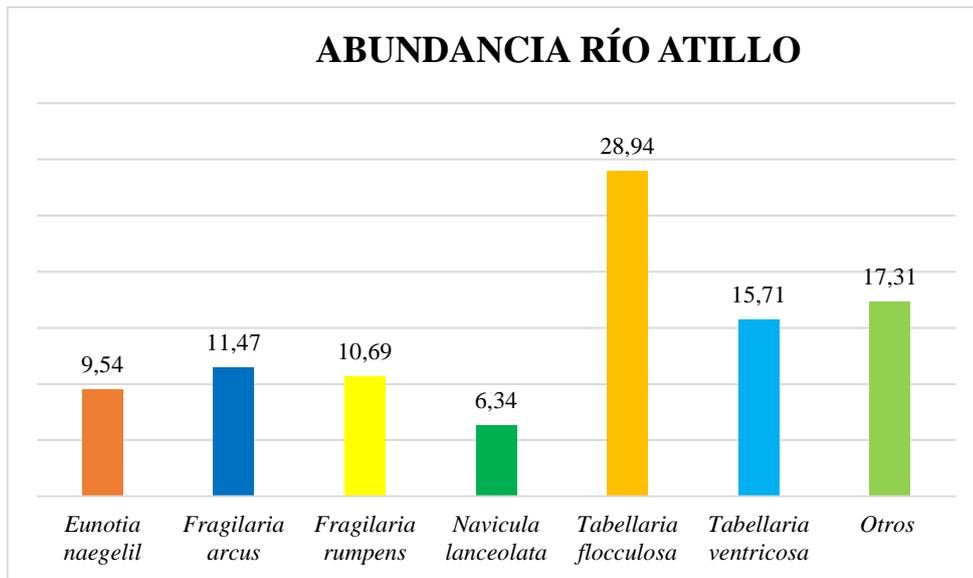


Gráfico 13-4: Abundancia de especies del río Atillo

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

Durante los cuatro monitoreos realizados, se encontraron 24 especies de las cuales 6 superan el 5% de abundancia relativa. Como se evidencia en el gráfico la especie que presenta mayor abundancia es *Tabellaria flocculosa*, mientras que el 28,94% representan 18 de las 24 especies que presentan menor abundancia, sin embargo, son especies representativas puesto que contribuyen a la diversidad del Río. Finalmente, la especie que presenta una abundancia relativa cercana al 5% es *Navicula lanceolata* con un 6,34%.

4.3.1.3 Río Yasepan

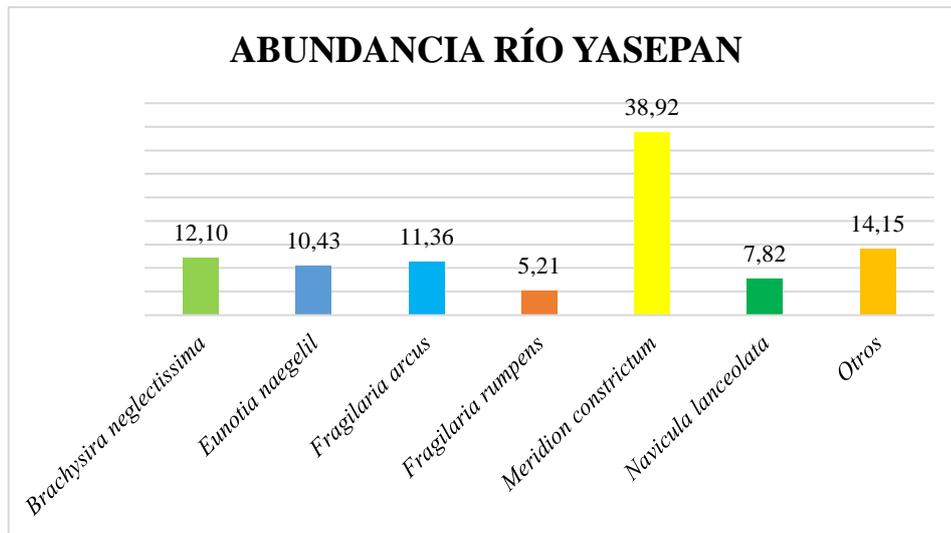


Gráfico 14-4: Abundancia de especies del río Yasepan

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

Durante los cuatro monitoreos realizados, se encontraron 16 especies de las cuales 6 superan el 5% de abundancia relativa. Como se evidencia en el gráfico la especie que presenta mayor abundancia es *Meridion constrictum*, mientras que el 14,15% representan 10 de las 16 especies que presentan menor abundancia, sin embargo, son especies representativas puesto que contribuyen a la diversidad del Río. Finalmente, la especie que presenta una abundancia relativa cercana al 5% es *Fragilaria arcus* con un 5,21%.

4.3.1.4 Río Cebadas

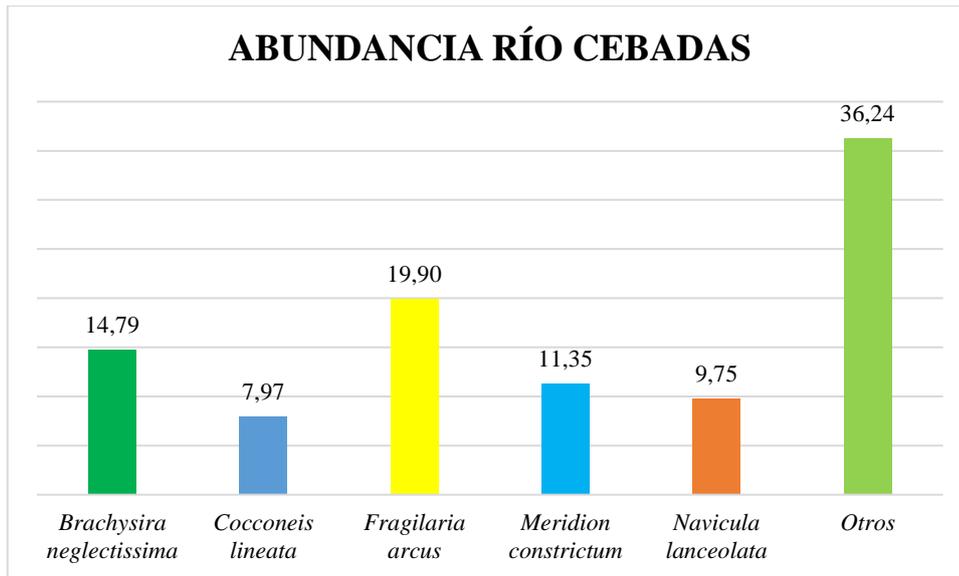


Gráfico 15-4: Abundancia de especies del río Cebadas

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

Durante los cuatro monitoreos realizados, se encontraron 30 especies, de las cuales 5 superan el 5% de abundancia relativa. Como se evidencia en el gráfico el 36,24% representa 25 de las 33 especies encontradas entre las que podemos citar *Gomphonema exilissimum*, *Navicula trivialis*, entre otros. Mientras que el 19,90% corresponde a *Fragilaria Arcus* la cual se caracteriza por ser una especie colonizadora de ambientes donde se acumula gran cantidad de materia orgánica. Finalmente, la especie que presenta una abundancia relativa cercana al 5% es *Cocconeis lineata* con un 7,97%.

4.4 Sensibilidad de Diatomeas Epilíticas

Como parte de los productores primarios de los cuerpos de agua, las diatomeas son muy sensibles a los cambios en las propiedades químicas del ambiente, especialmente las concentraciones de nutrientes (P, N) y la presencia de contaminantes. Debido a que están constantemente en contacto con el agua, responden de manera muy especial a los cambios ambientales en los ecosistemas que desarrollan, el género que es altamente sensibles es *Nitzschia* con valor de sensibilidad de 1, seguido de *Encyonopsis*, *Gomphonema*, *Melosira*, *Meridion*, *Navicula*, *Surirella*, *Synedra*, *Ulnaria* que son consideradas sensibles debido a su valor de sensibilidad que es 3; después tenemos a *Aulacoseira*, *Cocconeis*, *Diatoma* y *Fragilaria* considerados géneros indiscriminados con valor de sensibilidad de 4; y por último tenemos a *Achnantheidium*, *Brachysira*, *Cyclostephanos*, *Cymbella*, *Encyonema*, *Eolimna*, *Epithemia*, *Eunotia*, *Eunotia*, *Tabellaria* que son géneros de ocurrencia rara y en este estudio se determina que abarca el mayor porcentaje de los géneros encontrados.

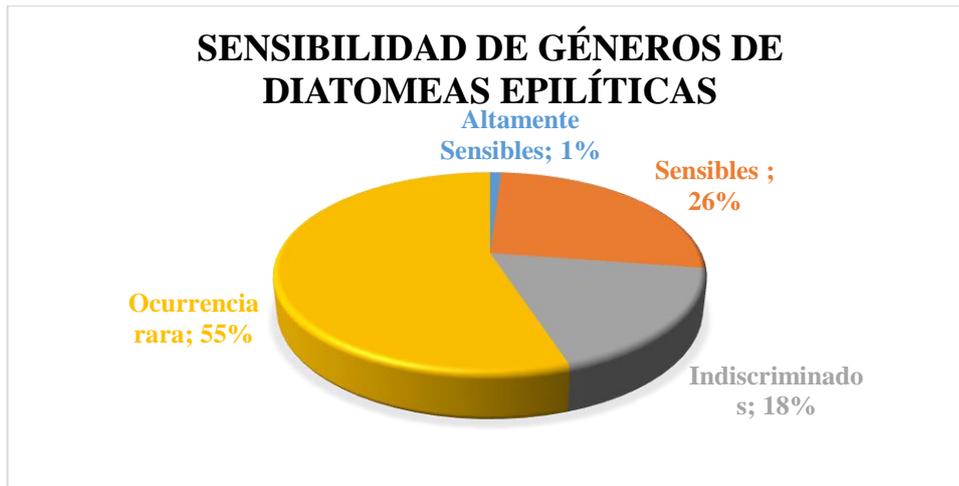


Gráfico 16-4: Sensibilidad de géneros de Diatomeas Epilíticas

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

El porcentaje superior es el de especies de ocurrencia rara con más del 50%, mismas que son indicadoras de una buena calidad del agua, pues al ser de ocurrencia rara a contaminantes y predominar en la zona significa que no hay condiciones que motiven a que estas desaparezcan, considerando al recurso hídrico como poco contaminado, el número de individuos perteneciente a esta clasificación es el mayor representativo de especies, su diversidad contribuye mucho al balance de la calidad del agua del río; en el porcentaje de especies indiscriminadas con un valor de 18% se encuentran los géneros con mayor abundancia reportada de *Cocconeis* y *Fragilaria*, ya que están presentes en todos los ríos muestreados y representa el alto nivel de tolerancia a la contaminación, todo lo contrario al género de *Nitzschia* con un porcentaje del 1%, el cual nos indica una alta sensibilidad y muy poca abundancia en los ríos muestreados, las especies de este género nos indican una mala calidad del agua, en donde se presenta la mayor contaminación. Y por último tenemos las especies sensibles que en este caso representan el 26% con los géneros más abundantes que son *Gomphonema* encontrada en todos los ríos, a diferencia de *Synedra* que solo fue encontrada en los ríos de Ozogoche y Yasepan esto es debido a su nivel de contaminación no tan significativa ya que existe la presencia de especies altamente tolerantes como las antes mencionadas y también puede interferir la cantidad de materia orgánica pues estas especies se caracterizan por estar presente en velocidades bajas de corriente, por lo cual interviene la época en la que se realizan los estudios. En este caso se realizó durante cuatro meses distintos en los cuales los 3 primeros se realizaron en épocas lluviosas por lo cual el caudal era muy alto y no se encontraron varias especies ni una buena abundancia y el último que fue en septiembre se realizó en época de estiaje en la cual se registró una mayor abundancia en los 4 ríos muestreados.

4.5 Estado Trófico del agua mediante el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS)

Al calcular el estado trófico, como medio numérico para evaluar los niveles de contaminación en los sistemas acuáticos, determinando la tolerancia o sensibilidad de un organismo a las perturbaciones o contaminantes, se utilizaron las densidades de diatomeas, agrupándolas por géneros y por diferentes ríos. En base a lo anterior, los valores de IPS obtenidos para cada género en los distintos ríos estudiado se indican a continuación:

4.5.1 Río Ozogoche

Tabla 19-4: Estado Trófico del agua mediante el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS) en el río Ozogoche

Género	Abundancia Relativa	Sensibilidad (S)	Tolerancia (V)	IPS
<i>Achnantheidium</i>	6,01	5	2	20
<i>Aulacoseira</i>	1,50	4	1	15,25
<i>Brachysira</i>	5,11	5	1	20
<i>Cocconeis</i>	0,37	4	1	15,25
<i>Cyclostephanos</i>	0,07	5	2	20
<i>Cymbella</i>	13,26	5	1	20
<i>Encyonema</i>	0,17	5	1	20
<i>Encyonopsis</i>	0,40	3	1	10,5
<i>Eunotia</i>	2,74	5	2	20
<i>Fragilaria</i>	22,37	4	1	15,25
<i>Gomphonema</i>	5,61	3	2	10,5
<i>Meridion</i>	8,15	3	1	10,5
<i>Navicula</i>	9,85	3	1	10,5
<i>Nitzschia</i>	1,47	1	1	1
<i>Surirella</i>	2,27	3	3	10,5
<i>Synedra</i>	3,54	3	1	10,5
<i>Tabellaria</i>	17,13	5	1	20

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

Como se puede apreciar en la tabla 19 para este río se tiene un total de 17 géneros; *Achnantheidium*, *Brachysira*, *Cyclostephanos*, *Cymbella*, *Encyonema*, *Eunotia*, *Tabellaria*, con valores de 20 indica un excelente estado trófico, mientras que *Aulacoseira*, *Cocconeis* y *Fragilaria* indican un buen estado, *Encyonopsis*, *Gomphonema*, *Meridion*, *Navicula*, *Surirella* y *Synedra* indican un estado moderado y *Nitzschia* un estado de muy mala calidad.

4.5.2 Río Atillo

Tabla 20-4: Estado Trófico del agua mediante el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS) en el río Atillo

Género	Abundancia Relativa	Sensibilidad (S)	Tolerancia (V)	IPS
<i>Achnanthydium</i>	0,1	5	2	20
<i>Aulacoseira</i>	1,4	4	1	15,25
<i>Brachysira</i>	2,0	5	1	20
<i>Cocconeis</i>	0,1	4	1	15,25
<i>Cymbella</i>	3,4	5	1	20
<i>Encyonema</i>	0,3	5	1	20
<i>Encyonopsis</i>	0,3	3	1	10,5
<i>Eolimna</i>	0,4	5	2	20
<i>Eunotia</i>	9,5	5	2	20
<i>Epithemia</i>	0,8	5	2	20
<i>Fragilaria</i>	22,7	4	1	15,25
<i>Gomphonema</i>	0,3	3	2	10,5
<i>Meridion</i>	4,4	3	1	10,5
<i>Navicula</i>	7,2	3	1	10,5
<i>Nitzschia</i>	2,3	1	1	1
<i>Surirella</i>	0,2	3	3	10,5
<i>Tabellaria</i>	44,7	5	1	20

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

Como se puede apreciar en la tabla 20 para este río se tiene un total de 17 géneros; *Achnanthydium*, *Brachysira*, *Cymbella*, *Encyonema*, *Eolimna*, *Eunotia*, *Epithemia* y *Tabellaria*, con valores de 20 indica un excelente estado trófico, mientras que *Aulacoseira*, *Cocconeis* y *Fragilaria* indican un buen estado, *Encyonopsis*, *Gomphonema*, *Meridion*, *Navicula* y *Surirella* indican un estado moderado y *Nitzschia* un estado de muy mala calidad.

4.5.3 Río Yasepan

Tabla 21-4: Estado Trófico del agua mediante el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS) en el río Yasepan

Género	Abundancia Relativa	Sensibilidad (S)	Tolerancia (V)	IPS
<i>Achnanthydium</i>	0,56	5	2	20

<i>Brachysira</i>	12,10	5	1	20
<i>Cocconeis</i>	0,56	4	1	15,25
<i>Cymbella</i>	4,28	5	1	20
<i>Diatoma</i>	1,86	4	1	15,25
<i>Encyonema</i>	0,37	5	1	20
<i>Eunotia</i>	10,43	5	2	20
<i>Fragilaria</i>	17,88	4	1	15,25
<i>Meridion</i>	38,92	3	1	10,5
<i>Navicula</i>	7,82	3	1	10,5
<i>Synedra</i>	3,17	3	1	10,5
<i>Tabellaria</i>	2,05	5	1	20

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

Como se puede apreciar en la tabla 21 para este río se tiene un total de 12 géneros; *Achnantheidium*, *Brachysira*, *Cymbella*, *Encyonema*, *Eunotia*, y *Tabellaria*, con valores de 20 indica un excelente estado trófico, mientras que, *Cocconeis*, *Diatoma* y *Fragilaria* indican un buen estado y *Meridion*, *Navicula* y *Synedra* indican un estado moderado.

4.5.4 Río Cebadas

Tabla 22-4: Estado Trófico del agua mediante el Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS) en el río Cebadas

Género	Abundancia Relativa	Sensibilidad (S)	Tolerancia (V)	IPS
<i>Achnantheidium</i>	2,64	5	2	20
<i>Aulacoseira</i>	0,17	4	1	15,25
<i>Brachysira</i>	14,79	5	1	20
<i>Cocconeis</i>	11,18	4	1	15,25
<i>Cymbella</i>	2,29	5	1	20
<i>Diatoma</i>	2,69	4	1	15,25
<i>Eunotia</i>	2,41	5	2	20
<i>Fragilaria</i>	29,87	4	1	15,25
<i>Gomphonema</i>	3,96	3	2	10,5
<i>Melosira</i>	0,40	3	1	10,5
<i>Meridion</i>	11,35	3	1	10,5

<i>Navicula</i>	12,16	3	1	10,5
<i>Nitzschia</i>	1,26	1	1	1
<i>Staurosira</i>	1,03	5	2	20
<i>Tabellaria</i>	3,38	5	1	20
<i>Ulnaria</i>	0,40	3	1	10,5

Fuente: Autores, 2022

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

Como se puede apreciar en la tabla 22 para este río se tiene un total de 16 géneros; *Achnantheidium*, *Brachysira*, *Cymbella*, *Eunotia*, *Staurosira* y *Tabellaria*, con valores de 20 indica un excelente estado trófico, mientras que, *Aulacoseira*, *Cocconeis*, *Diatoma* y *Fragilaria* indican un buen estado y *Gomphonema*, *Melosira*, *Meridion*, *Navicula*, *Ulnaria* indican un estado moderado y *Nitzschia* un estado de muy mala calidad.

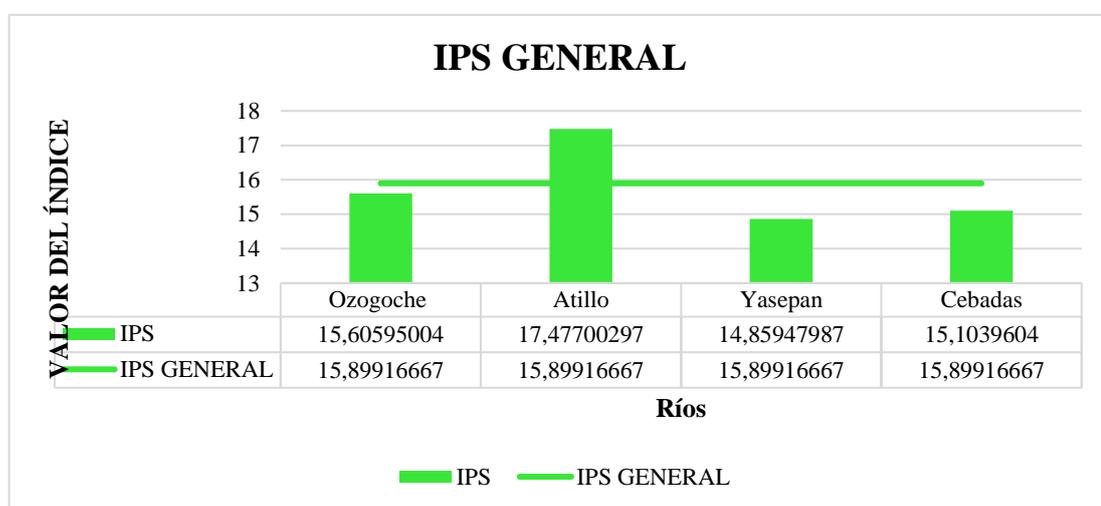


Gráfico 17-4: IPS general de la Microcuenca del río Cebadas

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

El Índice de Poluosensibilidad Específica (IPS) estima la ecología de todos los géneros de diatomeas hallados en los Ríos Ozogoche, Atillo, Yasepan y Cebadas. En base al cálculo del IPS el Río Ozogoche presenta un valor de 15,61 el cual indica que la calidad del agua es buena, dado que se encuentra dentro del rango entre 13-17. El Río Atillo presenta un IPS alto de 17,47 el cual indica que la calidad del agua es excelente, mientras que el Río Yasepan presenta un IPS bajo de 14,85 el cual indica que la calidad del agua es buena, finalmente el Río Cebadas presenta un valor de 15,61 el cual indica que la calidad del agua es buena.

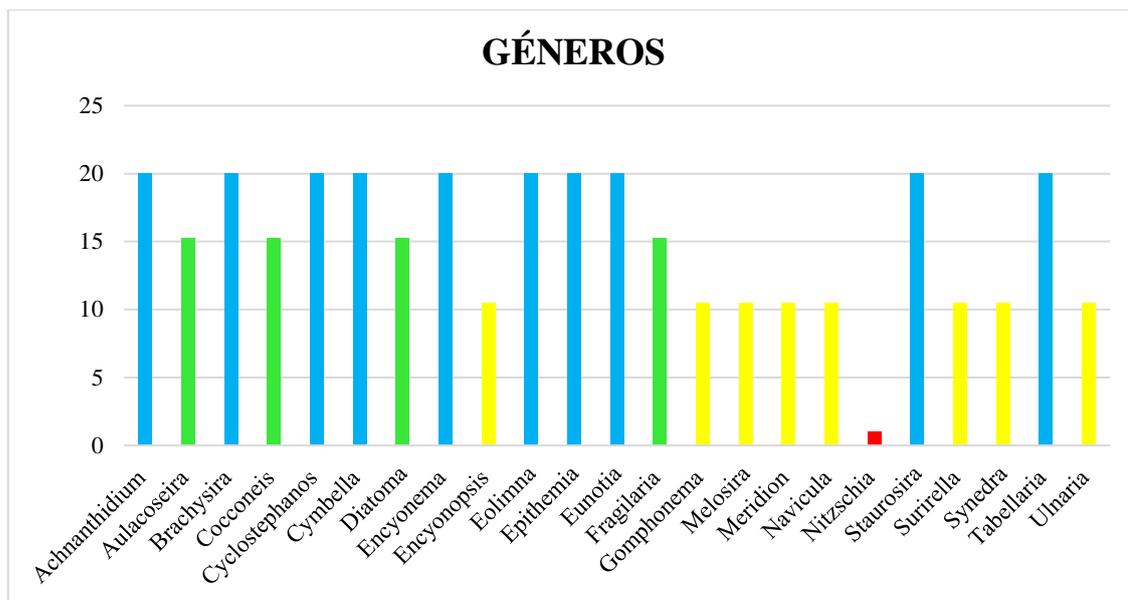


Gráfico 18-4: IPS de los géneros de Diatomeas con respecto a la calidad de agua

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

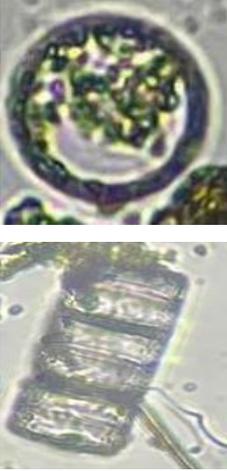
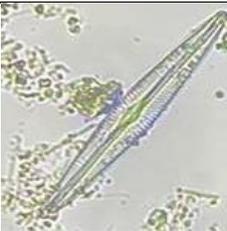
En base a los valores de Abundancia Relativa, Sensibilidad y Tolerancia, se determinó que el 43,47 % de los géneros encontrados en los ríos monitoreados indican excelente calidad del agua, el 17,39 % indican buena calidad del agua, el 34,78 % indican moderada calidad del agua y finalmente el 4,35 % indica muy mala calidad del agua.

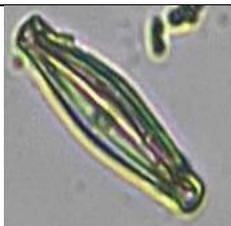
4.6 Resultados de la Diversidad de Diatomeas Epilíticas

En base al tercer objetivo específico planteado en el presente trabajo de investigación se documentó la Diversidad de Diatomeas Epilíticas presentes en la Microcuenca del Río Cebadas mediante la observación en el microscopio y su posterior registro fotográfico

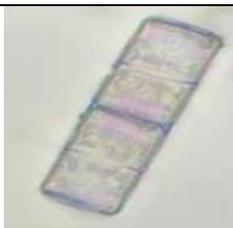
Tabla 23-4: Registro fotográfico de las Diatomeas Epilíticas

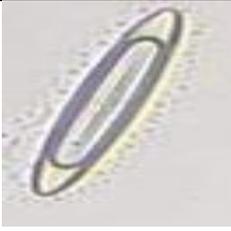
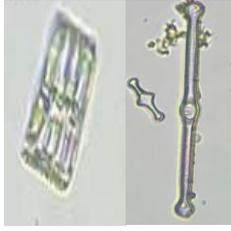
Género	Especie	Registro Fotográfico	Características
--------	---------	----------------------	-----------------

<p>Aulacoseira</p>	<p><i>Aulacoseira tenella</i></p>		<p>Habitat: Planctónico Tamaño: 11-100 y 101-1000 μm^3. Motilidad: Inmóvil</p>
<p>Cyclostephanos</p>	<p><i>Cyclostephanos invisitatus</i></p>		<p>Habitat: Planctónico Tamaño: 101-1000 μm. Motilidad: Inmóvil</p>
<p>Cymbella</p>	<p><i>Cymbella cesatii</i></p>		<p>Habitat: Bentónico Tamaño: 101-1000 μm. Motilidad: Ligeramente móvil</p>
	<p><i>Cymbella excisa</i></p>		<p>Habitat: Bentónico Tamaño: 1001-10000 μm. Motilidad: Ligeramente móvil</p>
	<p><i>Cymbella excisiformis</i></p>		<p>Habitat: Bentónico Tamaño: 101-1000 μm. Motilidad: Ligeramente móvil.</p>
	<p><i>Cymbella tumida</i></p>		<p>Habitat: Bentónico Tamaño: 10001-100000 μm. Motilidad: Ligeramente móvil</p>

Diatoma	<i>Diatoma ehrenbergii</i>		Habitat: Bentónico y planctónico Tamaño: 1001-10000 μm . Motilidad: Inmóvil
	<i>Diatoma vulgaris</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 101-1000 y 1001-10000 μm . Motilidad: Inmóvil
Encyonema	<i>Encyonema lange-bertalotti</i>		Se localiza en lugares con concentraciones bajas de nutrientes y baja conductividad eléctrica pH: Ligeramente alcalino Habitat: Bentónico Tamaño: 101-1000 μm . Motilidad: Moderadamente móvil.
	<i>Encyonema silesiacum</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 1001-10000 μm . Motilidad: Ligeramente móvil.
Encyonopsis	<i>Encyonopsis subminuta</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 11-100 μm . Motilidad: Moderadamente móvil.
Epithemia	<i>Epithemia turgida</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 1001-10000 y 10001-100000 μm . Motilidad: Moderadamente móvil

Eunotia	<i>Eunotia naegeli</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 101-1000 y 1001-10000 µm. Motilidad: Debilmente móvil
Fragilaria	<i>Fragilaria arcus</i>		Habitat: Bentónico y planctónicos pH: Se desarrollan a un pH de 6. Tamaño: 1001-10000 µm Motilidad: Inmóvil
	<i>Fragilaria perminuta</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 11-100 µm. Motilidad: Inmóvil.
	<i>Fragilaria tenera</i>		Habitat: Planctónico Tamaño: 101-1000 µm. Motilidad: Inmóvil
	<i>Fragilaria vaucheriae</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 101-1000 µm. Motilidad: Inmóvil
Gomphonema	<i>Gomphonema exilissimum</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 10001-100000 µm.

	<i>Gomphonema minusculum</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 101-1000 µm. Motilidad: Moderadamente móvil.
	<i>Gomphonema truncatum</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 1001-10000 µm. Motilidad: Moderadamente móvil.
Melosira	<i>Melosira varians</i>		Habitan en ríos, toleran mala calidad del agua Habitat: Bentónico y planctónico Tamaño: 1001-10000 µm. Motilidad: Inmóvil
Meridion	<i>Meridion constrictum</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 1001-10000 µm. Motilidad: Inmóvil
Navicula	<i>Navicula lanceolata</i>		Habitat: Bentónico y planctónico
	<i>Navicula trivialis</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 101-1000 µm. Motilidad: Moderadamente móvil.
Nitzschia	<i>Nitzschia linearis</i>		Habitat: Bentónico Tamaño: 1001-10000 µm. Motilidad: Moderadamente móvil.

	<i>Nitzschia palea</i>		<p>Habitat: Bentónico</p> <p>Tamaño: 101-1000 μm.</p> <p>Motilidad: Moderadamente móvil.</p>
Staurosira	<i>Staurosira construens</i>		<p>Habitat: Bentónico y planctónico</p> <p>Tamaño: 11-100 μm^3.</p> <p>Motilidad: Inmóvil</p>
Synedra	<i>Synedra sp</i>		<p>Habitat: Bentónico</p> <p>Tamaño: 101-1000 μm.</p> <p>Motilidad: Inmóvil</p>
Tabellaria	<i>Tabellaria flocculosa</i>		<p>Habitat: Bentónico y planctónico</p> <p>Tamaño: 11-100 y 101-1000 μm.</p> <p>Motilidad: Inmóvil</p>

Fuente: (PINTO-TORRES, Marco; et al., 2016)

Realizado por: Inca, Lisbeth; Villa, Nataly, 2022.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. Se determina que la calidad del agua de la Microcuenca es buena debido a que parámetros como pH y Oxígeno Disuelto establecidos en la Tabla 3 del TULSMA cumplen con los límites máximos permisibles. De los cuatro ríos estudiados se puede determinar que el río que presenta menor concentración de Nitritos es el río Atillo con 0,007 mg/L, mientras que, el Río Cebadas es el que presenta mayor concentración con un valor de 0,021 mg/L, lo cual puede ser utilizado como indicador de contaminación fecal. En el caso de los Nitratos el río que presenta menor concentración es el Río Atillo con 0,858 mg/L, mientras que, el Río Cebadas es el que presenta mayor concentración con un valor de 2,192 mg/L dando como resultado un efecto negativo en el desarrollo de especies de diatomeas epilíticas debido a la presencia de plantas acuáticas. Para el Potencial de Hidrógeno se puede determinar que el Río Atillo presenta el pH más bajo con un valor de 7,548 mientras que el Río Yasepan presenta un pH mayor con un valor de 8,525, finalmente, en el caso del oxígeno disuelto se puede determinar que el Río Ozogoche presenta bajos niveles de oxígeno disuelto con un valor de 80,300 %, mientras que el Río Atillo presenta mayores niveles de oxígeno disuelto con un valor de 82,767 %.
2. Se establece que el Río Ozogoche perteneciente a la microcuenca del Río Cebadas guarda la mayor diversidad de diatomeas con un total de 2995 individuos predominando las del género *Fragilaria*, mientras que el río con menor diversidad es el Río Yasepan con un total de 537 individuos predominando las del género *Brachysira*, el cuál esta contrastado por las actividades antrópicas como descargas de aguas residuales y actividades agropecuarias extensivas. El nivel de diversidad de estas especies se determinó mediante los índices de Shannon Wiener y Simpson, dando como resultado una diversidad promedio, se escogieron estos índices para dar mayor confiabilidad al resultado encontrado. Las especies se clasificaron según sus géneros, de los cuales el 26% resultaron ser sensibles a los contaminantes, se encontró un alto porcentaje de géneros con ocurrencia rara, y luego un porcentaje del 18% de géneros que conservaron la descripción de indiscriminados, que significa que mostraron un nivel de contaminación muy tolerante.
3. El estudio realizado en la Microcuenca del Río Cebadas, permite establecer una línea de fondo de diatomeas epilíticas para los ríos Ozogoche, Atillo, Cebadas y Yasepan con un total de 44 especies agrupadas en 23 géneros lo cual permitió diagnosticar la calidad del agua y documentar la información para procesos de monitoreo y seguimiento brindando

una matriz explicativa de su estructura morfológica, sensibilidad, tolerancia, hábitat, motilidad y tamaño.

4. El IPS analizado ha permitido calificar que la Microcuenca del Río Cebadas mantiene una calidad que va de buena a excelente con especies altamente sensibles como: *Achnantheidium*, *Cymbella*, *Eunotia* y *Tabellaria* mismas que en contraste con los parámetros físicos y químicos analizados garantizan el estado favorable de la calidad de recurso hídrico. Determinando a la vez que el género que altera levemente al IPS, es el género *Nitzschia* que es recurrente en 3 de 4 ríos estudiados considerándose que su abundancia está relacionada con el caudal, a mayor caudal menor presencia de especies del género *Nitzschia*

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio de la variabilidad climática a lo largo de la microcuenca del río Cebadas debido a que esto puede influir en los resultados del estudio de la calidad del agua y los resultados de las diferentes especies de diatomeas presentes en los diferentes ríos que se realizan los estudios.
- Es recomendable realizar la toma de muestras de Diatomeas y muestras de agua en época de estiaje o seca que se da en el mes de septiembre para evitar que la lluvia arrastre diatomeas de otras zonas y sedimentos en los procesos de escorrentía, para así obtener resultados certeros.
- Se recomienda el seguimiento y monitoreo continuo de los ríos por lo menos dos veces al año, tomando en cuenta las épocas secas y lluviosas, evaluando su impacto en la interacción biológica del agua.
- Es necesario realizar un estudio comparativo en base a los trabajos de investigación realizados en los diferentes parques nacionales y reservas naturales de nuestro país a fin de elaborar un documento que permita identificar la abundancia de diatomeas en los ecosistemas acuáticos a nivel nacional.
- Es necesario profundizar estudios de las especies bioindicadoras de la calidad del agua, como las diatomeas, para ampliar la información sobre su taxonomía, tolerancia, adaptación y sensibilidad que se puede encontrar en una base de datos útil para futuras investigaciones.
- Para obtener información confiable sobre el estado actual de los ríos del país, es necesario elaborar índices de calidad biológica que tomen en cuenta las características geográficas, climáticas y ecosistémicas del Ecuador, ya que los análisis se realizan únicamente con índices europeos.
- Es recomendable realizar un análisis detallado de todos los parámetros fisicoquímicos, químicos y microbiológicos para evaluar la calidad del agua de los ríos monitoreados.

BIBLIOGRAFÍA

ALVIAL, Ingrid; et al. "Estructura comunitaria de diatomeas presentes en los sedimentos superficiales de ocho lagos andinos de Chile central". *Revista Chilena de Historia Natural* [en línea], 2008, (Chile) 81 (1), pp. 83-94. [Consulta: 3 marzo 2022]. ISSN 071-6078X. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-078X2008000100007

BARGU, Sibel; et al. "The Diatom World". *The Diatom World* [en línea], 2011, (United State of America) 19 (1998), pp. 519-534. [Consulta: 3 marzo 2022]. DOI 10.1007/978-94-007-1327-7. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/bfm:978-94-007-1327-7/1?pdf=chapter%20toc>

BUENDIA-FLORES, Maricela; et al. "Florística y ecología de diatomeas bentónicas de la zona lacustre de xochimilco-tláhuac, México". *Botanical Sciences* [en línea], 2015, (México) 93 (3), pp. 531-558. [Consulta: 4 marzo 2022]. ISSN 2007-4476. DOI 10.17129/botsci.148. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v93n3/v93n3a11.pdf>

CHAMBO, G.D.A.M. "Plan De Territorial". *Gobierno de Chambo* [en línea], 2015, (Ecuador) pp. 554. Disponible en: https://www.gobiernodechambo.gob.ec/chambo/images/PDyOT_-_PARTE_XLI41.pdf

CUBAS, P. "Bacillaryophyta". *American Journal of Botany* [en línea], 2008, pp. 1-3. Disponible en: https://www.aulados.net/Botanica/Curso_Botanica/Diatomeas/6_Bacillariophyta_texto.pdf

DÍAZ, C. y RIVERA, C.A. "Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales" Diatoms of andean streams and their use as environmental indicators. *Caldasia* [en línea], 2004, (Colombia) 26 (2), pp. 12-18. [Consulta: 10 marzo 2022]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/download/39327/41211>

DR. VLADIMIR, V.F., Evaluación de la concentración de los grupos de fitoplancton: Diatomeas, Cianofitas, Clorofitas y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Río Estero Real, período junio-noviembre 2013, Nicaragua-2013 [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Nicaragua 2013. pp. 5-24. [Consulta: 12 abril 2022]. Disponible en: <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/3258/1/227032.pdf>.

ECOLAP y MAE. Guía del patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador: ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM. *Ministerio del Ambiente. Programas y Servicios*, 2007, pp. 3.

ESPARZA ORTEGA, R.O. y TIBANQUIZA CALI, F.J. Análisis De La Calidad De Agua De La Microcuenca Del Río Cebadas Mediante Indicadores Ecológicos, Ecuador-2020 [en línea] (Trabajo de Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador 2020. pp. 25-27. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/14494/1/236T0511.pdf>

FAUSTINO, J. y JIMENEZ, F. *Manejo de Cuencas Hidrograficas* [en línea]. 2000. S.l.: s.n. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: [https://www.infocuenas.com/img/kcfinder/files/manejo de cuencas hidrograficas.PDF](https://www.infocuenas.com/img/kcfinder/files/manejo%20de%20cuencas%20hidrograficas.PDF).

FONSECA, E. y SILVA, J. Determinación Del Índice Trófico De La Calidad Del Agua a Partir De La Presencia De Diatomeas Epilíticas En El Río Cutuchi, Sector Baño Azul, Cantón Latacunga [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador. 2017 [Consulta: 23 abril 2022]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>

FOWLER, W. *Latin America today* [en línea]. Washington-USA: Edited by Michael Shifter and Bruno Binetti, 2020. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: www.thedialogue.org

GUAMBO LEMA, A.V. Valoración Económica Ambiental Del Servicio Hidrológico De La Microcuenca Del Río Cebadas Del Cantón Guamote, Provincia De Chimborazo [en línea] (Trabajo de Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador , 2016. pp. 171-173 [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4760>

GUAMOTE, G.M. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2023. ,

H KARA, O.A.M.A "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2023". *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents* [en línea], 2014, (Ecuador) 7 (2), pp. 107-115. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.gadguamote.gob.ec/gadmc-g/plan-de-desarrollo1/pdot-guamote-2019-2023/3843-actualizado-pdot-guamote-2019-2023/file.html>.

HACH COMPANY. Productos químicos, reactivos y patrones hach. [en línea], vol. 3, no. MANUAL DE ANALISIS DE AGUA, 2000, pp. 2-3. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: <https://es.hach.com/asset-get.download-en.jsa?code=197580>.

HERNÁNDEZ-PÉREZ, A. y LABBÉ, J.I. "Microalgas, cultivo y beneficios". *Revista de Biología Marina y Oceanografía* [en línea], 2014, (Chile) 49 (2), pp. 157-173. [Consulta: 4 mayo 2022]. ISSN 07181957. DOI 10.4067/S0718-19572014000200001. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/revbiolmar/v49n2/art01.pdf>

INEFAN, I.E.F. y de áreas N. y V.S., 1998. Plan De Manejo Estratégico Del Parque Nacional Sangay. , no. Octubre.

INEN 2169. "Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169: 2013 Agua, Calidad de agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras". *Instituto Ecuatoriano De Normalización* [en línea], 2013, (Ecuador) pp. 26. Disponible en: <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACIÓN-DE-MUESTRAS.pdf>

JÚAREZ, Iván; et al. Aportes del análisis de las características morfométricas de la cuenca hidrográfica del arroyo Santa Bárbara para el diagnóstico ambiental, Ecuador. 2017, pp. 351-354.

LONDOÑO, A. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LAS MICROCUENCAS DE LAS QUEBRADAS LA PAVA, VENTIADERO Y FALDÓN DEL MUNICIPIO DE LIBORINA [en línea] (Trabajo de Titulación) Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, Colombia 2001. p. 88. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/AGUA/AIRNR_CN_3144_2001.pdf

LÓPEZ, Arturo Salmerón; et al. Propuesta de un índice de diversidad funcional. Aplicación a un bosque semideciduo micrófilo de Cuba Oriental. *Bosque* [en línea], 2017, (Cuba) 38 (3), pp. 457-466. [Consulta: 4 mayo 2022]. ISSN 0717-9200. DOI 10.4067/S0717-92002017000300003. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v38n3/art03.pdf>.

LORA-VILCHIS; et al. "Diatomeas: Algas de Cristal". *Revista Digital de Divulgación Científica* [en línea], 2020, (México) 53 (9), pp. 1689-1699. [Consulta: 5 mayo 2022]. ISSN 1098-6596. Disponible en: https://www.cibnor.gob.mx/revistas/pdfs/vol6num1/3_ALGAS_CRISTAL.pdf

LOZANO-DUQUE, Yesi; et al. "Diatomea". *Bol. Invest. Mar. Cost* [en línea], 2010, 39 (1049), pp. 83-116. [Consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/mar/v39n1/v39n1a06.pdf>.

GODÍNEZ-ORTEGA, Luis; et al. "Diversidad algal del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México, excepto diatomeas Algal diversity of Zempoala Lagoons National Park, Mexico, except diatoms". *Hidrobiológica* [en línea], 2017, (México) 27 (1), pp. 45-58. [Consulta: 1 junio 2022]. ISSN 0188-8897. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972017000100045&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v27n1/0188-8897-hbio-27-01-00045.pdf.

MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR. *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental.* Quito: Raúl Galeas, 2012. P. 186.

MINAYA, Reynaldo. Parámetros Físicos, Químicos, Microbiológicos, Para Determinar La Calidad Del Agua En La Laguna Moronacocha, Época De Transición Creciente-Vaciante [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú. 2017. pp. 37-38. [Consulta: 2022-04-13]. Disponible en: https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/4690/Reynaldo_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MONTOYA-MORENO, Yimmy; et al. "Diatomeas (bacillariophyta) perifíticas del complejo cenagoso de ayapel, Colombia. I". *Caldasia* [en línea], 2012, (Colombia) 34(2), pp. 457-474. [Consulta: 2022-04-15] ISSN 03665232. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/7615/1/MontoyaYimmy_2012_Diatomeas_PerifiticasComplejo.pdf

MORA DONJUÁN, Carlos; et al. "Evaluación de la biodiversidad y caracterización estructural de un Bosque de Encino (*Quercus L.*) en la Sierra Madre del Sur, México". *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, [en línea], 2017, (México) 14(35), pp. 68-71. [Consulta: 2022-05-03] ISSN 2215-2504. Disponible en: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/3154/2941>

MORALES, Mercedes, & ALVAREZ, 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] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Cotopaxi 2017. pp. 19-22. [Consulta: 2022-05-16]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4206/1/UTC-PC-000087.pdf>

NTE INEN 2176:2013. *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.*

PICCARDO ANTUNEZ, Andrea. Diatomeas Bentónicas Como Indicadores De Gradientes Ambientales Asociados a Actividades Antrópicas En Arroyos De La Cuenca Del Río Negro [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de la República Uruguay, Montevideo, Uruguay. 2020. pp. 50-83. [Consulta: 2022-05-26] Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/25814/1/uy24-19792.pdf>.

PINTO-TORRES, Marco; et al. *Atlas de los Géneros de Diatomeas de Aguas Continentales en la región de Magallanes.* Magallanes-Chile: CEQUA, 2016, pp. 29-142.

PLA, L. "Intervalos de confianza bootstrap del índice de biodiversidad de Shannon". *Revista de la Facultad de Agronomía* [en línea], 2006, (Argentina) 18(35), pp. 583-585. [Consulta: 2022-06-

18] ISSN 0378-1844. Disponible en:
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000800008

PUJANTE, Ana María; et al. "Contribución al establecimiento de condiciones de referencia y límites entre clases de estado ecológico en los ríos españoles". *Limnetica* [en línea], 2016, (España) 35(1), pp. 201-218. [Consulta: 2022-04-14]. ISSN 0213-8409. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/304330277_Contribucion_al_establecimiento_de_condiciones_de_referencia_y_limites_entre_clases_de_estado_ecologico_en_los_rios_espanoles.

ROMERO, J. *Calidad del Agua*. 3° ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009, pp. 107-114.

SENAGUA. *Estrategia Nacional de Calidad del Agua*. Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente, 2016, pp. 75-81.

SIERRA RAMÍREZ, C.A. *Calidad del Agua: Evaluación y diagnóstico*. Medellín, Colombia: Ediciones de la U, 2011. ISBN 9789588692067, pp. 58-75.

SIQUEIROS-BELTRONES, D.A; et al. "Diversidad de diatomeas bentónicas marinas en un ambiente ligeramente enriquecido con elementos potencialmente tóxicos". *Revista Mexicana de Biodiversidad* [en línea], 2014, (México) 85(4), pp. 1065-1085. [Consulta: 2022-04-11]. ISSN 1870-3453. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345314729914>.

TIQUE, L. *Servicios Ecosistémicos Hidrológicos Generadores De Conflictos Socioambientales En La Cuenca Baja Del Río Bogotá: Elementos Claves Para La Gestión* [En línea] (Trabajo de titulación). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. 2021. pp.5 [Consulta: 2022-04-03]. Disponible en:
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/57830/Trabajo%20de%20Grado%20Art%20Lorena%20Tique%20Cardozo%20Ajustes%20Finales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VALDEZ MARROQUÍN, C.G; et al. "Estructura y diversidad de la vegetación del matorral espinoso tamaulipeco con condiciones prístinas en el noreste de México". *Revista de Biología Tropical* [en línea], 2018, México 66(4), pp. 1674-1682. [Consulta: 2022-04-15]. ISSN 0034-7744. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v66n4/0034-7744-rbt-66-04-1674.pdf>.

VÁSCONEZ, M; et al. *Cuencas Hidrográficas* [en línea]. Quito-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2019. [Consulta: 2022-04-15]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>

VÉLEZ, A; et al. "Diversidad De Fitoplancton Como Indicador De Calidad De Agua En La Cuenca Baja Del Río Lurín , Lima , Perú". *Ecología Aplicada* [en línea], 2016, (Perú) 15(2), pp. 1-12. [Consulta: 2022-04-15]. ISSN 1726-2216 Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v15n2/a02v15n2.pdf>.

VICENTE, E; et al. *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua en la Confederación Hidrográfica del Ebro* [en línea]. Madrid-España: Ministerio de Medio Ambiente, 2007. [Consulta: 2022-05-08]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tcm30-214764.pdf

YÜCE, A.; & GÖNÜLOL, A. "Evaluation of the relationship between epiphytic diatoms and environmental parameters with the canonical correspondence analysis (CCA)". *Pakistan Journal of Botany* [en línea], 2016, (Turkey) 48(4), pp. 1723-1730. [Consulta: 2022-04-05]. ISSN 0556-3321. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/267038358_Diatom_epiphyton_in_the_St_Lawrence_River_Canada_characterization_and_relationship_to_environmental_conditions.

ZOPPI, E., PARDO, maría J. y AYMA. "Rotíferos. Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: invertebrados de água doce". *Iheringia* [en línea], 2013, (Brasil) 107(3), pp. 251-253. [Consulta: 2022-05-12]. ISSN 1678-4766 Disponible en: http://personal.telefonica.terra.es/web/ayma/atlas_m.htm%0Ahttps://bibliofep.fundacionempresaspolar.org/media/17015/libro_bio_t1_013.pdf.



ANEXOS

ANEXO A: MUESTREO DE DIATOMEAS

Recolección de la muestra	
 <p>Muestreo de Diatomeas Epilíticas</p>	 <p>Recolección de Diatomeas Epilíticas</p>
 <p>Muestra Recolectada</p>	 <p>Limpieza de la muestra</p>
 <p>Limpieza de la muestra</p>	 <p>Muestras Recolectadas</p>
Parámetros Físicoquímicos	



Medición de Parámetros

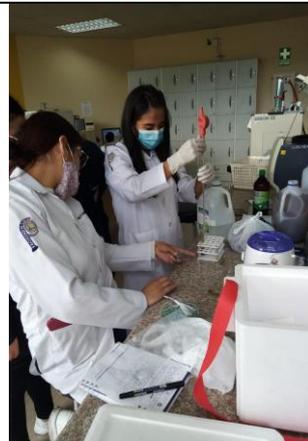


Recolección de Muestras de Agua

ANEXO B: TRATAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE DIATOMEAS



Muestra a tamizar



Limpieza de muestras con Peróxido de Hidrógeno



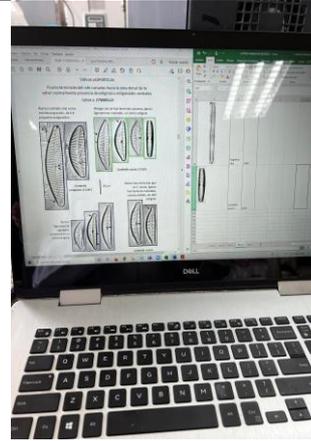
Muestras sometidas a Baño María



Muestras plaqueadas listas para ser observadas en el microscopio



Observación de Diatomeas en el Microscopio



Identificación y registro de diatomeas observadas

ANEXO C: ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN EL LABORATORIO



Distribución de las muestras recolectadas



Colocación de reactivos en las muestras



Muestra preparada



Resultados de la muestra analizada



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 25 / 01 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR	
Nombres – Apellidos:	<i>Lisbeth Johana Inca Noboa Nataly Paulet Villa Valdivieso</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad:	<i>Ciencias</i>
Carrera:	<i>Ingeniería Ambiental</i>
Título a optar:	<i>Ingeniera Ambiental</i>
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Ing. Fernanda Arévalo M.



2087-DBRA-UPT-2022