



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“USO DE DIATOMEAS EPILÍTICAS COMO
BIOINDICADORAS DE CALIDAD DE AGUA DE LA CUENCA
MEDIA-BAJA DEL RÍO YANUNCAY EN ÉPOCA SECA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTOR: DAYANA ESTEFANIA AYALA MATUTE
DIRECTOR: BLGA. MSc. PAULA CORDERO CUEVA**

CUENCA - ECUADOR

2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**USO DE DIATOMEAS EPILÍTICAS COMO BIOINDICADORAS DE
CALIDAD DE AGUA DE LA CUENCA MEDIA-BAJA DEL RÍO
YANUNCAY EN ÉPOCA SECA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTOR: DAYANA ESTEFANIA AYALA MATUTE

DIRECTOR: BLGA. MSc. PAULA MILENA CORDERO CUEVA

CUENCA – ECUADOR

2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

DECLARACIÓN

Yo, DAYANA ESTEFANIA AYALA MATUTE, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



Dayana Estefania Ayala Matute

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por DAYANA ESTEFANIA AYALA MATUTE, bajo mi supervisión.



Blga. Paula Milena Cordero Cueva, MSc.

DIRECTORA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la culminación de este trabajo de investigación, por concederme la sabiduría y fuerza necesaria para superar los obstáculos que se han presentado durante el camino y permitirme cumplir mi meta anhelada. De igual manera agradezco a la Universidad Católica de Cuenca y Universidad Internacional SEK Ecuador, que conjuntamente entre ambas universidades me han brindado su apoyo. A los docente que me han apoyado en toda la carrera universitaria, especialmente a mi tutora Blga. Paula Cordero, que en esta etapa final ha sido de gran apoyo en la colaboración de mi tesis.

.

DEDICATORIA

A mis padres, por ser el pilar fundamental en mi vida, por haberme forjado como la persona que soy y guiarme siempre por el camino correcto. Por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia se pueden alcanzar las metas que se propongan. Gracias por brindarme su amor, paciencia y por siempre creer en mí.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	i
CERTIFICACIÓN	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE ANEXOS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 General.....	3
CAPÍTULO II	4
1. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Red hidrográfica.....	4
2.1.1 Cuenca	4
2.1.2 Subcuenca.	4
2.1.3 Microcuenca.	4
2.2 Sistema lótico.....	4
2.3 Contaminación Hídrica	5
2.4 Contaminación ganadera	5
2.5 Tipos de contaminantes	5
2.6 Calidad del agua	6
2.7 Bioindicadores de calidad del agua.....	7
2.8 Diatomeas como indicadores ecológicos	7
2.9 Factores ambientales determinantes	8
2.9.1 Caudal.....	9
2.9.2 Intensidad de luz.	9
2.9.3 Temperatura.....	9
2.9.4 Conductividad.....	10
2.9.5 pH (Potencial de Hidrógeno).....	10
2.9.6 Oxígeno Disuelto.	10
2.9.7 Estado trófico de un cuerpo lótico.....	10
2.9.8 Análisis de datos.	11
2.9.9 Índice diatomológico.....	11
2.9.10 Análisis canónico.....	11

2.10 Fundamentación Legal.....	11
CAPÍTULO III	14
3 MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1 Descripción del área	14
3.2 Periodo de muestreo.....	16
3.3 Población y muestra.....	16
3.4 Métodos de muestreo	17
3.4.1 Trabajo de campo.....	17
3.4.2 Trabajo de laboratorio.....	24
CAPÍTULO IV	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Resultados.....	31
4.1.1 Análisis del índice de hábitat fluvial.	31
4.1.2 Análisis de la calidad de vegetación de ribera.	32
4.1.3 Análisis de caudales.....	34
4.1.4 Análisis de la calidad físico química del agua.	34
4.1.5 Identificación de especies.....	37
4.1.6 Análisis del índice de Shannon y Wiener.	39
4.1.7 Análisis del índice diatomológico.	40
4.1.8 Análisis de correspondencia canónica (ACC).	42
4.1.9 Dendograma de Clúster.....	45
4.2 Discusiones.....	45
CAPÍTULO V	49
5. CONCLUSIONES	49
CAPÍTULO VI	50
6. RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del río Yanuncay.	15
Figura 2. Datos anuales de precipitaciones.	16
Figura 3. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo	19
Figura 4. Medición de caudales con el molinete	22
Figura 5. Toma de parámetros físico-químicos.	23
Figura 6. Proceso de recolección diatomeas.	24
Figura 7. Procedimiento de limpieza de diatomeas.	26
Figura 8. Procedimiento de la lámina permanente.	27
Figura 9. Recuento de diatomeas.	28
Figura 10. Variación del IHF en los diferentes puntos de muestreo.	32
Figura 11. Variación del QBR en los puntos de muestreo.	34
Figura 12. Variación de los caudales.	34
Figura 13. (a) Variación de la temperatura, (b) pH, (c) oxígeno disuelto, (d) conductividad; durante los tres períodos de muestreo.	36
Figura 14. Variación del índice de Shannon.	40
Figura 15. Análisis de correlación canónica de parámetros físico-químicos y especies de diatomeas.	44
Figura 16. Dendograma de ausencia o presencia de especies en los distintos puntos.	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las estaciones de muestreo en el río Yanuncay.	18
Tabla 2. Rangos de calidad del IHF	20
Tabla 3. Nivel de calidad de QBR.	21
Tabla 4. Interpretación del índice de Shannon.	29
Tabla 5. Valores de calidad del IPS.	30
Tabla 6. Evaluación de la calidad del hábitat fluvial.....	31
Tabla 7. Evaluación de la vegetación de ribera de páramos	32
Tabla 8. Evaluación de la vegetación de ribera de bosques.....	33
Tabla 9. Valores por muestreos de los parámetros físicos químicos.	35
Tabla 10. Especies de diatomeas encontradas a lo largo del río Yanuncay.	38
Tabla 11. Valores promedios del índice de Shannon a lo largo del río.	39
Tabla 12. Valores de tolerancia y sensibilidad asignados por OMNIDIA.	41
Tabla 13. Valores de calidad del agua según el IPS.	42

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Evaluación de la calidad del hábitat fluvial en la región austral del Ecuador	57
Anexo 2. Evaluación de la calidad de la ribera en la región austral del Ecuador. Ecosistemas de bosques de ribera	58
Anexo 3. Evaluación de la calidad de la ribera en la región austral del Ecuador. Ecosistemas de páramos.	59
Anexo 4. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna.....	60
Anexo 5. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.....	61
Anexo 6. Distribución de especies de diatomeas durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre.....	62
Anexo 7. Especies de diatomeas encontradas a lo largo de la cuenca del río Yanuncay - Plate 1	63
Anexo 8. Especies de diatomeas encontradas a lo largo de la cuenca del río Yanuncay - Plate 2.....	64
Anexo 9. Especies de diatomeas encontradas a lo largo de la cuenca del río Yanuncay - Plate 3.....	65
Anexo 10. Especies de diatomeas encontradas a lo largo de la cuenca del río Yanuncay - Plate 4.....	66
Anexo 11. Matriz de ausencia y presencia de especies.....	67
Anexo 12. Intervención antrópica, presencia de estructura sólida.....	68

RESUMEN

Los efectos antropogénicos de actividades como la agricultura y ganadería constituyen una amenaza al recurso hídrico. Mediante el uso de diatomeas epilíticas se determinó el grado de eutrofización de la cuenca media del río Yanuncay, cantón Cuenca, en época seca. Se reconocieron las diatomeas epilíticas presentes, se estimó el índice Shannon y se los correlacionó con la calidad del agua. Se establecieron cinco puntos de muestreo, durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre; se analizaron los parámetros físicos químicos, como resultado: los nitratos en los puntos (P1, P3 y P4), coliformes (P3, P4 y P5) sobrepasaron el límite permisible del TULSMA. Además, se consideraron los índices del hábitat fluvial IHF obteniéndose calidad regular en todos los puntos de muestreo y el índice de calidad de ribera QBR que resultó ser de calidad mala e intermedia en los puntos (P1,P3,P5) y (P2,P4), respectivamente. Se registraron 2677 individuos, distribuidos en 36 especies, siendo *Melosira varians*, *Gomphonema subclavatum* y *Encyonema minutum* las de mayor abundancia. El 42,11% de especies son propias de ecosistemas eutróficos; 26,32 % mesotróficos; 31,58 % oligotróficos.

Palabras clave: Diatomeas; calidad del agua; río Yanuncay; índice de hábitat fluvial (IHF); parámetros físicos químico.



ABSTRACT

The anthropogenic effects of activities such as agriculture and livestock constitute a threat to water resources. Using epilithic diatoms, the degree of eutrophication of the middle basin of the Yanuncay River, Cuenca canton, during the dry season was determined. The epilithic diatoms present were recognized, the Shannon index was estimated and correlated with water quality. Five sampling points were established, during the months of July, August, and September; the physical-chemical parameters were analyzed; as a result: nitrates in the points (P1, P3, and P4), coliforms (P3, P4, and P5) exceeded the permissible limit of the Unified Text Of Secondary Legislation On Environment (TULSMA, in Spanish). Furthermore, the Fluvial Habitat Index (FHI) was considered, obtaining regular quality at all sampling points and the riverbank quality index QBR, which resulted in poor and intermediate quality at points (P1, P3, P5) and (P2, P4), respectively. A total of 2677 individuals were recorded, distributed in 36 species, with *Melosira Varians*, *Gomphonema Subclavatum*, and *Encyonema Minutum* being the most abundant. The 42.11% of species are typical of eutrophic ecosystems; 26.32 % mesotrophic; 31.58 % oligotrophic.

KEYWORDS: Diatoms, water quality, Yanuncay river, fluvial habitat index (FHI), physical and chemical parameters.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos constan entre los más amenazados del planeta, su contaminación y degradación generan un impacto perjudicial en el ambiente y la salud. Las condiciones ambientales del momento avanzan sin reparo sobre la preservación de los recursos hídricos. La expansión urbana, la ganadería, minería, agricultura, el lavado de vehículos, fábricas y más, se convierten en amenazas para la conservación de los ríos. Debido a estos factores es preocupante la contaminación, que se presenta en todos los ecosistemas interandinos.

La cuenca hidrográfica, es un territorio significativo para tratar problemas relacionados con las aguas superficiales como la contaminación antrópica. Un manejo adecuado de este recurso aseguraría tanto el bienestar de la población como la sustentabilidad del ecosistema. La calidad del agua natural, depende de ciertos elementos interrelacionados, es así como las cantidades y el tipo de impurezas que se encuentran en el agua varían de un lugar a otro, según la época del año y dependen de varios elementos. Estos elementos contienen topografía, geología, clima, uso de la tierra y procesos biológicos (Lenntech, 2020).

Comúnmente para valorar la calidad del agua se utilizan algunos parámetros para determinar las características físicas, químicas y biológicas y correlacionarlas entre sí, para a su vez establecer un estado trófico del cuerpo de agua (Coral, 2013). No obstante, estos parámetros reflejan solo las condiciones establecidas en un momento determinado, por lo que el uso de microorganismos como indicadores de calidad, evalúan los cambios que han ocurrido a través del tiempo.

La utilización de organismos acuáticos indicadores como macrovertebrados, peces microalgas, entre otros, son de utilización marcada entre los recursos hídricos. Estos índices biológicos son aplicados en varios países debido a que los seres vivos, son sensibles y responden fácilmente ante distintos contaminantes en comparación con los métodos tradicionales (Matcalfe, 1989).

Los estudios de la variedad de las comunidades de microorganismos en los ecosistemas dulceacuícolas de Ecuador son escasos y se han centrado principalmente en estudios florísticos y no tanto en la variación de la composición de especies en función de las presiones ambientales a las que se ven sometidos. Para el estudio de la biodiversidad es necesaria la identificación de especies tradicionalmente basada en la

identificación morfológica lo cual requiere el empleo de técnicas de microscopía en el caso concreto de microalgas y cianobacterias (De Melo et. al 2016). El uso de microalgas como son las diatomeas epilíticas, ofrecen una evaluación más detallada de la calidad de agua, estas si bien se toman en cuenta como un bioindicador del estado de salud ambiental del ecosistema lótico, permiten tener una visión holística de la salud ambiental de la cuenca.

Las diatomeas son organismos unicelulares con una amplia distribución en todos los ecosistemas acuáticos lóticos y lénticos, utilizados como una herramienta de monitorización de la calidad de agua, especialmente en los ríos debido a su grado de tolerancia a la contaminación. La metodología se basa en que todas las especies son sensibles a condiciones ambientales como: polución orgánica, nutrientes, pH, etc. La dominancia cuantitativa y la composición taxonómica de las especies son indicadores de características ambientales. Cuando están presentes en abundancia en los ecosistemas acuáticos, resultan ser un bioindicador de la contaminación orgánica y de la eutrofización del agua. Las diatomeas crecen en cortos períodos de tiempo, respondiendo así rápidamente a los cambios químicos, físicos o factores biológicos. Por lo tanto, el análisis de la composición de sus comunidades proporciona un método sencillo para detectar cambios en el entorno debido a causas naturales o antropogénicas (Urrea *et al* 2009, Wetzel, 2006). La ventaja de utilizarlas como bioindicadores, es que se encuentran adheridas a sustratos fijos y por tanto se las puede monitorear en cualquier época del año, para posteriormente clasificarlas taxonómicamente y correlacionarlas con el estado de contaminación de un cuerpo de agua.

El presente estudio contribuirá a establecer la calidad de agua de la cuenca del río Yanuncay, fundamentado en el análisis físico-químico y la caracterización de poblaciones de diatomeas epilíticas considerados como excelentes bioindicadores de la calidad de los ecosistemas acuáticos. Además de establecer el estado ecológico del río, mediante el índice de calidad de ribera (QBR) y del hábitat fluvial (IHF) y la hidromorfología del río. Los organismos presentes en el río constituyen un punto inicial para conocer de cerca la salud del agua. Los resultados de este estudio contribuirán a la creación del Índice Biológico de Calidad de Agua para el Ecuador. Estos son factores importantes para realizar un estudio que genere una información real de las aguas, en este caso para determinar el estado del recurso.

1.1 Objetivos

1.1.1 General.

Reconocer los grupos diatomeas epilíticas propios de la cuenca media-alta del río Yanuncay para correlacionarlos con la calidad del agua.

1.1.2 Específicos.

- Establecer el estado ecológico del río Yanuncay mediante: el índice de hábitat fluvial (IHF), calidad de ribera (QBR) y el índice hidromorfológico.
- Realizar una caracterización taxonómica de diatomeas.
- Evaluar la calidad físico-química del agua del río y comparar con la presencia de diatomeas.

CAPÍTULO II

1. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Red hidrográfica

2.1.1 Cuenca

Es un área geográfica, conformado por un drenaje natural, que corresponde a toda la superficie que alimenta el mismo curso de agua y drena todas sus aguas hacia una salida común. La cuenca hidrográfica está limitada por líneas divisorias de aguas superficiales e irrigadas por una misma red hidrográfica -río con todos sus afluentes- (Llerena, 2003).

Se distinguen tres sectores característicos: Alto, medio y bajo, que, a través de sus características topográficas pueden influir en procesos del uso de sus recursos y procesos hidrometeorológicos (Gálvez, 2011).

2.1.2 Subcuenca.

Es el terreno geográfico delimitado dentro de una cuenca, es decir, son todos los ríos secundarios cuya escorrentía superficial se filtra mediante una serie de corrientes de lagos y ríos que desembocan en un punto de un curso de agua (Ministerio para la Transición Ecológica, 2007)

2.1.3 Microcuenca.

Área de aguas superficiales o subterráneas, que alimentan a una red natural con uno o varios cauces naturales, que convergen a los ríos secundarios (Daza *et al.*, 2018).

2.2 Sistema lóxico

Son movimientos del agua que predominan en una orientación, siguiendo el curso que tenga el cuerpo, influenciado por factores físicos como: profundidad, caudal, pendiente, profundidad, entre otros (Toro, 2009).

Poseen dos zonas principales, rápidos y remansos. Los rápidos son las áreas donde el agua, es vertiginosa como para mantener el fondo libre de sedimentos, mientras que los remansos, son sitios más hondos de agua donde las corrientes son más lentas y se acumula sedimento (Reinbold, 2018).

2.3 Contaminación Hídrica

Se produce cuando en un cuerpo de agua aparecen sustancias externas, desechos industriales o químicos; cuya presencia altera las propiedades físicas, químicas o biológicas de la misma. Esta contaminación se debe al resultado de actividades antropogénicas o procesos naturales que conllevan a una degradación de la calidad del agua y perturbación el medio acuático (Segura, 2007).

El ciclo natural del agua tiene capacidad de saneamiento. Pero esta misma disposición de regeneración y su aparente abundancia hace que sea el vertedero habitual de residuos como desechos químicos, pesticidas, residuos radiactivos, metales pesados, etc. (Soto, 2012).

El impacto de la contaminación varía desde la presencia de sólidos disueltos o suspendidos, hasta descargas de contaminantes provenientes de actividades como la agricultura, ganadería, minera, industrial, textil, entre otros (Sardi, 2018).

2.4 Contaminación ganadera

En las regiones con escasez de recursos hídricos, la cantidad de agua utilizada para la producción ganadera sobrepasa la destinada a satisfacer las necesidades humanas. El deterioro directo e indirecto del agua aprovechable para distintos usos es considerado un problema importante, ya que el ganado contamina el agua con patógenos que constituyen un peligro para la salud humana (Matthews, 2016).

El aumento de la actividad ganadera cada vez es mayor, provocando contaminación en el suelo, emisión de gases, y la producción de volúmenes de desechos. La contaminación es dañina cuando grandes cantidades de animales se concentran en áreas sensibles alrededor de ciudades o cerca de fuentes hídricas, afectando la calidad del agua, suelo, aire y la biodiversidad. No obstante, la disposición final de los residuos sigue siendo un reto ambiental a considerar (Sagasta *et al.*, 2017).

2.5 Tipos de contaminantes

Existe una gran variedad de sustancias contaminantes que afectan al recurso hídrico, estas al ser liberadas directamente en el agua alteran el recurso. La contaminación puede darse debido a la presencia de:

- **Compuestos orgánicos:** Son sustancias cuya composición es el carbono, son originadas por los humanos y animales, desechos procedentes de los sectores industriales, domésticos y agrícolas. Este tipo de sustancias pueden permanecer durante un largo tiempo en el agua, debido a que sus estructuras son difíciles de degradar (Barceló y López de Alda, 2008).
- **Compuestos inorgánicos:** Entre las principales sustancias están los cloruros, sales, y óxidos. Además, están contenidos en: pesticidas, medicamentos humanos y veterinarios (nitratos y fosfatos) y metales tóxicos como el plomo, cadmio y mercurio. En cantidades altas puede causar daño a las especies acuáticas (Loaiza, 2009).
- **Agentes biológicos:** Son microorganismos patógenos, que causan efectos negativos para la salud, dependiendo del agente que lo causa. Tienen una alta tasa de coliformes fecales procedentes de excrementos humanos y de animales. Además las condiciones como la humedad, temperatura y la presencia de nutrientes, favorecen a la actividad de los mismos (Pineda, 2017).

2.6 Calidad del agua

El su estado natural el agua no se encuentra depurada, por lo que está sujeta a tener cierta cantidad de sustancias que proceden del viento, precipitación, acción erosiva y el contacto con la atmósfera. La calidad del agua, tiene relación con la actividad o uso que se consigna como por ejemplo, calidad para riego, beber, vida acuática, etc (Tejero *et al.*, 2007).

Es un elemento que influye directamente en el bienestar humano y la salud de los ecosistemas: de ella depende las actividades económicas, la biodiversidad, la calidad de los alimentos, etc. Además es un factor que interviene en la determinación de la pobreza o riqueza de una región.

Los parámetros de calidad comúnmente utilizados y más relevantes son: la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), medición de compuestos del nitrógeno, azufre, cloro, fósforo, medición de pH y coliformes totales (Snoeyink y Jenkins, 1990).

2.7 Bioindicadores de calidad del agua

Son indicadores de presencia de organismos pertenecientes a los reinos: animal, vegetal o fungi, pueden ser también protozoos, cromistas, bacterias o arqueas; cualifica y califica el estado del medio o eficacia de las medidas restauradoras. Permite indagar acerca de las características biológicas, fisicoquímicas y microclimáticas del medio (Schoemaker, 2017).

La evaluación de la calidad de agua mediante la mediación de variables fisicoquímicas es una buena herramienta, que analiza los efectos de la contaminación a corto plazo. Desde la época de los cincuenta se han empleado los métodos biológicos, en los que se han encontrado organismos indicadores, que son sensibles a numerosas sustancias contaminantes que establecen los efectos de los impactos en ecosistemas fluviales a través de un tiempo más prolongado (Castro, 2014).

Gracias a las características que poseen las algas fitobentónicas, macroinvertebrados y las diatomeas, hace que sean organismos aptos para establecer la calidad del agua (Saúl Blanco *et al.*, 2010). Las diatomeas están dentro del tipo de fitoplacton más común. Actualmente se consideran dentro de este grupo unas 20,000 especies vivas que son significativos productores dentro de la cadena alimenticia. Gran parte de las diatomeas son unicelulares, aunque algunas de ellas coexisten en forma de filamentos o cadenas celulares (González, 2011). También forman parte de los bentos o del perifiton.

2.8 Diatomeas como indicadores ecológicos

Los indicadores ecológicos son un grupo diversificado, cuya presencia y abundancia indica la condición ambiental de un sistema hídrico a largo y corto plazo (Moyón, 2013). Una especie indicadora debe poseer un rango ecológico estrecho, contestación rápida al cambio ambiental, taxonomía bien definida. En todos los sistemas ecológicos, la combinación de especies indicadoras es importante para el desarrollo de análisis multivariar, aplicación de índices y el uso de fitopigmentos como la determinación de marcadores (Bellinger y Sigee, 2010).

Poco tiempo atrás, la química del agua era apreciada como un elemento único en la definición de la calidad de los cuerpos de agua dulce. Las diatomeas y otros fósiles de agua dulce son importantes indicadores, debido a la perdurabilidad de sus

membranas (Margalef, R., 1983). Según la evidencia fósil las diatomeas se registran desde el período jurásico temprano y se cree que tuvieron origen mediante endosimbiosis secundaria, es decir una eucariota no fotosintética que adquirió un cloroplasto al fagocitar y mantener como endosimbionte una eucariota fotosintética, un alga roja. Pertenecen a la clase Bacillariophyceae; la característica principal que distingue a las diatomeas es su cubierta silíceo denominada frústulo, sus variaciones han sido usadas por los expertos como características diagnósticas para la determinación taxonómica y clasificación (Roa, 2009).

Las diatomeas están distribuidas en todo el planeta y en cualquier ecosistema hídrico, por lo que los índices diatomológicos tienen una aplicabilidad universal; en la actualidad, el usar estos organismos como indicadores biológicos es un método reciente y poco estudiado. Debido a su elevada sensibilidad reaccionan a los cambios producidos por la presencia de contaminantes y nutrientes, que reflejan las condiciones de los ecosistemas en las que se encuentra. Se reproducen con facilidad en respuesta a las condiciones del medio, la ventaja de usar este método, es que son fáciles de manipular, sus costos son bajos y existe una buena conservación de las muestras, obteniendo buenos resultados, debido a que son organismos intactos en el tiempo e inclusive se les puede recuperar en estado fósil (Saúl Blanco *et al.*, 2010).

2.9 Factores ambientales determinantes

Los determinantes ambientales están relacionados con la exposición a contaminantes provenientes, del agua así como de las características y condiciones del ambiente (Rivera *et al.*, 2014). Los elementos que influyen en las variaciones de las comunidades de diatomeas, son los valores de pH, nutrientes, la temperatura, concentraciones de soluto y los contaminantes orgánicos e inorgánicos (Gomà *et al.*, 2005).

Los cambios climáticos estacionales, han hecho que en épocas de estiaje las diatomeas evolucionen; siendo resistentes a sequias temporales, esto se debe a que poseen una estructura silíceo de sus valvas y la secreción mucilaginoso externa que conserva a la especie en el sedimento hasta una nueva temporada o para propagarla fuera del agua. No obstante, los organismos eucariotas acuáticos de plasma vacuolado, debido a la falta de agua presentan cambios en el pH y concentración de varios elementos, que pueden ser mortales (Moyón, 2013).

2.9.1 Caudal.

Volumen de agua que circula a través de una sección transversal del río, se representa en metros cúbicos por segundo m^3/s o litros por segundos (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2017).

La profundidad del agua, la composición de los sedimentos y la carga de sedimentos en suspensión, se ve afectada por los cambios en el caudal. Estos motivos afectan la variabilidad temporal como la estructura física del hábitat, lo que a su vez establece la composición biológica del sistema. El caudal se expresa en términos de duración, magnitud, época y la calidad del agua se expresa en términos de frecuencia, rango y permanencia de la concentración de parámetros que son aptos para mantener una buena salud del ecosistema. La profundidad del agua, estructura física del hábitat y la composición biológica que está determinada por la variabilidad temporal, se ven afectadas por los cambios de caudal (Calles, 2017).

2.9.2 Intensidad de luz.

Depende de la turbidez del agua, los rayos del sol penetran la superficie o en proporciones de acuerdo a la ubicación del sol. Es así que la luz determina la producción de la fotosíntesis y oxígeno, favoreciendo a la oxidación de la materia orgánica y el aumento del oxígeno disuelto, utilizado por los organismos que componen el ecosistema fluvial. Cabe mencionar, que las diatomeas se desarrollan en condiciones donde hay escasas de luz (Antezana *et al.*, 2006).

2.9.3 Temperatura.

Las masas de agua son calentadas cuando la energía solar llega a la superficie. La temperatura influye sobre la cantidad de oxígeno disuelto, que es significativo en la distribución, periodicidad y reproducción de organismos. (Chang, 2009). Además es un factor importante para la presencia de diatomeas, ya que controla el metabolismo, la fotosíntesis, las tasas de reacciones químicas y los procesos enzimáticos. No obstante, estos organismos se adaptan a cualquier temperatura desde zonas templadas hasta polares (Moyón, 2013).

2.9.4 Conductividad.

Es la capacidad del agua para transferir o conducir calor o electricidad, se expresa en Siemens por metro [S/m]. Esta variable determina la distribución y la clase de diatomeas que pueden utilizarse como indicadores ambientales (Ortiz, 1996).

2.9.5 pH (Potencial de Hidrógeno).

El pH del agua una propiedad química, muestra la reacción ácida y básica; es un factor importante para el desarrollo de las especies acuáticas. Comúnmente las aguas naturales son básicas con valor de pH entre 6,5-8,5. El pH tiene efecto en la velocidad del crecimiento de diatomeas, ya que induce los efectos en la disociación y solubilidad de distintas sustancias (Guamán & González, 2016).

2.9.6 Oxígeno Disuelto.

El oxígeno que entra en el recurso y el que se consume por los organismos vivos, se conoce como oxígeno disuelto. Las concentraciones de oxígeno disuelto dependen de las características fisicoquímicas de los organismos, dentro del cuerpo de agua. Este factor indica cuan contaminada está el agua, los niveles altos indican una mejor calidad, mientras que los niveles bajos pueden causar ausencia los organismos. La materia orgánica e inorgánica, interviene en el desarrollo de los ciclos naturales, aguas ricas en materia orgánica poseen más especies (Boyd, 2018).

2.9.7 Estado trófico de un cuerpo lótico.

El estado trófico de un río representa la relación entre el crecimiento de la materia orgánica y los nutrientes, se emplea para clasificar a un cuerpo lótico según la concentración de nutrientes y establece el grado de eutrofización. Altera la diversidad, abundancia y estructura ecológica, considerado un componente importante en la calidad del agua (Ongley, 1997).

Los cuerpos de agua se clasifican según el estado trófico:

- Oligotrófico: poca concentración de nutrientes, existe una baja productividad fitoplanctónica, aguas transparentes.
- Mesotrófico: intermedia concentración de nutrientes, moderada producción de fitoplancton.

- Eutrófico: aguas con elevada concentración de nutrientes, contaminadas, produce proliferación de fitoplancton (Rodríguez, 2012).

2.9.8 Análisis de datos.

Es el estudio que se encarga de examinar e interpretar datos luego de la recolección de información, con el objetivo de obtener conclusiones para la toma de decisiones. El análisis de datos puede ser: cuantitativo: información numérica; y cualitativo: base de datos en forma textual (Westreicher, 2020).

2.9.9 Índice diatomológico.

El índice diatomológico sirve para valorar el estado del río referente al indicador de calidad de organismos fitobentónicos. Diseñado para detectar y comprender los cambios que se producen en el recurso hídrico; es un índice en el cual combinan la diversidad de diatomeas. Se basa en la abundancia relativa de cada uno de los taxones, toma en cuenta sus niveles de sensibilidad y tolerancia a contaminantes (García *et al.*, 2017).

2.9.10 Análisis canónico.

Es una técnica basada en un análisis multivariante, que cuantifica e identifica las relaciones que pueden existir entre dos grupos de variables y su validez. De tal manera que interpreta los coeficientes de correlación entre las combinaciones pertenecientes a los grupos de variables (Fernández *et al.*, 1996).

2.10 Fundamentación Legal

Constitución de la República del Ecuador

Registro Oficial 449 de 20-oct-2008 Estado: Vigente. Capítulo Segundo. Sección Segunda. Ambiente Sano. Son de interés para el presente estudio los Art 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Sección sexta Agua Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas

de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

Tratado Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (T.U.L.S.M.A)

Decreto Ejecutivo 3516- Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-mar-2003. Libro VI. Anexo I. Las normas generales de criterios de calidad para el uso de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas y estuarios.

La norma tendrá en cuenta los siguientes usos del agua:

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

Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, se emplea en actividades destinadas a:

- Mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones.
- 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.

Ley de prevención y control de la contaminación ambiental

Capítulo II. De la prevención y control de la contaminación de las aguas. En el Registro Oficial de Normas técnicas ambientales para la prevención y control de la contaminación ambiental para los sectores de infraestructura: Eléctrico, Telecomunicaciones Y Transporte (Puertos y Aeropuertos) se establece que se debe analizar los caudales ecológicos. Dentro de esta, se encuentra la Norma para la prevención y control de la contaminación ambiental del recurso agua en centrales hidroeléctricas.

En relación a la Normas para la determinación del caudal ecológico y el régimen de caudales ecológicos en los sectores hidrográficos respectivos, la calidad del agua se determina mediante las características físico-químicas, características biológicas y microbiológicas del agua: plancton, clorofila A, organismos bentónicos, ictiofauna, hábitat acuático, coliformes fecales.

Reglamento al código orgánico del ambiente

Decreto Ejecutivo 752- Registro Oficial Suplemento 507 de 12-jun.-2019. Capítulo Segundo. Sección Tercera (a). Señala en el Art. 141.- Áreas de protección hídrica.- La Autoridad Única del Agua establecerá y delimitará las áreas de protección hídrica. La Autoridad Ambiental Nacional las integrará al Sistema Nacional de Áreas Protegidas, mediante declaratoria; y determinará la categoría de manejo y el subsistema que les corresponda.

Sección Séptima (a). Art. 806.- Mejora de indicadores ambientales.- Los Gobiernos Autónomos Descentralizados podrán acceder a financiamiento del Fondo Nacional para la Gestión Ambiental, por la mejora de los indicadores ambientales en sus respectivas jurisdicciones, en el marco del Plan Nacional de Inversiones Ambientales, conforme los siguientes criterios generales: a) Incremento, conservación y restauración de zonas verdes urbanas y vegetación nativa; b) Incremento de superficie bajo conservación y restauración de ecosistemas; c) Mejoría de la calidad del aire, agua y suelo.

Capítulo Tercero. Sección Primera (a). Art. 23.- Enfoques temáticos de la educación ambiental.- Los enfoques temáticos sobre los cuales se desarrollarán las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de educación ambiental, se relacionarán al menos con: los sectores estratégicos de biodiversidad y recursos genéticos, calidad ambiental, patrimonio natural, conservación, la gestión y conservación del recurso hídrico y gestión de recursos marino costeros y cambio climático; sin perjuicio de que puedan establecerse otros.

CAPÍTULO III

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área

La cuenca del río Yanuncay, se origina al sur del Parque Nacional El Cajas, ubicada en el cantón Cuenca provincia del Azuay. Limita al norte con la cuenca del río Cañar, al sur con la cuenca del río Jubones, al este con la cuenca del Santiago y al sur con la cuenca del Jubones (Figura 1). Tiene un gradiente altitudinal entre los 4270 ms.n.m y los 2480 ms.n.m. Las temperaturas promedio están entre los rangos de 9°C y 14°C; con variables de 12°C a 20°C; las lluvias están presentes durante todo el año con una precipitación media de 739 mm anuales.

La forma de la cuenca es ovalada alargada irregular, posee un área de 418,89 km y un perímetro de 150,07 km. En cuanto al uso del suelo, en la parte alta de la cuenca predomina la vegetación herbácea (pajonal), árboles y arbustos como aliso, eucalipto, pumamaqui y pino. En la mayor parte de la cuenca ya no existe presencia de bosque nativo, ha sido reemplazado por laderas cubiertas de pastos; superficies de chaparros comúnmente con zonas incendiadas para el aumento de zonas para el pastoreo, el área de pasto cubre el 29,78% de la cuenca. Existe pérdida de la biodiversidad endémica, con lo que pone en riesgo el abastecimiento de agua para las poblaciones de la cuenca baja. (Vallejo, 2014). Parte de la cuenca media y baja está expuesta a actividades principalmente como la agricultura y ganadería, no obstante debido al flujo migratorio ha permitido que los poblados dispersos busquen alternativas para la economía aprovechando el potencial turístico de la zona en torno a la cuenca del río Yanuncay con actividades como la gastronomía, piscicultura y comercio (Tipán, 2018).

El estudio se realizó en la cuenca medio-baja del río Yanuncay, en la parroquia de San Joaquín, desde el sector Soldados hasta Barabón. Se evidencia áreas en conflicto de uso debido a las actividades que amenazan la zona como la pérdida de vegetación ribereña, intervención progresiva del páramo y bosque nativo por la ganadería, residuos pecuarios y suelos compactados (ETAPA EP, 2008).

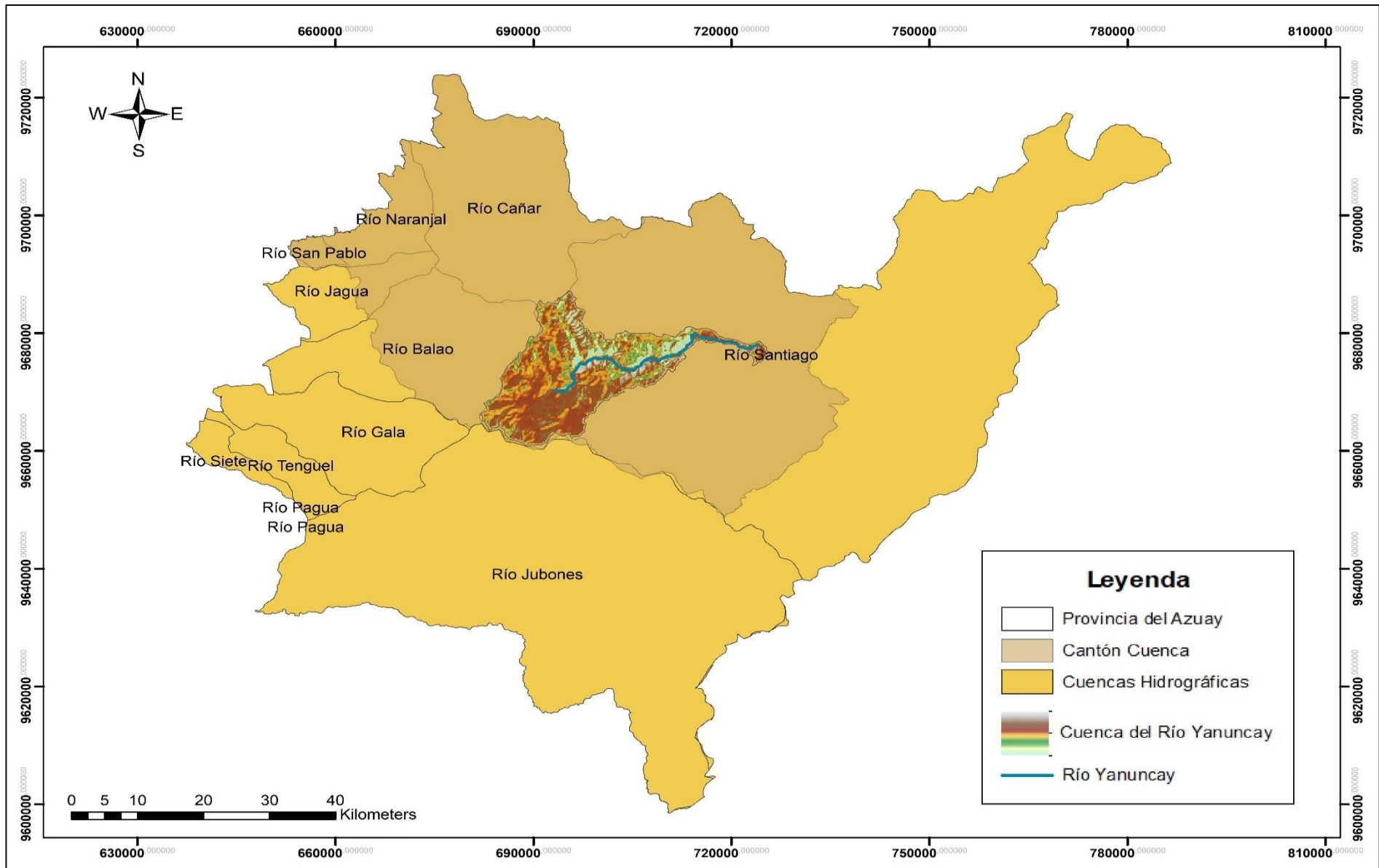


Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del río Yanuncay.

3.2 Periodo de muestreo

ETAPA EP maneja una red de monitoreo hidrometeorológico, en la Figura 2, se observan los datos de precipitaciones durante cinco años; en donde la época lluviosa comprende entre los meses de enero a mayo, y la época seca de mayo-junio hasta diciembre.

Para este estudio se realizaron tres períodos de muestreo en temporada seca; no obstante, debido a los cambios climáticos existentes, hubo presencia de precipitaciones. El primer muestreo se realizó el 15 de julio, el segundo el 13 de agosto y el tercero el 23 de septiembre del 2020.

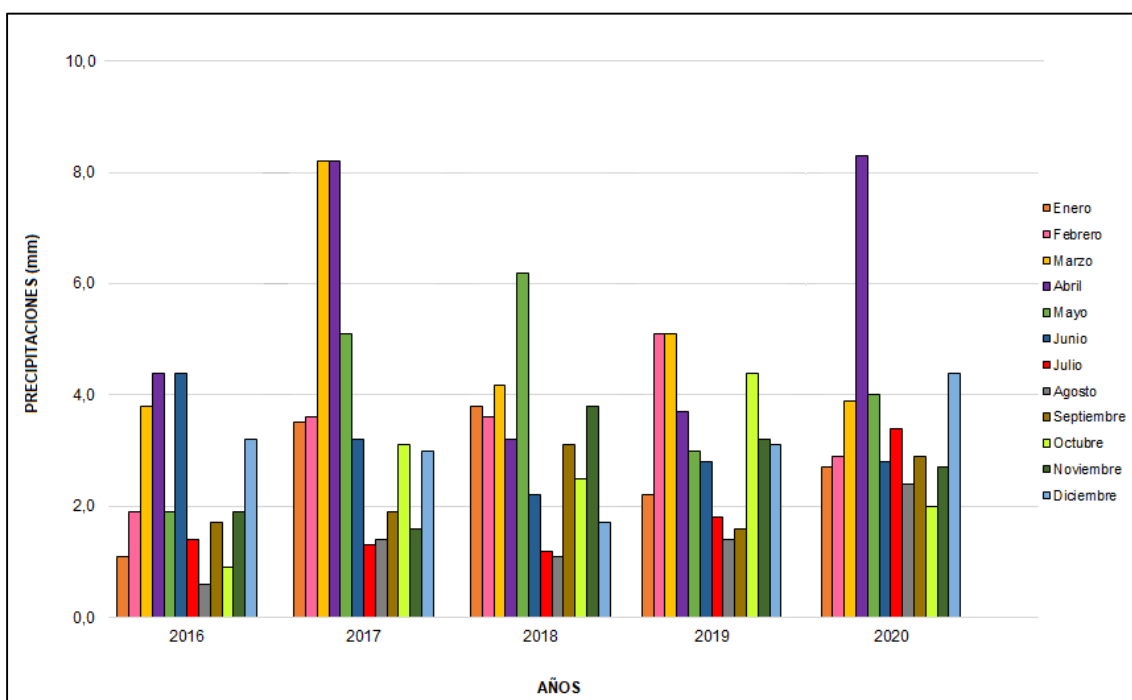


Figura 2. Datos anuales de precipitaciones.

Fuente: (ETAPA EP, 2020)

3.3 Población y muestra

La población de estudio son todas las posibles diatomeas epilíticas en cuanto riqueza y abundancia dentro de la cuenca media- baja del río Yanuncay durante el estudio y la muestra son el segmento de la población obtenido en cada punto de muestreo y durante cada período mensual.

3.4 Métodos de muestreo

El estudio fue de carácter cualitativo-cuantitativo, ya que con la presencia o ausencia de diatomeas epilíticas se prevé la abundancia y riqueza de géneros de diatomeas relacionados a la calidad de agua de la zona de estudio.

Se utilizaron metodologías: bibliográficas, de campo y de laboratorio.

En el trabajo de campo, se determinó el estado ecológico del sistema lótico, el cual se lo realizó *in situ*, mediante la colecta de diatomeas epilíticas, siguiendo el “Protocolo oficial del procedimiento para el tratamiento de las diatomeas epilíticas de muestras”, adaptado de Kelly *et al.* (Kelly, 2001; Lobo *et al.*, 2016).

Además se determinó el estado de ribera (QBR) y el estado del Hábitat Fluvial (IHF) del protocolo de calidad del hábitat que tiene por objetivo evaluar las características abióticas y bióticas más importantes presentes en el cauce del río que pueden estar influenciado en la presencia de las diatomeas epilíticas por el tipo de sustrato mineral del cauce de manera natural de acuerdo a los parámetros establecidos por Pardo *et al.*, 2002 para la Península Ibérica, y del Protocolo CERA para ríos altoandinos (Acosta *et al.*, 2009) y Protocolo de evaluación de la integridad ecológica de los ríos de la región austral del Ecuador (Acosta *et al.* 2014).

Los parámetros físicos químicos, se establecieron con el aporte tecnológico de un equipo especializado (multiparamétrico). Finalmente, se estableció el estado de calidad hidromorfológica mediante: coordenadas geográficas, altitud y caudales de acuerdo al ancho, profundidad y velocidad de la corriente del río de acuerdo al Protocolo de Evaluación de la Integridad Ecológica de Los Ríos de la Región Austral del Ecuador (Acosta *et al.*, 2014).

Mientras tanto, en el trabajo de laboratorio se realizó la oxidación de las muestras y la identificación taxonómica para ello se tomó como referencias:(Asociación Española de Normalización y Certificación, 2014; Blanco, 2010; Battarbee,1986; Bicudo y Menezes, 2006; European Committe for Standartization, 2003; Lobo *et al.*, 2014;).

3.4.1 Trabajo de campo.

3.4.1.1 Selección de puntos de muestreo

Se consideraron tramos del río con corriente a lo largo de 10 m, en donde existió disponibilidad de sustratos; en este caso fueron naturales como las rocas y cantos rodados (AENOR, 2014).

Para las estaciones de muestreo, se seleccionó a lo largo del cauce 5 puntos de muestreo (Tabla 1), los que fueron georreferenciados según el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) (Datum WGS 84, Zona 17 Sur) (Figura 3).

Tabla 1. Descripción de las estaciones de muestreo en el río Yanuncay.

Zona	Puntos de Monitoreo	Coordenadas		Altitud (ms.n.m)
		Posición	UTM	
Cuenca Media	1	17M 0696259	9673560	3304
Cuenca Media	2	17M 0698578	9675370	3236
Cuenca Media	3	17M 0700959	9675800	3101
Cuenca Baja	4	17M 0703385	9674062	3008
Cuenca Baja	5	17M 0706645	9675142	2943

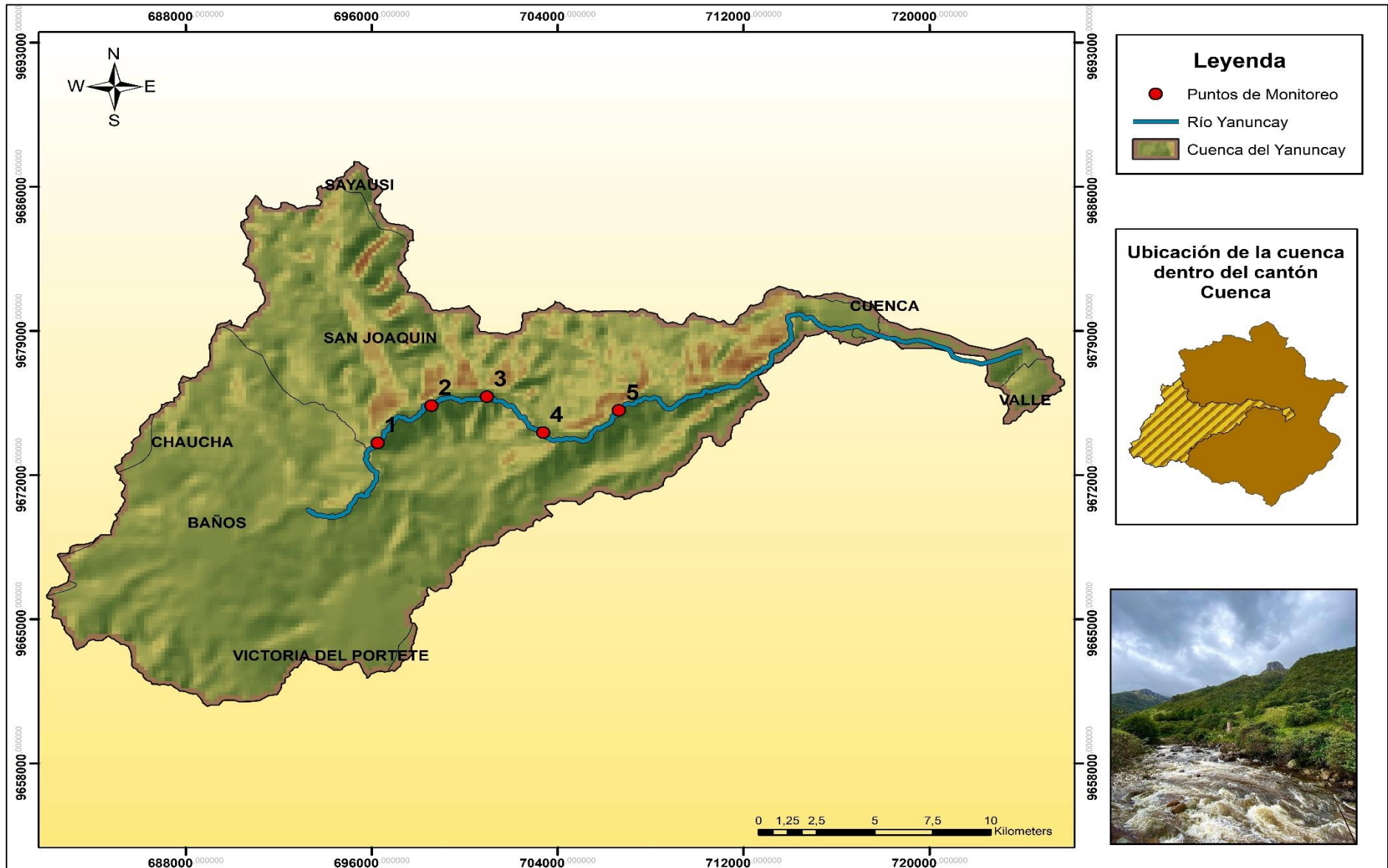


Figura 3. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo

3.4.1.2 Calidad de hábitat fluvial.

El índice de hábitat fluvial (IHF), evalúa las zonas riparias, en ellas existe interacción entre los ecosistemas terrestres y acuáticos. Valora las características físicas del cauce relacionados con la heterogeneidad de hábitats, en donde influye la hidrología y la superficie (Smith & Smith, 2000).

El IHF se compone de siete apartados detallados en el Anexo 1, en donde se evaluó parámetros como: el grado de inclusión y limitaciones de substrato, composición del substrato, sombra del cauce, regímenes de velocidad/profundidad, frecuencia de rápidos, regímenes de velocidad/profundidad, cobertura de vegetación acuática y los elementos de heterogeneidad. Para la puntuación final se consideró la suma de cada apartado, cuyo resultado comprende rangos que van desde óptima a mala calidad (Tabla 2) (Acosta *et al.*, 2014).

Tabla 2. Rangos de calidad del IHF

Interpretación	Puntuación	Color
Óptima	70-100	Blue
Regular	40-70	Yellow
Mala	0-40	Red

Interpretación autor, basado en: (Pardo *et al.*, 2002)

3.4.1.3 Protocolo de calidad de la vegetación de ribera.

El índice de calidad de vegetación riparia (QBR), tiene como objetivo evaluar la riqueza y diversidad vegetal de la ribera, que inciden sobre la calidad ambiental del ecosistema acuático (Munné *et al.*, 2003).

Debido al gradiente altitudinal, el protocolo del QBR cuenta con dos formatos, para comunidades de bosques de ribera y páramos. Es por ello, que es importante identificar las especies de árboles y arbustos en la zona de estudio. El QBR para comunidades de bosques de ribera está integrado de cuatro apartados detallados en el Anexo 2, parámetros como: la estructura de la cobertura, la calidad de la cobertura, el grado de cobertura de la ribera y el grado de naturalidad del canal fluvial. Mientras tanto el QBR para riberas vegetales de páramo cuenta con tres apartados detallados en el Anexo 3, en donde no se consideró el apartado de estructura de la ribera, debido a que la vegetación es menos compleja con presencia de vegetación pajonal de herbáceas y arbustos bajos. No obstante, si se consideró la calidad de la cubierta, el grado de

cubierta y el grado de naturalidad del canal fluvial (Acosta *et al.*, 2014).

El cálculo del índice se basó en la suma total de cada apartado, en los cuales el valor por cada uno fue de máximo 25 con una valoración final de 100 puntos, en la Tabla 3, se puede observar los rangos que se consideró para determinar la calidad de la ribera. En el caso de los ecosistemas para páramos el puntaje final es de 75 puntos que al multiplicarse por 1,33 se puede comparar con el QBR.

Tabla 3. Nivel de calidad de QBR.

Nivel de calidad	Puntuación	Color
Vegetación de ribera sin alteraciones. Calidad muy buena. Estado natural	≥ 96	Blue
Vegetación ligeramente perturbado. Calidad buena	76-95	Green
Inicio de alteración importante. Calidad intermedia	51-75	Yellow
Alteración fuerte. Mala calidad	26-50	Orange
Degradación extrema. Calidad pésima	≤ 25	Red

Fuente: (Acosta *et al.*, 2009)

3.4.1.4 Calidad hidromorfológica.

Los organismos presentes en el afluente, se distribuyen particularmente de acuerdo al caudal existente. El caudal es la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal del cauce en un tiempo determinado. Este se calcula a partir de la velocidad del flujo al caudal y el área de la columna de agua (Fattorelli & Fernández, 2011).

Los datos de caudales se obtienen de estaciones de aforo, estas dependen de la precisión con que se establezca el área de la sección transversal del cauce y la determinación de la velocidad del agua. Para determinar el caudal en curso en un momento concreto se utilizó el aforo directo mediante el molinete, que se basa en la velocidad del agua. El molinete es un elemento mecánico giratorio con una hélice sumergida que se orienta en la dirección del flujo, con una velocidad angular que está marcada de la velocidad lineal del agua en ese punto de medición (Ruiz y Martínez, 2015).

Para el registro de caudales se tomó un solo dato mensual; en donde para el aforo con el molinete, se dividió la sección transversal del cauce en subsecciones de acuerdo al ancho total de corriente (Figura 4). Para el área de estudio en concreto se consideró subsecciones de cada 50 cm, ya que el río estudiado se encuentra dentro del rango superior a 3 metros de ancho; las subsecciones están determinadas por el ancho del cauce, la velocidad del agua y por las líneas de agua, las cuales se determinaron midiéndose en varios puntos con el molinete (Acosta *et al.*, 2014).

Inicialmente, se calculó el promedio de las velocidades (V) de cada franja. Para el cálculo del área (a), se utilizó los valores del ancho considerado por la altura de la lámina de agua. Posteriormente, se estimó los caudales parciales, mediante la ecuación de continuidad:

$$q_i = V * a \quad (1)$$

En donde:

q_i = caudal que pasa por la subsección (m^3/s)

V = velocidad de cada subsección (m/s)

a = área de la subsección (m^2)

Finalmente, el caudal total se calculó mediante la sumatoria de los caudales parciales (Mejía & Rosas, 2016).



Figura 4. Medición de caudales con el molinete

3.4.1.5 Calidad físicoquímica del agua.

El desarrollo de los organismos acuáticos tiene relación con las condiciones

fisicoquímicas del agua del río. Usualmente, para obtener una caracterización fisicoquímica el muestreo es cuantitativo, en donde se analizan parámetros como: temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad, demanda biológica de oxígeno, nitratos, fósforo total y coliformes fecales. No obstante, los organismos son más sensibles a: la conductividad, pH, oxígeno disuelto y temperatura; es por ello que estos parámetros fueron tomados *in situ* con un equipo portátil multiparamétrico (Figura 5) (Torres *et al.*, 2006).

El protocolo comprende cuatro variables:

- Selección de la zona de muestreo.
- Medidas de parámetros *in situ* con el multiparamétrico.
- Medidas de parámetros en laboratorio.- (Demanda bioquímica de oxígeno DBO, nitratos, fósforo total y coliformes fecales), toma de muestras y traslado. Para lo cual se emplearon recipientes herméticos previamente esterilizados, los tipos de recipiente depende de la variable a analizarse; cabe mencionar que los recipientes se homogenizaron con el agua del río y se taparon bajo del agua para impedir que se formen burbujas, de modo que queden completamente llenos.
- Conservación de muestras.- Tiene el fin evitar la inestabilidad de los componentes del agua analizada y retrasar los cambios biológicos y químicos que se producen después de ser tomada la muestra (Acosta *et al.*, 2014).



Figura 5. Toma de parámetros físico-químicos.

3.4.1.6 Recolección de diatomeas.

En cada punto se seleccionó como mínimo cinco rocas con aspecto pardusco de alrededor de 10 a 20 cm de diámetro, sumergidas a una profundidad de 10 y 30 cm. Para recolectar las diatomeas, se utilizó un cepillo de cerdas suaves, se raspó 20 cm² de

la superficie de las rocas, y se lavó con agua destilada (Figura 6). Luego se pasó las muestras de la bandeja a un frasco de vidrio de 250 ml previamente etiquetados y sellados con papel aluminio. Finalmente se preservaron con transeau (600 ml de agua destilada +300 ml de etanol y 100 ml de etanol al 40%) en una proporción de 1:1, hasta el proceso en el laboratorio (Bicudo y Menezes, 2006).



Figura 6. Proceso de recolección diatomeas.

3.4.2 Trabajo de laboratorio.

3.4.2.1 Parámetros Físicoquímicos.

-Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

En un periodo de incubación de 5 días es medido el oxígeno molecular para la degradación de materia orgánica por parte de los microorganismos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2013).

Para determinar este parámetro se utilizó el método respirométrico, el cual se obtiene datos sobre el agotamiento de oxígeno en respuesta al metabolismo de un sustrato por la respiración de los microorganismos. Este método consiste en llenar una botella hermética con muestra diluida y sembrada e incubarla a una temperatura de 20°C. En el agua se puede observar un lento agotamiento del oxígeno disuelto durante el período de incubación. El DBO₅ se mide al inicio y final de la incubación, y se calcula con la diferencia de estos dos (Eaton *et al.*, 1998).

-Nitratos

Estos pueden estar en el afluente por el uso de fertilizantes. Para este análisis se empleó la técnica de espectrofotometría, la cual está vinculada con el almacenamiento en forma de energía interna y la capacidad de las moléculas de absorber energía luminosa (Baird y Cann, 2014).

Esta técnica sigue la ley de Beer-Lambert, permite determinar la interferencia debida a la materia orgánica disuelta (Simal *et al.*, 1985) . Para el análisis se empleó bolsas de polvo reactivo de nitrato Nitraver 5 a la muestra, se mezcló y se midió la absorbancia a 220 y 275 nm.

-Fósforo

La fuente la constituyen los vertidos que contienen detergentes. Al igual que los nitratos sigue la misma técnica, se empleó bolsas de polvo reactivo de fosfato PhosVer3.

-Coliformes Fecales

Es un indicador de contaminación fecal. Constituido por bacterias Gram-negativas como la *Escherichia coli*. El cálculo de organismos coliformes, se realizó mediante la utilización de medios de cultivo líquidos, a partir de tubos positivos de la prueba presuntiva, con un periodo de incubación de 24 a 48 horas a $44,5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$. Finalmente, se empleó Lauril sulfato de sodio para inhibir el desarrollo de la flora, la siembra se realizó por agotamiento en medios selectivos y diferenciales realizando las pruebas a las colonias típica (Kornacki y Johnson, 2001).

3.4.2.2 Limpieza de diatomeas.

Se realizó la oxidación de las muestras, para ello se siguió los siguientes procedimientos:

1. Se homogenizó las muestras recolectadas, y se colocó aproximadamente 40 ml de las muestras en tubos de ensayo (A) de preferencia de boca ancha.
2. Se dejó reposar 24 horas, para que las muestras sedimenten, y poder retirar el sobrenadante con una pipeta.
3. Se colocó peróxido de hidrógeno concentrado al (35%) para obtener la suspensión de frústulos y valvas, se calentó sobre una placa calefactora a baño de arena a una temperatura de 150°C (B), hasta que todo el material orgánico

se haya oxidado, es decir que no presente cloroplastos (AENOR, 2014).

4. Fuera de la placa calefactora, en una campana extractora de gases (C), se agregó ácido clorhídrico concentrado al (37%) hasta cubrir la muestra y se dejó reposar durante 12 horas.

5. Se agregó 0,5 gramos de dicromato de potasio (D) (Figura 7), porque las muestras aun presentaban materia orgánica (aspecto oscuro).

NOTA: Luego de cada proceso realizado se retiró el sobrenadante y se realizó de 2 a 3 lavadas con agua destilada para evitar que los reactivos se mezclen.

6. Se midió el pH de las muestras, cuya marcación ideal es cerca de neutro.

7. Finalmente, se homogenizo las muestras y se transfirió a frascos esterilizados de pequeña capacidad, y se agregó preservante (transeau) en proporción de 1:1, para evitar el crecimiento de hongos (Comité Europeo de Normalización, 2003).

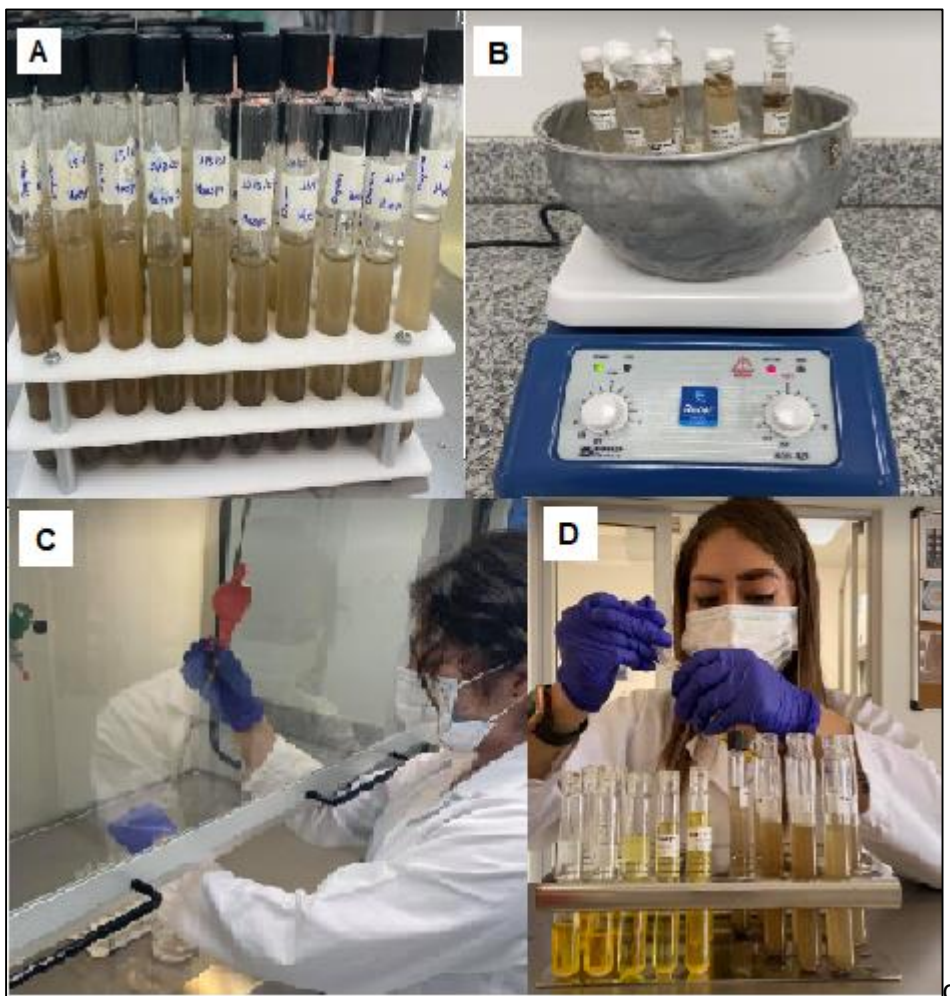


Figura 7. Procedimiento de limpieza de diatomeas.

3.4.2.3 Preparación de placas para observación microscópica.

Una vez realizada la limpieza, se concentró las muestras, se homogenizó y se tomó una alícuota de 5 ml de cada una de ellas y se aforo en un tubo de ensayo de 15 ml con agua destilada. Se colocó con una pipeta pasteur una gota de la muestras en los cubreobjetos circulares y se dejó evaporar el líquido a temperatura ambiente (A). Posteriormente, con ayuda de unas pinzas se colocó los cubreobjetos en los portaobjetos con la cara que contiene las diatomeas y se puso una gota de Naphrax (resina sintética, medio de montaje de las diatomeas) y se colocó las muestras en la placa calefactora a una temperatura de 200°C. Se presionó ligeramente con las pinzas los cubreobjetos para evitar la formación de burbujas de aire (B). Para la observación microscópica, las placas fueron debidamente etiquetadas (Lobo, 2016) (Figura 8).

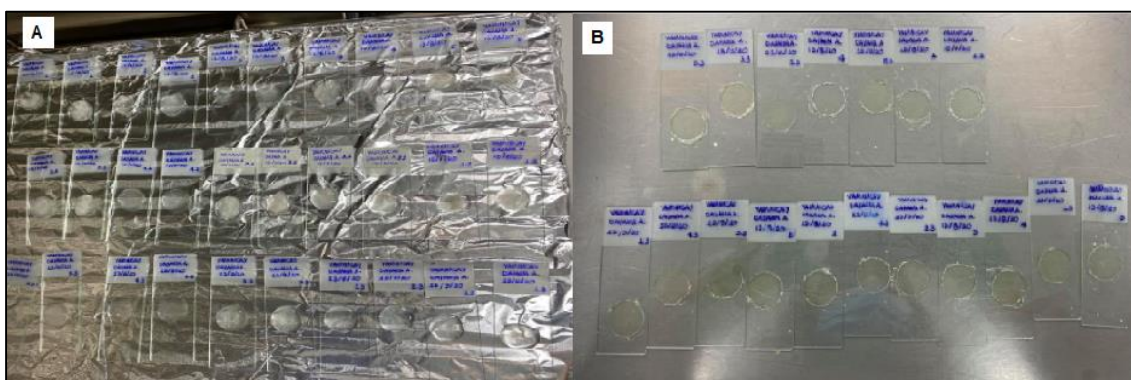


Figura 8. Procedimiento de la lámina permanente.

3.4.2.4 Identificación y recuento de diatomeas.

La observación de la muestra se realizó en un microscopio óptico Nikon Elipse E200 (A), en donde se utilizó el lente de (100x) con una gota de aceite de inmersión. Para el conteo se realizó un barrido aleatorio iniciando por la parte superior del cubreobjetos en sentido vertical y horizontal. La concentración ideal por campo es de 20 valvas (B), y 400 valvas por muestra como mínimo para la aplicación de índices de diatomeas (Confederación Hidrografía del Ebro, 2005).

Para la identificación de las especies se requirió de referencias taxonómicas como "A guide to the morphology of the diatom frustule" (Barber y Haworth, 1987); "Catálogo y claves de identificación de organismos fitobentónicos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico" (Saúl. Blanco y Alvarez, 2012); "Guía iconográfica para la implementación del índice biológico de diatomeas" (Coste y Rosebery, 2011), y de apoyo de una persona especializada con el tema (Figura 9).

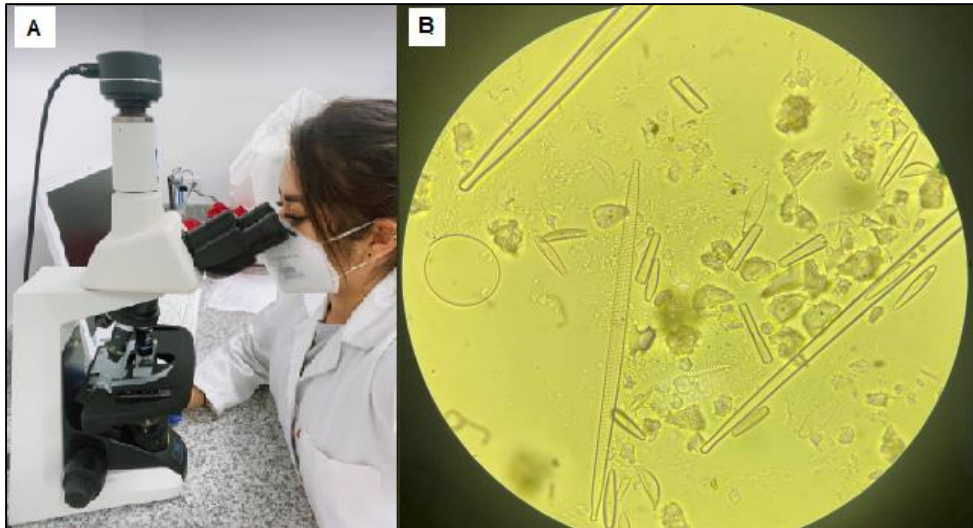


Figura 9. Recuento de diatomeas.

3.4.2.5 Índice de Shannon y Wiener (H').

Es un índice de diversidad alfa, que muestra la uniformidad de los valores de importancia, mediante todas las especies de la muestra, reflejando la heterogeneidad de una comunidad en base a su abundancia relativa y al número de especies (Mendoza, 2013). Se calcula de la siguiente manera:

$$H' = - \sum p_i * \ln(p_i) \quad (2)$$

Donde:

p_i = abundancia relativa de la especie i . Se obtiene dividiendo n_i/N .

n_i = número de individuos por especie.

N = número total de individuos en la muestra.

$\ln(p_i)$ = logaritmo natural de la abundancia relativa.

El análisis de este índice en diatomeas, es un buen indicador del impacto que ejerce el ambiente sobre ellas. Este índice se basa en que la diversidad de especies disminuye acorde aumenta la contaminación, no obstante, los valores de diversidad suelen ser altos debido a la disponibilidad de nutrientes cuando el grado de contaminación no indica riesgos para los organismos en un ambiente con un alto grado de eutrofización (Calizaya *et al.*, 2013).

En la tabla 4, se muestra la interpretación según (Magurran, 1988), en donde clasifica la diversidad con valores que varían entre 0,1 y 4,5; considerando 4,5 como el valor

máximo para una alta diversidad.

Tabla 4. Interpretación del índice de Shannon.

Valores	Interpretación
0,1-1,5	Diversidad baja
1,6-3	Diversidad media
3,1-4,5	Diversidad alta

Fuente: (Magurran, 1988)

3.4.2.6 Índice Diatomológico.

Para el cálculo se empleó el software OMNIDIA, una base de datos compatible con todos los sistemas de procesamiento de texto y hojas de cálculo; desarrollado con diatomeas en gran medida de ribera, para la valoración del estado de calidad del agua. Ayuda a ejecutar los registros de muestras de agua, calcular índices de diatomeas en el que incluye familias, géneros y especies. Utilizando una ponderación de 1 a 5 (OMNIDIA, 2017).

El programa OMNIDIA, arroja valore de IPS (Índice de Polusensibilidad Específica), el cual calcula las medias ponderadas de los valores de sensibilidad a la contaminación (S) y tolerancia a la contaminación (V). Los valores de (S) comprenden un rango de 1 a 5; 1 para baja sensibilidad (mala calidad) y 5 alta sensibilidad (buena calidad). Mientras tanto para los valores de tolerancia oscilan entre 1 a 3, siendo 1 alta amplitud ecológica y 3 baja amplitud.

Se tomó el IPS como índice de referencia, como señalan en diferentes estudios en la Península Ibérica (Almeida, 2001; Penalta-Rodríguez y López-Rodríguez, 2007; Góma, 2004). Se calculó sobre las medias ponderadas de los valores de sensibilidad (S), valores de tolerancia (V) y la abundancia relativa (A) de cada especie. Para obtener el valor del índice se aplica la siguiente fórmula:

$$IPS = 4,75 * \frac{\sum A * S * V}{\sum A * V} - 3,75 \quad (3)$$

En la Tabla 5, se muestran los valores del índice que determinan la calidad del agua, el cual está formado por cinco rangos que van desde 1 hasta 20.

Tabla 5. Valores de calidad del IPS.

Valor	Calidad de agua	Color
17-20	Muy buena	Blue
13-16,9	Buena	Green
9-12,9	Moderada	Yellow
5-8,9	Deficiente	Orange
1-4,9	Mala	Red

Fuente:(Cemagref, 1982)

3.4.2.7 Análisis de Correspondencia canónica CCA.

Es una técnica estadística multivariante, que permite relacionar las variables que existen en el entorno con la abundancia de especies. Se emplea datos métricos como no métricos para variables dependientes e independientes; cuyo objetivo es ponderar la eficacia de la relación entre las variables (Castillo *et al.*, 2007).

La existencia de programas ha facilitado a la obtención del análisis de correspondencia canónica; es así como software Past (Paleontological Statistics) agrupa, analiza, manipula, gráfica, realiza trazados, estadísticas univariadas y multivariadas, de datos (Reyes, 2014).

3.4.2.8 Análisis de Clúster AC.

Clasifica a las especies formando grupos de homogeneidad de acuerdo a un conjunto de variables, los datos se agrupan por similitud entre los elementos que componen el mismo o por divergencia, de esta manera clasifica en los grupos o clúster correspondientes (Castro *et al.*, 2012).

A través de este análisis se obtienen clasificaciones (clústers) que se basan en el criterio o distancia, es una técnica ideal para separar la información de un conjunto de datos sin restricciones en forma de modelos estadísticos; siendo un análisis de carácter explorativo (Santana, 1991).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1 Análisis del índice de hábitat fluvial.

Los valores del IHF para el río evaluado y en cada punto de muestreo se observan en la Tabla 6, donde se obtuvieron puntuaciones que oscilan entre 40 y 61 unidades, siendo el punto 3 el de mayor valor. Reflejando un nivel de calidad de hábitat fluvial “regular”, el cual indica limitaciones de calidad para el desarrollo de las diatomeas.

Tabla 6. Evaluación de la calidad del hábitat fluvial.

Parámetro del hábitat fluvial (IHF)	P1	P2	P3	P4	P5
<i>Inclusión y limitación de sustrato</i>	5	5	5	5	5
<i>Frecuencia de rápidos</i>	10	8	10	8	8
<i>Composición del sustrato</i>	14	12	14	12	9
<i>Regímenes de velocidad/profundidad</i>	6	6	8	6	8
<i>Sombra del cauce</i>	3	5	5	5	5
<i>Elementos heterogeneidad</i>	2	4	4	2	6
<i>Cobertura de vegetación acuática</i>	0	15	15	15	15
Total	40	55	61	53	56
Interpretación: ■ Óptima (70-100) ■ Regular (40-70) ■ Mala (0-40)					

En la Figura 10, se muestra que el apartado de cobertura de vegetación acuática influye de manera importante en la variabilidad del índice a excepción del P1 donde existió ausencia. Se encontró presencia de pecton <10% adheridas a las piedras como las diatomeas; y fanerógamas acuáticas <10% como *Zannichellia*. Debido a la ubicación geográfica de la zona de estudio, se observó que los puntos de muestreo presentan grandes claros, de forma natural o por impacto antrópico en ciertos casos; no obstante, en aguas arribas P1 está totalmente expuesto debido al ecosistema de páramo; por lo que la radiación solar incide en el cauce contribuyendo a la presencia de diatomeas. Teniendo en cuenta que: la inclusión, limitación y composición del sustrato favorecen e el desarrollo de los microorganismos, en el P1 y P3 se encontró mayor presencia de cantos y grava poco fijados, bloque y piedras >2%; arena, arcilla y limo ≤ 2%; además se observó en el P1 diques naturales que aumentan los elementos de heterogeneidad del cauce. Debido a la época de estiaje, la disminución del caudal presentó escasas de

frecuencia de rápidos, teniendo regímenes de velocidad de lento- profundo, lento-somero a diferencia del P3 y P5 en donde se observó la categoría de rápido-profundo, debido a una pendiente leve en el río.

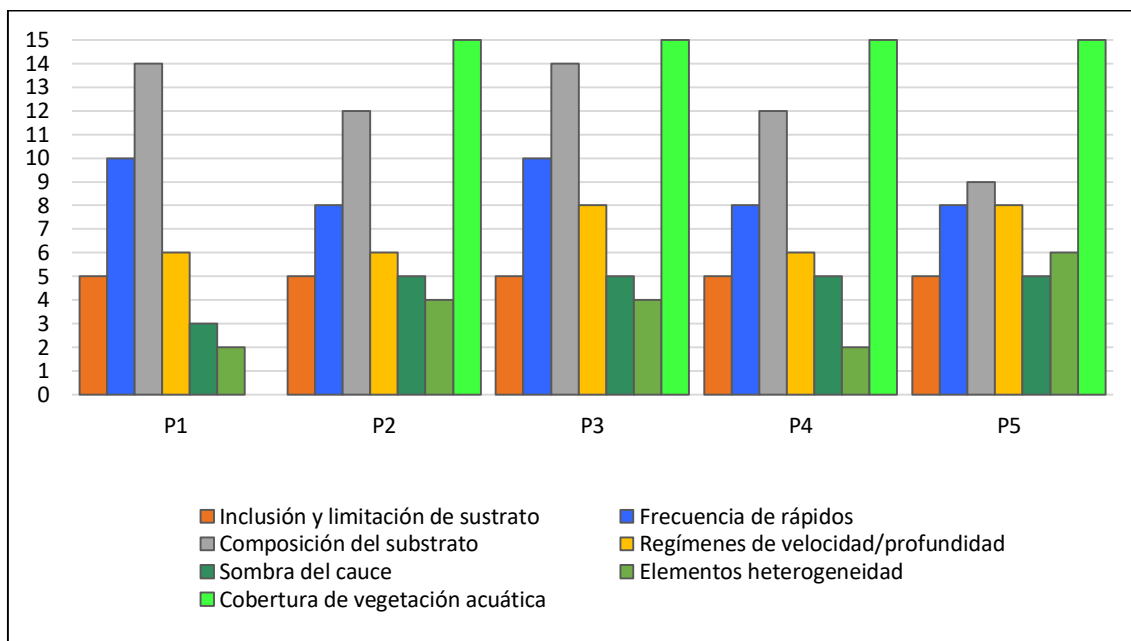


Figura 10. Variación del IHF en los diferentes puntos de muestreo.

4.1.2 Análisis de la calidad de vegetación de ribera.

En el P1 se aplicó los parámetros de vegetación de ribera para páramos, cuyos valores se observan en la Tabla 7, con una puntuación de 48 considerándose una alteración fuerte “mala calidad”. Mientras tanto, los valores de ecosistemas de bosques de ribera (Tabla 8), presentaron rangos entre 43 y 68. La evaluación del P2 y P4 tienen un inicio de alteración importante “calidad intermedia”, debido al impacto del pastoreo; en el P3 y P5 se determinó una alteración fuerte “mala calidad”, ya que en esos puntos de muestreo existe evidencia de actividades humanas como la construcción de obras de infraestructura vial.

Tabla 7. Evaluación de la vegetación de ribera de páramos

Parámetros de la vegetación de ribera de páramos (QBR)	P1
<i>Grado de cubierta de la zona de ribera</i>	18
<i>Calidad de la cubierta</i>	18
<i>Grado de naturalidad del canal fluvial</i>	-
Puntuación Total	36
Ponderación	48

Tabla 8. Evaluación de la vegetación de ribera de bosques

Parámetros de la vegetación de ribera de bosques (QBR)	P2	P3	P4	P5
Grado de cubierta de la zona de ribera	13	13	15	5
Estructura de la cubierta de la zona de ribera	25	15	18	13
Calidad de la cubierta de la zona de ribera	10	5	10	0
Grado de naturalidad del canal fluvial	10	15	25	25
Total	58	48	68	43
Interpretación: Muy buena (≥96) Buena (76-95) Intermedia (51-75) Mala (26-50) Pésima (≤25)				

En la Figura 11, se observa la variación del índice para la vegetación de bosque de ribera donde prepondera el P4 y P5 con el grado de naturalidad, el cual ha sido modificado por impactos antrópicos como la presencia de pequeños vertidos y estructuras sólidas dentro del río (columnas de un puente). A lo largo del cauce el grado, la estructura y calidad de cubierta se correlacionan entre sí, para la existencia de especies arbóreas y arbustivas, se encontró una estratificación de la comunidad vegetal con una cubierta vegetal mayor al 80%. Principalmente en el P2 existió recubrimiento de árboles >75%, a diferencia del resto de los puntos con presencia de arbustos y matorrales en un porcentaje entre 25-50, con especies introducidas como *Pinus*, *Eucalyptus*, *Salix*. Además se visualizó signos de afectación de ganadería y piscicultura sobre todo en los últimos puntos de muestreo; la presencia de especies como *Lachemilla orbiculata* son indicadores de hábitats sometidas a un pastoreo intenso (Vásconez *et al.*, 2001). En el P3 y P5 se pudo observar que son sitios donde existe evidencia de modificación en la vegetación, con presencia de senderos y caminos. Cabe recalcar que para el P1 se aplicó el índice de QBR para páramos donde no se valoró el grado de naturalidad, ya que este formato no evalúa la presencia de la variable; mientras tanto este punto de muestreo presentó una cobertura <25% con especies de introducidas (*Paspalum*), y formaciones vegetales como gramíneas, matorral arbustivo (*Escallonia myrtilloides*-Chachaco, *Calamagrostis intermedia* –Paja).

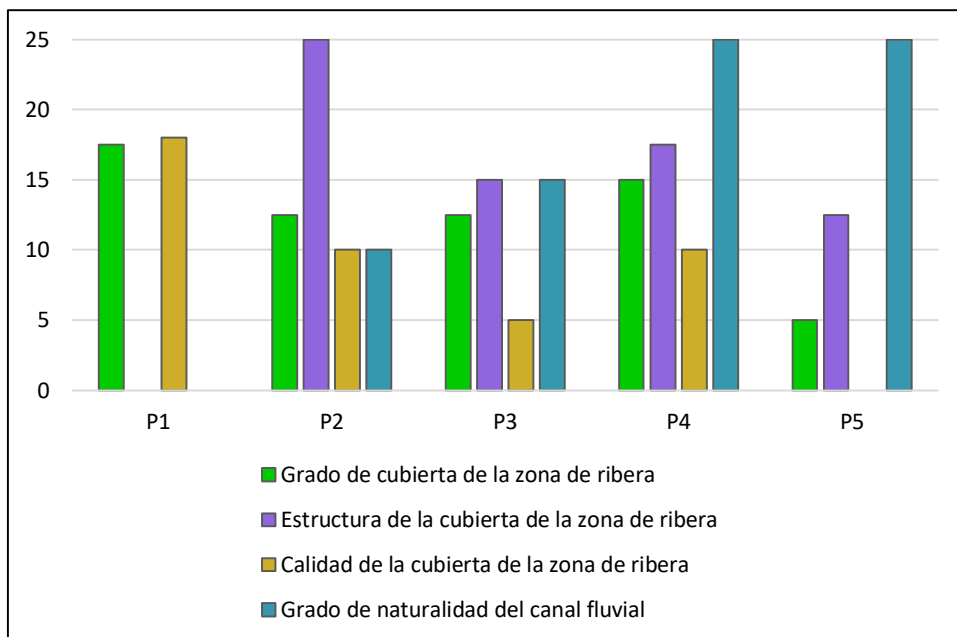


Figura 11. Variación del QBR en los puntos de muestreo.

4.1.3 Análisis de caudales.

La distribución, abundancia de especies acuáticas y regulación de la integridad ecológica de los sistemas lóticos está limitado por el caudal (Cardona, 2012). La característica hidrológica como la velocidad del río, es un factor importante para la presencia de las diatomeas. Ciertos grupos de especies se asocian según variación del caudal; en la Figura 12, se observan valores bajos de los caudales comprendidos entre los 0,48 y 0,89 m^3/s .

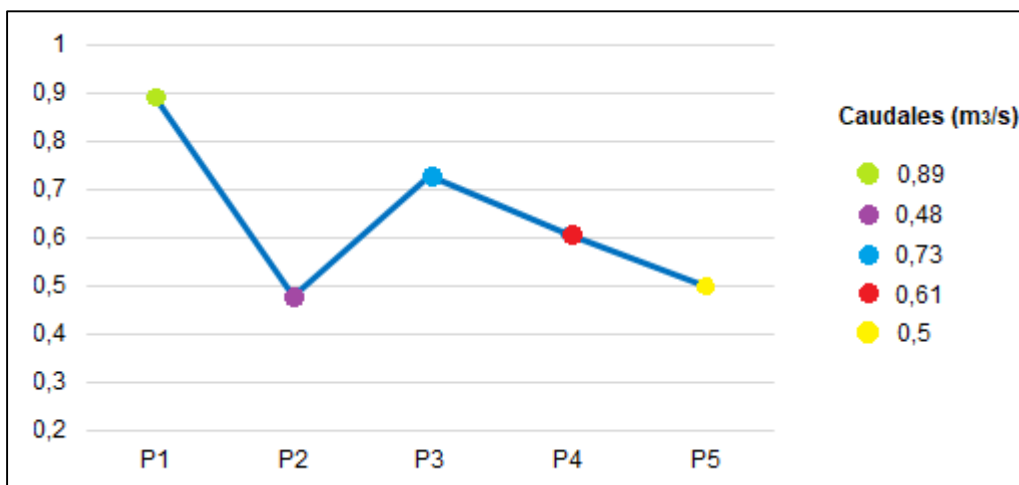


Figura 12. Variación de los caudales.

4.1.4 Análisis de la calidad físico química del agua.

El afluente se regula por el transporte de materia orgánica, nutrientes y sedimentos.

A continuación en la Tabla 9, se transcriben los resultados de los parámetros físicos químicos obtenidos en los muestreos.

Tabla 9. Valores por muestreos de los parámetros físicos químicos.

Parámetros		Muestreo 1- (Julio)					Muestreo 2- (Agosto)					Muestreo 3- (Septiembre)					LMP TULSMA	LMP Reforma 097
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5		
CAMPO	Temperatura (°C)	9	9,1	12,4	10	10,8	12	12,2	11,9	13	10,26	10,3	11,1	11,6	12,9	13,8	>3	
	pH	7,78	8,97	9	8,7	8,68	8,43	7,4	8,36	7,44	8,53	9	8,5	8,2	8,21	8,3	6,5-9	
	OD (mg/L)	7,68	8,16	8,25	7,9	7,99	6,22	7,6	7,51	7,48	8	7	6,4	6	6,1	6,3	≥ 6	
	Conductividad (µS/cm)	62,9	77,9	73	80	98,3	41,6	56,9	58,2	59,4	76,1	114	147,9	152,5	157	200	-	
LABORATORIO	DBO5 (mg/l)	5	8	5	12	10	N.D	6	4	10	8	N.D	6	8	17	12	-	20
	Nitratos (mg/l)	0,15	0,11	0,17	0,18	0,9	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	-	13
	Fósforo	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,02	0,02	0,04	0,1	-	
	Coliformes fecales	120	150	79	110	140	280	240	540	540	540	-	-	-	-	-	200	

A lo largo del río la temperatura del agua posee un promedio de 10,26 °C para el mes de julio, 11,8 °C en agosto, y 11,9 °C en septiembre; con fluctuaciones en los diferentes puntos de muestreo, en la (Figura 13-a) se observa un ligero incremento en el monitoreo 3, con temperaturas de hasta 13,8 °C. Los valores menores se presentan en el P1 y P2 debido a condiciones meteorológicas del período de muestreo (Tabla 9). La variación del pH cuenta con rangos entre los 7,4 y 9, registrando valores altos (Figura 13-b) en el monitoreo 1 (P2 y P3) y monitoreo 3 (P1), los resultados que se obtuvieron de las muestras se encuentran dentro de los límites permisibles (Anexo 4) considerados aptos para la preservación de la flora y fauna en agua dulce de acuerdo a lo establecido por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), libro VI, anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.

Se observó que los valores de oxígeno disuelto son mayores a 6 mg/L (Figura 13-c) por lo que se encuentran dentro de los límites permisibles, con rangos entre 6 y 8,25 mg/L, lo que indica que son aguas bien oxigenadas a causa de la capacidad de reaeración; el valor máximo registrado fue en el monitoreo 1 (P3), debido a la corriente rápida de agua. En cuanto a la conductividad osciló en un rango de 41,6 a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el monitoreo 3 (Figura 13-d) presentó valores significativos con respecto a los otros dos monitoreos, lo que permite una mayor concentración de sales. Este parámetro conjuntamente con la temperatura se relacionan entre sí, ya que a medida que aumenta la temperatura, la conductividad también lo hace.

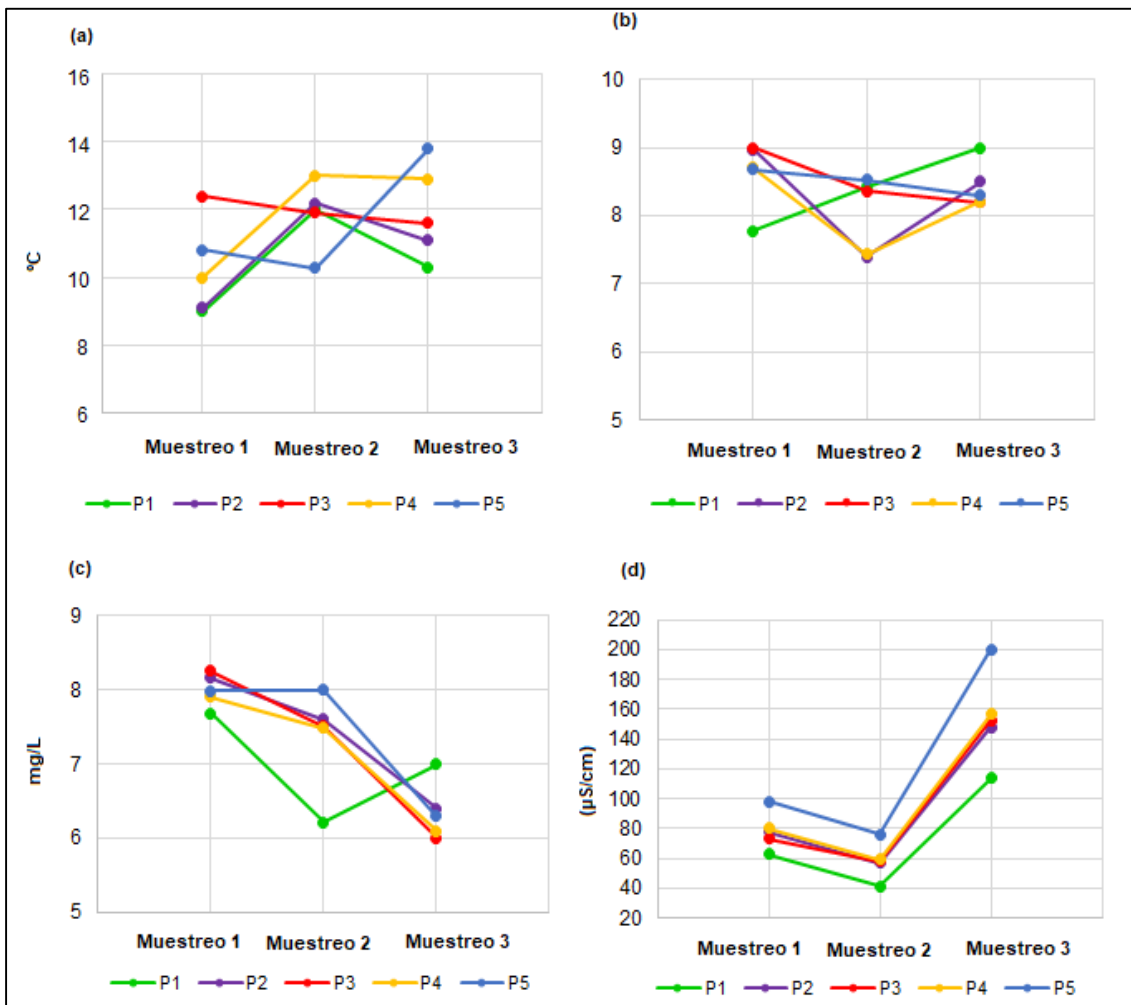


Figura 13. (a) Variación de la temperatura, (b) pH, (c) oxígeno disuelto, (d) conductividad; durante los tres períodos de muestreo.

En la tabla 9, se muestran los valores máximos y mínimos del DBO_5 en las estaciones evaluadas, las cuales según la reforma 097 emitida por el Ministerio de Ambiente de Ecuador el valor máximo permisible para criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios es de 20 mg/L (Anexo 5). Se presentó un rango de 5 a 17 mg/L; con mayor concentración en el mes de septiembre en el P4. La concentración de nitratos se presenta solo en el mes de julio con valores de 0,9 y 0,18 mg/L; en el P1, P2 y P5 los valores presentan rangos fuera de los límites máximos permitidos establecidos por la reforma 097 (Anexo 5), las cantidades presentes son relativamente importantes para considerar la presencia de amonio en los vertidos. La presencia de nitritos en un agua suele indicar una contaminación de carácter fecal reciente (Marín, 2003).

Para el fósforo no se han establecido niveles estándares en el agua, debido a que el fósforo en el agua no se considera directamente tóxico; al ser vertido directamente en los cursos de agua o en el suelo tiene un impacto ambiental significativo, estimulando el proceso de eutrofización (Environmental Protection Agency, 2000). Los niveles de fósforo fluctúan valores bajos entre los 0,02 y 0,1 mg/L; presentes únicamente en el tercer muestreo para el mes de septiembre.

En cuanto a los coliformes fecales se muestrearon valores significantes que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA para la preservación de la flora y fauna en agua dulce, en donde los valores más altos se tuvieron en el mes de agosto con 540 NMP/100 ml y el valor más bajo dentro de los límites con 79 y 110 NMP/100 ml en el P3 y P4 respectivamente en el mes de julio. Los valores altos de coliformes fecales se deben a la época estacionaria, a la presencia de excretas de ganado a través de infiltraciones y percolación de establos cercanos al río, e indirectamente por flujos superficiales y escorrentías desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo. Además de pequeños vertidos de aguas residuales de la zona peri urbana en el P5.

4.1.5 Identificación de especies.

Las especies de diatomeas son de gran importancia, ya que nos indican el grado de contaminación. Se registraron un total 2677 individuos, distribuidos en 36 especies a lo largo del gradiente longitudinal del cauce durante los tres periodos de monitoreo. En la Tabla 10, se muestran las especies encontradas, divididas en 25 géneros. Los géneros más frecuentes fueron: *Cocconeis*, *Encyonema*, *Epithemia*, *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Pinnularia* y los géneros menos frecuentes *Aulocoseira*, *Eunotia*, *Frustulia*,

Hantzschia, *Odontium*, *Sirurella*. En el Anexo 6, se detalla el registro por período de muestreo en los meses de Julio, Agosto y Septiembre de las especies encontradas.

La diferencia de la riqueza de especies en los puntos de muestreo varia, se evidencia aguas abajo, en donde en el (P1 y P3) se encontraron un total de 16 especies; (P2) 25 especies; (P4) 21; y (P5) 24 especies. Las especies de mayor abundancia fueron *Melosira varians*, *Gomphonema subclavatum* y *Encyonema minutum*; con 277, 213 y 205 individuos respectivamente.

Tabla 10. Especies de diatomeas encontradas a lo largo del río Yanuncay.

Especies	P1	P2	P3	P4	P5	Número de individuos
<i>Aulacoseria granulata</i>	0	0	0	21	0	21
<i>Cocconeis euglypta</i>	54	31	36	16	29	165
<i>Cocconeis placentula</i>	47	26	41	38	0	151
<i>Cymbella tumida</i>	18	15	22	21	15	92
<i>Encyonema jordaniforme</i>	0	0	0	19	0	19
<i>Encyonema minutum</i>	59	27	39	36	44	205
<i>Encyonema silesiacum</i>	0	14	0	0	0	14
<i>Encyonema sp1</i>	0	0	0	0	6	6
<i>Encyonema sp2</i>	0	14	0	0	7	21
<i>Epithemia adnata</i>	23	0	0	11	23	57
<i>Epithemia turgida</i>	0	11	0	14	0	25
<i>Eunotia superbidens</i>	24	0	0	0	0	24
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	0	15	26	0	20	62
<i>Fragilaria gracilis</i>	0	0	0	0	17	17
<i>Frustulia vulgaris</i>	0	11	0	0	0	11
<i>Gomphonema parvulum</i>	37	32	31	37	45	182
<i>Gomphonema subclavatum</i>	58	38	43	35	38	213
<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	0	37	36	39	44	155
<i>Gomphonema johncarterii</i>	0	16	0	0	4	20
<i>Hannaea arcus</i>	20	21	24	16	24	104
<i>Hantzschia elongata</i>	3	0	0	0	0	3
<i>Luticola acidoclinata</i>	0	0	0	0	8	8
<i>Melosira varians</i>	63	47	57	55	56	277
<i>Navicula lanceolata</i>	0	0	0	0	11	11
<i>Navicula radiosa</i>	0	13	0	0	0	13
<i>Nitzschia dissipata</i>	0	12	0	17	5	34
<i>Odontium mesodon</i>	0	0	0	0	6	6
<i>Pinnularia borealis</i>	31	19	45	16	0	111
<i>Pinnularia notabilis</i>	3	0	0	0	26	29

<i>Planothidium lanceolatum</i>	0	15	22	28	0	65
<i>Reimeria sinuata</i>	0	22	26	33	38	118
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	36	22	28	21	33	139
<i>Rossithidium pusillum</i>	0	21	33	23	32	108
<i>Surirella sp1</i>	0	7	0	0	0	7
<i>Synedra goulardii</i>	19	12	0	23	25	79
<i>Ulnaria ulna</i>	23	16	20	27	19	105
Total de individuos	518	513	528	544	574	2677

4.1.6 Análisis del índice de Shannon y Wiener.

De acuerdo al análisis del índice de Shannon como se puede observar en la Tabla 11, existe comparaciones no muy significativas entre los puntos estudiados con valores que oscilan entre los 2,45 y 2,97; reflejando una “diversidad media” a lo largo del cauce durante los períodos de monitoreo.

Tabla 11. Valores promedios del índice de Shannon a lo largo del río.

Puntos de muestreo	Riqueza específica	H'
P1	16	2,45
P2	25	2,97
P3	16	2,66
P4	21	2,79
P5	24	2,81
Interpretación:	*0,1-1,5 Diversidad Baja *1,6-3 Diversidad Media *3,1-4,5 Diversidad Alta	

Todos los puntos evaluados registraron valores dentro de la categoría de diversidad media. En la Figura 14, se observa un declive de la puntuación en el P1; mientras tanto el máximo valor se presentó en el P2 con 2,97.

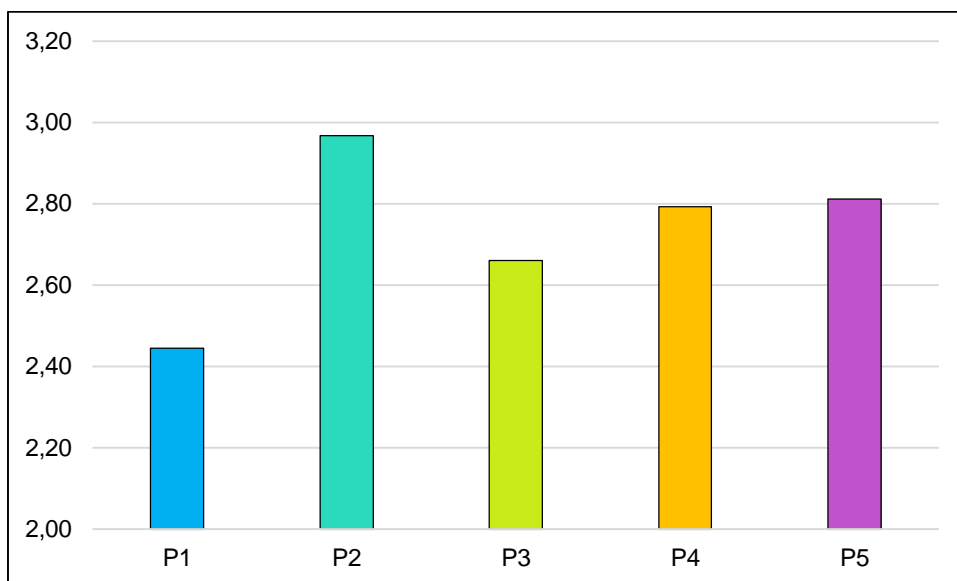


Figura 14. Variación del índice de Shannon.

4.1.7 Análisis del índice diatomológico.

Este índice trabaja en función a la abundancia y distribución ecológica de especies, el programa OMNIDIA asigna valores ya establecidos por el IPS; en la Tabla 12 se detalla los valores establecidos para cada especie. Las variables “S” sensibilidad y “V” tolerancia, representan una bioindicación; para considerar a una especie como indicadora de contaminación debe poseer valores de “S” cercanas o iguales a 5 y “V” a 3.

De esta manera se realizaron dos análisis: uno teórico en donde las especies indicadoras registradas fueron 16, y uno basado a la realidad en donde se estableció mediante la presencia y ausencia de especies, considerándose especie indicadora a la de baja amplitud; arrojando un total de 20 especies denominadas específicas. No obstante, no se considera como indicadoras a las especies que no han sido clasificadas hasta su mayor nivel taxonómico de especie y se ha llegado a identificar solo su género, ya que el programa OMNIDIA al no tener una identificación de especie determinada asigna los valores del género por lo que el valor obtenido puede diferir en los resultados.

Los resultados se correlacionaron entre si tanto como los obtenidos teóricamente en OMNIDIA y los encontrados en la realidad, con estos análisis algunas especies coincidieron con los criterios propuestos; teniendo especies indicadoras como *Eunotia superbidens*, *Hantzschia elongata*, *Synedra goulardii*, *Odontium mesodon* con

características propias de un estado oligotrófico con bajos nutrientes, baja conductividad y un pH alcalino (Burge y Edlund, 2015). *Epithemia adnata*, *Frustulia vulgaris*, *Nitzschia dissipata*, con características de ambientes mesotróficos, moderada cantidad de materia orgánica y baja presencia de fósforo (Manoylov, 2010). *Navicula radiosa*, es una especie indicadora de aguas contaminadas, presente en ambientes eutróficos. Con lo que se obtuvo que el 42,11% de especies son propias de ecosistemas eutróficos; 26,32 % mesotróficos; y el 31,58 % oligotróficos.

Tabla 12. Valores de tolerancia y sensibilidad asignados por OMNIDIA.

(*) Corresponden a especies indicadoras asignadas teóricamente.

(**) Especies indicadoras establecidas en la realidad.

	ESPECIES	V	S	CÓDIGOS
**	<i>Aulacoseira granulata</i>	1	2,9	AUGR
**	<i>Cocconeis euglypta</i>	1	3,6	CEUG
**	<i>Cocconeis placentula</i>	1	4	CPLA
	<i>Cymbella tumida</i>	3	3	CTUM
*	<i>Encyonema jordaniforme</i>	2,4	4,9	EJOF
	<i>Encyonema minutum</i>	2	4	ENMI
*	<i>Encyonema silesiacum</i>	2	5	ELSE
***	<i>Encyonema sp1</i>	2,4	4,9	ENCY
***	<i>Encyonema sp2</i>	2,4	4,9	ENCY
***	<i>Epithemia adnata</i>	3	4	EADN
*	<i>Epithemia turgida</i>	2	5	ETUR
***	<i>Eunotia superbidens</i>	2,3	4,8	ESPB
	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	1	3,4	FVAU
**	<i>Fragilaria gracilis</i>	1	4,8	FGRA
***	<i>Frustulia vulgaris</i>	3	4	FVUL
**	<i>Gomphonema parvulum</i>	1	2	GPAR
	<i>Gomphonema subclavatum</i>	1	5	GSCL
**	<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	1	3,5	GPRI
**	<i>Gomphonema johncarterii</i>	1,9	3,6	GJOC
	<i>Hannaea arcus</i>	2	5	HARC
***	<i>Hantzschia elongata</i>	3	4	HELO
**	<i>Luticola acidoclinata</i>	1	5	LACD
	<i>Melosira varians</i>	1	4	MVAR
**	<i>Navicula lanceolata</i>	1	3,8	NLAN
***	<i>Navicula radiosa</i>	2	5	NRAD

***	<i>Nitzschia dissipata</i>	3	4	NDIS
***	<i>Odontium mesodon</i>	3	5	ODME
*	<i>Pinnularia borealis</i>	3	5	PBOR
*	<i>Pinnularia notabilis</i>	2,3	4,7	PNOT
	<i>Planothidium lanceolatum</i>	1	4,6	PTLA
	<i>Reimeria sinuata</i>	1	4,8	RSIN
**	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	1	4	RABB
***	<i>Rossithidium pusillum</i>	3	5	RPUS
**	<i>Surirella sp1</i>	2,2	3,6	SURI
***	<i>Synedra goulardii</i>	2	4	SGOU
**	<i>Ulnaria ulna</i>	1	3	UULN

Por otro lado al aplicar la fórmula del IPS¹, se obtuvo una clasificación del agua “Mala”, a excepción del P2 donde fue “Deficiente” (Tabla 13).

Tabla 13. Valores de calidad del agua según el IPS.

P1	P2	P3	P4	P5
5	9	3,8	5,04	5,12
Interpretación: Mala Moderada Muy buena Deficiente Buena				

4.1.8 Análisis de correspondencia canónica (ACC).

El ACC, fue empleado para observar los patrones que existen en la distribución de las diatomeas; en este análisis se compararon las variables ambientales y biológicas, para establecer las especies que están influenciadas por los parámetros físico-químicos. Para lo cual se empleó las abundancias relativas mayores al 5%, valores inferiores fueron eliminados, ya que al tener pocos individuos de un taxón se consideran que su ocurrencia no fue frecuente y puede inducir a un error (Blanco *et al.*, 2013).

Existen diatomeas que están asociadas a ciertas variables ambientales, como se observa en la Figura 15, los parámetros con mayor significancia en la presencia de las diatomeas son los nitratos, temperatura y el DBO₅. Es así como *Encyonema silesiacum*, *Gomphonema pumilum var. Rigidum* se encuentran en una amplia gama de condiciones

¹ IPS: Índice de Polusensibilidad Específica.

de calidad del agua (Bahls, 2016); en particular en este estudio las variables ambientales como el DBO₅ y el OD estuvieron asociadas a la presencia de estas especies. Los nitratos se ven alineados a especies como *Epithemia adnata*, que es una especie fijadora de nitratos, presente en aguas alcalinas (Round *et al.*, 1990); *Pinnularia notabilis* considerada una especie rara, presente en altos niveles de nitrato y conductividad (Sandra *et al.*, 2016). *Gomphonema parvulum*, *Ulnaria ulna*, *Gomphonema subclavatum*, *Pinnularia borealis*, son especies ubicuas que se adaptan a cualquier situación climática, la presencia de estas especies en este caso influencia las altas temperaturas.

Con un vector de menor escala pero no menos importante la presencia de coliformes fecales y fósforo se correlacionan entre sí, con presencia de *Cocconeis euglypta*, *Fragilaria gracilis*; estas son especies de ambientes eutrofizados e indicadores de aguas de mala calidad, con lo que al analizar los parámetros físico químicos recolectados se tuvo que en los meses de agosto y septiembre existió la presencia de coliformes fecales sobrepasando los límites permisibles y fósforo.

Especies como *Aulacoseira granulata*, *Encyonema jordaniforme*, *Synedra gouldardii*, *Reimeria sinuata*, *Cymbella tumida* y *Planothidium lanceolatum*; fueron especies que no se encontraron asociadas a ningún parámetro. Cabe destacar que el análisis de correspondencia canónica refleja un ajuste del 53,9% lo que se considera un gráfico confiable para su interpretación.

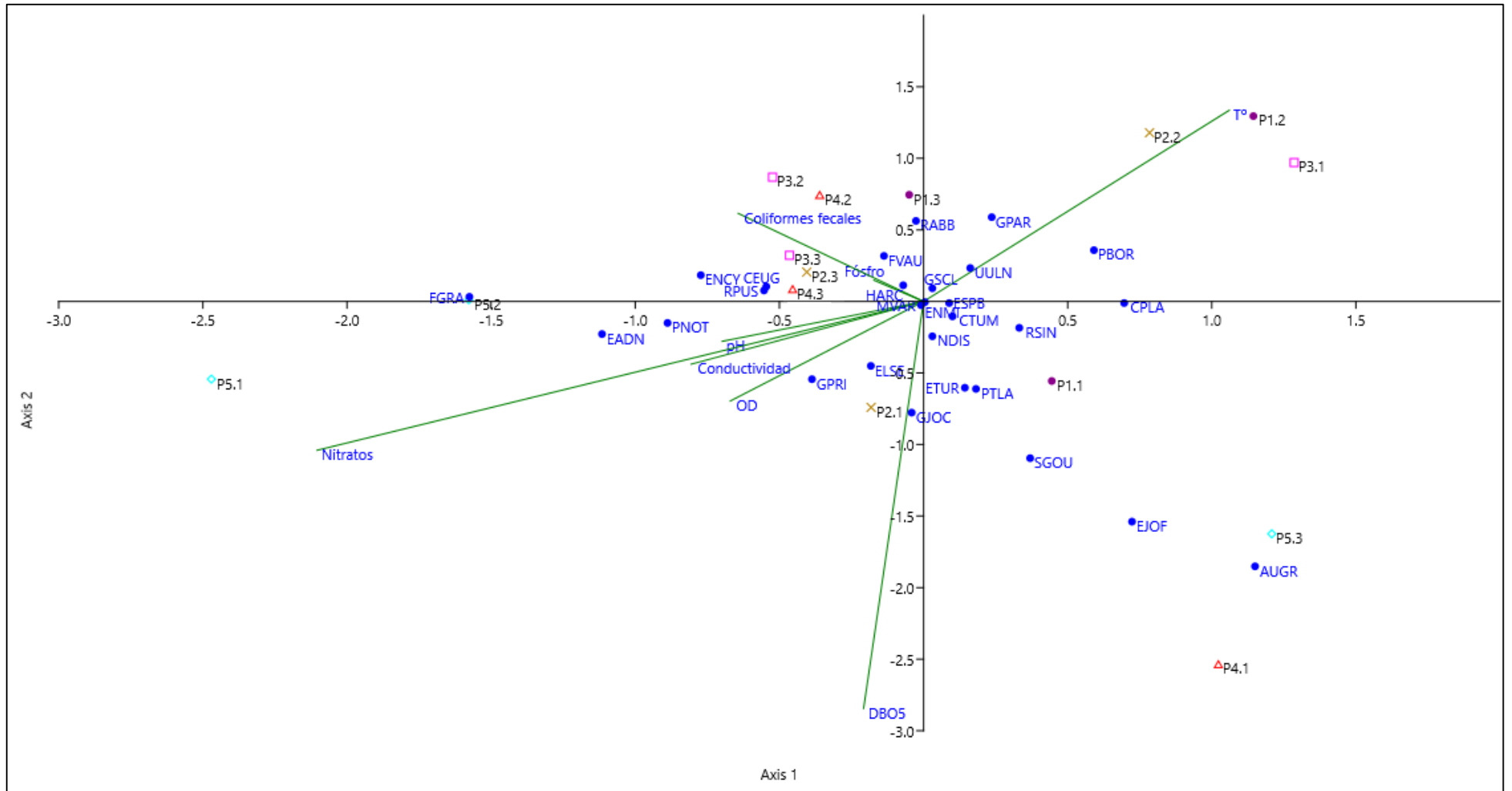


Figura 15. Análisis de correlación canónica de parámetros físico-químicos y especies de diatomeas.

4.1.9 Dendograma de Clúster.

El análisis de agrupamientos se lo realizó en base a una matriz de ausencia o presencia de especies en los cinco puntos de muestreos, como medida de similitud se empleó el coeficiente de Jaccard. En donde, se obtuvo que existen diferencias marcadas (Figura 16) entre los puntos de muestreo sobre todo en el P1 Y P2; no obstante, los puntos P3 y P4 son los más similares, debido a que son los puntos más intervenidos con presencia de senderos y un puente como se evidencia en el Anexo 12.

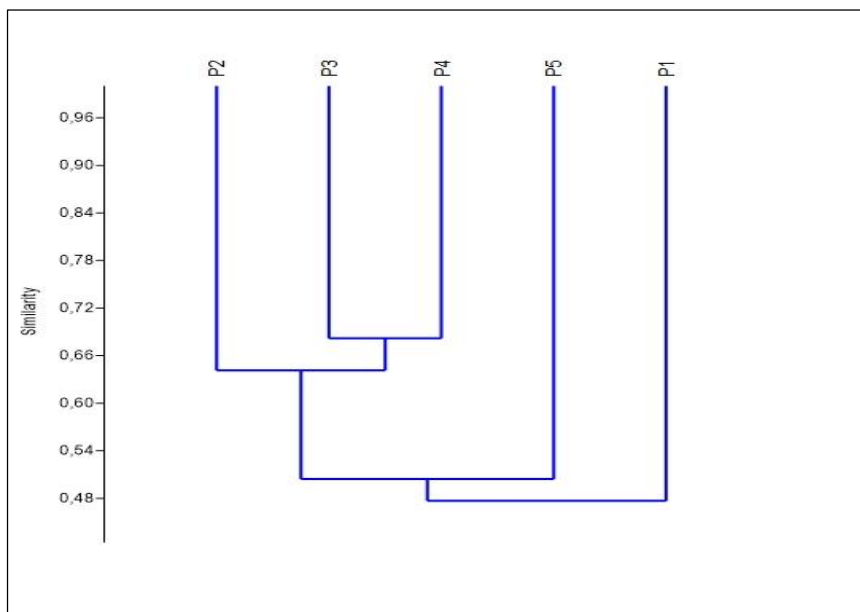


Figura 16. Dendograma de ausencia o presencia de especies en los distintos puntos.

4.2 Discusiones

Para establecer la calidad de agua de la cuenca del río Yanuncay, se realizaron varios métodos de análisis. Se valoró el estado del río a partir de la evaluación de la calidad vegetal de ribera, características del hábitat fluvial e hidromorfológicas así como los parámetros físico-químicos, evaluaciones complementarias al monitoreo biológico (Acosta *et al.*, 2014); para lo cual se relacionó la presencia de especies de diatomeas como bioindicadoras.

Se determinó un índice de hábitat fluvial “regular” y una calidad de ribera de “intermedia a mala”; los resultados encontrados sustentan lo reportado por un estudio realizado en la cuenca del Yanuncay, en donde los tramos de los ríos presentaron alteraciones en la vegetación de ribera (ancho de la vegetación de ribera, grado de

protección de la orilla con la vegetación y estabilidad de la orilla) debido a la presión antropogénica de actividades como la tala, agricultura y ganadería, la alteración de un componente de calidad de ribera produce efectos a otros componente como la acumulación del sedimento, desaparición de regímenes de velocidad- profundidad, cantidad de partículas que rodean al substrato, acumulación del sedimento , entre otros (Carrasco *et al.*, 2010).

Los escenarios muy inestables del río con los parámetros ambientales pueden corresponder a las condiciones propias de la época, las cuales hacen que las sustancias orgánicas y demás contaminantes, que son almacenados en el río se encuentren más diluidos en época lluviosa y más concentrados en la época seca (Flores *et al.*, 2017). No obstante, durante los monitoreos existió variaciones climáticas que influyeron a fluctuaciones importantes de sus características físico-químicas, es por ello que el uso de diatomeas como microorganismos bioindicadores permite evaluar de forma rápida, factores como la conductividad, temperatura, contaminación orgánica e inorgánica; con lo que se puede aplicar índices biológicos gracias a que son sensibles a los contaminantes (Schneck *et al.*, 2007).

Estudios realizados en zonas altoandinas se centran en el análisis de las características ambientales, la altitud y la conservación del hábitat de ribera establecen las características ambientales del medio que influyen en la composición de comunidades diatomológicas (Villamarín *et al.*, 2014).

En la zona de estudio se pudo evidenciar la presencia de nutrientes (nitratos, fosfatos) durante los meses de Julio y Septiembre, y altos valores de coliformes fecales durante el mes de Agosto; conjuntamente con parámetros como el DBO₅ y temperatura fueron factores determinantes para establecer la asociación y diversidad de diatomeas. Otro factor determinante en la diversidad de diatomeas como mencionan (Pedraza y Donato, 2011) es el caudal, ya que cuando el caudal es bajo la abundancia aumenta. Esta información se corrobora en este estudio, donde existió mayor diversidad de especies en el P2 (25 especies) y P5 (24 especies), con caudales bajos de 0,48 y 0,50 m³/s; esto concuerda con un estudio realizado por (Barzallo y Sacoto, 2019), en el cual encontraron que el río Yanuncay fue unos de los ríos con menor riqueza con un total de 24 especies de diatomeas por las bajas fluctuaciones de los parámetros físico-químicos e hidrológicos. El análisis de los resultados del índice de diversidad de Shannon caracterizó a la cuenca con una diversidad media; valores altos de diversidad representan ecosistemas con mayor estabilidad y complejidad taxonómica, mientras

que valores bajos se asocian a un aumento de condiciones tróficas (Margalef, 1983).

La riqueza específica del río registró un total de 36 especies en su mayoría cosmopolitas, con diferencias en su abundancia influenciadas por el nivel de sensibilidad y tolerancia a ciertas circunstancias; numerosos estudios demuestran que los componentes ambientales son determinantes de la estructura de las comunidades diatomológicas, las cuales se manejan en múltiples escalas temporales y espaciales, además pueden reflejar las manipulaciones en donde existe actividades humanas (Stendera *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos por el IPS, arrojaron un total de 16 especies bioindicadoras, cabe mencionar que el IPS está realizado con información a nivel global, mediante el programa OMNIDIA; que es una base de datos, la cual no incluye a muchas de las especies tropicales como las que existen en el Ecuador, por lo que difiere en los resultados. Es así como varios estudios realizados por la Universidad Internacional SEK del Ecuador, corrobora que el IPS no está adaptado a la realidad por lo que se empleó una metodología en la cual se realizó un análisis adecuado en donde se registraron 20 especies indicadoras, reflejando un total de 8 especies que son propias de ecosistemas eutróficos (*Aulacoseira granulata*, *Cocconeis placentula*, *Cocconeis Euglyta*, *Gomphonema parvulum*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Navicula radiosa*, *Navicula lanceolata*, *Fragilaria gracilis*); 5 especies de ambientes mesotróficos (*Epithemia adnata*, *Gomphonema pumilum* var. *Rigidum*, *Nitzschia dissipata*, *Frustulia vulgaris*, *Ulnaria ulna*); y 6 oligotróficas (*Eunotia superbidens*, *Hantzschia elongata*, *Synedra gouldardii*, *Rossithidium pusillum*, *Odontium mesodon*, *Luticola acidoclinata*).

Al correlacionar la presencia de diatomeas con los parámetros físico-químicos mediante el análisis de correspondencia canónica (ACC), se obtuvo que pocas son las especies que tuvieron afinidad a ciertos parámetros, mientras que por otro lado la mayoría de especies tendieron a comportarse como generalistas con una amplia gama de condiciones ambientales tal es el caso de *Melosira varians*, *Gomphonema subclavatum* y *Encyonema minutum*; encontrándose a *Melosira varians* como especie abundante a lo largo de la cuenca, reportado por (Hurtado y Morales, 2016). *Navicula lanceolata*, es una especie encontrada en ríos altoandinos, la presencia de esta especie en ríos como el Chibunga (en la provincia de Chimborazo), ríos de alto montaña como la reserva ecológica Antisana están presentes en afluentes contaminados y en aguas enriquecidas con nutrientes con contaminación orgánica (Serrano, 2018). La variabilidad de nutrientes determinaron los cambios en la diversidad de diatomeas, a pesar de que

las concentraciones fueron considerables la caracterización de la cuenca se aparta de un estado oligotrófico como se consideraba inicialmente. Además que al aplicar el índice IPS se obtuvo una “mala calidad” de agua; por lo que es probable que exista aporte de nutrientes adicionales que hicieran que ciertas especies que no son tan exigentes en condiciones oligotróficas aparezcan.

Todos los puntos de monitoreo presentan disimilitudes, a excepción del P3 y P4 que presentan similitudes debido a que son los puntos más intervenidos. Las diatomeas reflejan información complementaria a los parámetros físico-químicos, siendo ideales frente a una contaminación; a partir de las deformaciones de las valvas se puede indicar la presencia de factores que causen estrés ambiental (Licursi y Gómez, 2003).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

Mediante los protocolos de IHF y QBR, se obtuvo como resultado que en los cinco puntos de muestreo el hábitat fluvial fue regular y la calidad de bosque de ribera fue mala en los puntos (P1, P3, P5); mientras que en los puntos (P2, P4) fue intermedia. El análisis hidromorfológico arrojó caudales relativamente bajos. Los parámetros físico-químicos basados en el TULSMA, están dentro los límites máximos permisibles, a excepción de los nitratos, fosfatos y coliformes fecales; en los meses de Julio, Septiembre y Agosto respectivamente, indicadores de eutrofización en ecosistema lóticos.

La diversidad de las diatomeas se vio reflejada con un total 2677 individuos y 36 especies sensibles y tolerantes a una contaminación, el 55,55% de especies fueron bioindicadoras de calidad. El sistema hídrico presentó una diversidad media, presentando una baja heterogeneidad entre tramos, con siete géneros dominantes considerados especies generalistas. Al correlacionar los parámetros físico-químicos, se obtuvo que las variables más significantes asociadas a las diatomeas fueron el DBO₅, nitratos y temperatura, y en menor importancia coliformes fecales; en los cuales se asociaron la mayor cantidad especies. Es así como la asociación de parámetros en ciertas especies como *Aulacoseira granulata*, *Encyonema jordaniforme*, *Synedra goulardii* y *Planothidium lanceolatum*, son independientes.

Se puede apreciar un claro gradiente en la calidad de agua, pues al contrarrestar los resultados mediante los factores biológicos se caracterizó a los puntos (P1, P3, P4, P5) como calidad mala; (P2) deficiente. Se evidencia un gradiente de un estado eutrófico y mesotrófico.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con el estudio del río para aumentar la base de datos, y proporcionar mayor información de resultados.
- Realizar más muestreos, para que exista una mayor claridad para determinar una valoración del río. Además de aportar con información de los cambios que existen en el recurso, su calidad y sus especies. Considerar más muestreos hidromorfológicos, IHF y QBR, para tener datos espaciales y temporales de cambios.
- Es importante que las muestras de agua sean analizadas lo antes posible para evitar perturbaciones.
- Antes de realizar el fijado de placas revisar si existe presencia de diatomeas o si existe una excesiva cantidad de materia orgánica que dificulte el conteo. En este caso se recomienda repetir las placas para una mejor visualización.
- Mantener la resina Naphrax en un ambiente adecuado para evitar cambios en su textura.
- Los residuos del proceso de muestreo deben ser depositados en un recipiente etiquetado para su posterior descarga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, R., Hampel, H., González, H., Mosquera, P., Sotomayor, G., & Galarza, X. (2014). *Protocolo de evaluación de la integridad ecológica de los ríos de la región austral del Ecuador*. ETAPA EP, SENAGUA - DHS. Universidad de Cuenca. Programa PROMETEO de la SENESCYT.
- Acosta, R., Rieradevall, M., Ríos, B., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. In *Limnetica* (pp. 35–64).
- AENOR, (Asociación Española de Normalización y Certificación). (2014). *Guía para el muestreo en rutina y el pretratamiento de diatomeas bentónicas de ríos*.
- Almeida, S. F. P. (2001). Use of diatoms for freshwater quality evaluation in Portugal. In *Limnetica* (pp. 205–213).
- Antezana, R., Ostoic, F., & Ramos, A. (2006). *Indicadores biológicos del agua*. Universidad Mayor de San Simón.
- Bahls, L. (2016). *Encyonema silesiacum*. In Diatoms of North America. https://diatoms.org/species/encyonema_silesiacum
- Baird, C., & Cann, M. (2014). *Química Ambiental* (Reverté). <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0304/guiones0304.pdf>
- Barber, H., & Haworth, E. (1987). *A guide to the morphology of The Diatom Frustule*.
- Barceló, L. D. B., & López de Alda, M. J. (2008). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. *American Society of Mechanical Engineers*. <http://elaguapotable.com/Contaminación y calidad quím del agua-los contaminantes emergentes.pdf>
- Barzallo, M., & Sacoto, A. P. (2019). Diversidad de diatomeas bentónicas, en riachuelos de los páramos del sur del Ecuador. In *Universidad del Azuay*.
- Battarbee, R. W. (1986). Diatoms analysis. In: Berglund, B.E. *Handbook of Holocene Palaeohydrology*. New York: John Wiley & Sons, p.527-570.
- Bellinger, W., & Sigeo, D. (2010). *Freshwater Algae. Identification and use as bioindicators*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470689554>
- Bicudo, C. E. ., & Menezes, M. (2006). *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil Chave para identificação e descrições* (Vol. 13).
- Blanco, S., Cejudo-Figueiras, C., Álvarez-Blanco, Ivan, Donk, E., M. Gross, E., Hansson, L., & Bécares, E. (2013). Epiphytic Diatoms along Environmental Gradients in Western European Shallow Lakes. In *Clean Soil Air Water*,41. (pp. 1–7). <file:///C:/Users/Nicky/Downloads/Blanco-clen201200630-online.pdf>
- Blanco, Saúl., & Alvarez, R. (2012). *Organismos fitobentónicos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico*. Ministerio de Agricultura.
- Blanco, Saúl. (2010). Generador de números aleatorios para recuentos en microscopía óptica. *Limnology & Oceanography, Excel 2003*, 30–31.
- Blanco, Saúl, Álvarez, I., Cejudo, C., & Bécares, E. (2010). *Guía de las diatomeas de la cuenca del Duero* (S. a. CELARAYN (ed.); Confederac). <https://doi.org/771-10-006-7>.

- Boyd, C. (2018). *Dinámica del oxígeno disuelto*. Global Aquaculture Alliance. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/dinamica-del-oxigeno-disuelto/>.
- Burge, D., & Edlund, M. (2015). *Taxon Identification Guide*. In *Diatoms of North America*. https://diatoms.org/species/eunotia_superbidents.
- Calizaya, J., Avendaño, M., & Delgado, L. (2013). Evaluación de la calidad Fluvial con Diatomeas (Bacillariophyceae), una experiencia en Tacna, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 30, 58-63.
- Calles, J. (2017). *Caudal Ecológico del Ecuador*. Calles, J. (n.d.). Caudal Ecológico Del Ecuador. 2017. <https://www.lagua.es/Blogs/Juan-Calles-Lopez/Caudal-Ecologico-Ecuador>. <https://www.iagua.es/blogs/juan-calles-lopez/caudal-ecologico-ecuador>.
- Cardona, W. (2012). *Curvas de idoneidad de hábitat para macroinvertebrados bentónicos: una herramienta para la estimación de caudales ambientales*. Escuela de los Recursos Naturales y del Ambiente. Universidad del Valle.
- Carrasco, M., Pineda, R., & Munguía Pérez, R. (2010). Calidad del habitat en los rios torebamba y yanuncay en Ecuador, 13–26.
- Castillo, J., Cortez, K., Wong, A., & Villalpando, P. (2007). Analisis de correlacion canonica (ACC) e investigacion cientifica (Canonical correlation analysis and scientific research). *Innovaciones de Negocios*, 4(8), 405–422. http://www.web.facpya.uanl.mx/rev_in/Revistas/4.2/A9.pdf
- Castro, H., Lina, M., Carvajal, Y., & Ávila Díaz, Á. J. (2012). Análisis de clúster como técnica de análisis exploratorio de registros múltiples en datos meteorológicos. *Ingeniería de Recursos Naturales y Del Ambiente*, 11, 11–20.
- Cemagref. (1982). Etude des Méthodes Biologiques Quantitatives d'appréciation de la Qualité des Eaux. In *Rapport Division Qualité des Eaux Lyon Agence de l'Eua Rhône-Méditerranéen-Corse, Pierre Bénite* (p. 218).
- Chang, J. (2009). Limnología. In *Factores Físicos que influyen* (p. 38). [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6194/9/Capitulo 3 Factores que influyen en los lagos.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6194/9/Capitulo%203%20Factores%20que%20influyen%20en%20los%20lagos.pdf)
- CHE, (Confederación Hidrografía del Ebro). (2005). Metodología para el establecimiento del Estado Ecológico según la Directiva Marco del Agua. In *Protocolos de muestreo y análisis para Fitobentos (Microalgas Bentónicas)* (pp. 22–23).
- Coste, M., & Rosebery, J. (2011). Guide iconographique pour la mise en oeuvre de l'Indice Biologique Diatomée. *Année*, 241.
- Daza, N., Acosta, M., Calderón, Y., Navarro, L., & Tosse, O. (2018). *Guía metodológica para la formulación de los planes de manejo ambiental de microcuencas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/microcuenca>.
- Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., & Franson, M. A. H. (1998). 5210 B. 5-Day Biochemical Oxygen Demand (BOD) Test. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 1, 1–11.
- ECS, (European Committe for Standartization). (2003). *Water quality – Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers*. . [http://www.safrass.com/partners_area/BSI Benthic diatoms.pdf](http://www.safrass.com/partners_area/BSI%20Benthic%20diatoms.pdf)
- EPA, (Environmental Protection Agency). (2000). *National Water Quality Inventory 2000 Report*

(EPA-841-R-02-001).

- ETAPA EP. (2008). *Manejo de cuencas hidrográficas mediante negociación y establecimiento de acuerdos, en la subcuenca del río Yanuncay*. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/05AM08-0101.pdf>.
- Fattorelli, S., & Fernández, C. P. (2011). *Diseño Hidrológico. Edición Digital*. Water Assesment & Advisory Global Network.
- Fernández, M. J., Galindo Villardón, M. P., Barrera Mellado, I., Vicente Villardón, J. L., & Martín Casado, A. M. (1996). Alternativa al análisis canónico de correspondencias basada en los métodos Biblot. *Mediterránea. Serie de Estudios Biológicos*, 15, 63–71. <https://doi.org/10.14198/mdtrra1996.15.07>
- Flores, E., Villalobos, N., Piedra-Castro, L., & Scholz, C. (2017). Evaluación breve de la presencia de diatomeas y su relación con algunos parámetros físico-químicos en el río Pirro, Heredia, Costa Rica. *Uniciencia*, 31(2), 99. <https://doi.org/10.15359/ru.31-2.7>
- García, J., Sarmiento, L., Salvador, M., & Porras, L. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. *Universidad La Gran Colombia*, 23, 55–70. <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/659>.
- Góma, J. (2004). Les diatomees bentòniques de la Tordera: diversitat i utilització com a indicadors de la qualitat biològica de l'aigua. In *IV Trobada d'Estudiosos del Montnegre i el Corredor*. (pp. 37–45).
- Gomà, J., Rimet, F., Cambra, J., Hoffmann, L., & Ector, L. (2005). Diatom communities and water quality assessment in Mountain Rivers of the upper Segre basin (La Cer-danya, Oriental Pyrenees). *Hydrobiologia* 551, 209–225. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-4462-1>.
- Guamán, M. C., & González, N. (2016). Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador. In *Corporación para la Investigación Energética, Laboratorio de Biotecnología Energética*. (p. 125).
- Hurtado, M., & Morales, L. (2016). "Influencia de las variables físico-químicas sobre la estructura de la comunidad de algas perifíticas en las cuencas altas de los ríos Ishcayrumi-Yanuncay y Matadero del Parque Nacional Cajas." *Universidad Del Azuay*, 76.
- ICC, (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático). (2017). *Manual de Medición de Caudales*. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medición-de-caudales-ICC.pdf>
- INEN, (Instituto de Hidrología, M. y E. A. (2013). *NTE INEN 1202 : 2013. Agua. Demanda Bioquímica De Oxígeno*. 3, 11. <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-1202-AGUAS.-DEMANDA-BIOQUÍMICA-DE-OXÍGENO-DBO5.pdf>
- Kelly, M. G., Adams, C., Graves, A. C., Jamieson, J., Krokowski, J., Lycett, E. B., Murray-Bligh, J., Pritchard, S., & Wilkins, C. (2001). Preparation of diatoms for microscopy. En: *The Trophic Diatom Index: a user's manual*. Environment Agency, Bristol. Inglaterra, 17-24
- Kornacki, J. L., & Johnson, J. L. (2001). "Enterobacteriaceae, Coliforms, and Escherichia coli as Quality and Safety Indicators." In APHA (Ed.), *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods* (Downs F.P., Vol. 4, pp. 69–82). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68460-4>.
- Lenntech. (2020). *River water quality and pollution*. <https://lenntech.com/rivers-pollution-quality.htm#:~:text=Chemical waste products from industrial,other animals are killed immediately>.

- Licursi, M., & Gómez, N. (2003). Aplicación de índice biótico en la evaluación de la calidad del agua en sistemas lóticos de la llanura pampeana argentina a partir del empleo de diatomeas. In *Biología Acuática N° 21. Diatomeas y Macroinvertebrados Bentónicos en el monitoreo de sistemas lóticos Bonaerenses*. Instituto de Limnología.
- Llerena, C. a. (2003). Conceptos básicos y temas afines. *ambientales*.
<http://www.iai.int/admin/site/sites/default/files/uploads/BR-2003-11-Servicios-ambientales-de-las-cuencas-Spanish-Carlos-A.-Llerena.pdf>
- Loaiza, E. (2009). *Diagnóstico de contaminación de agua en la quebrada camaronera, parque nacional manuel antonio área de conservación pacífico central, minaet*. Universidad de Costa Rica.
- Lobo, E. (2016). Índice trófico de qualidade da água: guia ilustrado para sistemas lóticos subtropicais e temperados brasileiros. (EDUNISC, Vol. 7, Issue 2). www.unisc.br/edunisc
- Magurran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. 19-23.
- Manoylov, K. (2010). *World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway*. AlgaeBase. <http://www.algaebase.org>
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. *Barcelna: Ed. Omega*, 6:234-324.
- Marín, M. (2003). *Físicoquímica y Microbiología de los medios acuáticos*. 123-126.
- Matthews, C. (2016). *La ganadería y medio ambiente*. FAO Sala de Prensa.
- Mejía, E., & Rosas, G. (2016). *Calculo de la velocidad media y el caudal con base en la velocidad superficial del agua en pequeñas corrientes*. universidad distrital francisco josé de caldas.
- Mendoza, Z. A. (2013). *Guía De Metodos Para Medir La Biodiversidad*. 74.
<https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/guia-para-medir-biodiversidad-octubre-7-2011.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2015). Reforma 097-A. *Registro Oficial Órgano Del Gobierno Del Ecuador*, 14.
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf>
http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaría_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf
- MITECO, (Ministerio para la Transición Ecológica) (2007). *Subcuencas de ríos completos clasificadas según Pfafstetter modificado (Ámbito Nacional)*.
- Moyón, J. (2013). *Diatomeas epilíticas bioindicadoras de calidad de agua en vertientes, río Chalpi Grande, provincia de Napo*. Universidad central del Ecuador.
- Munné, A., Prat, N., Solá, C., Bonada, N., & Rieradevall, M. (2003). Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. In *A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index*. *Habitat*. (13th ed., pp. 147–163). <http://dx.doi.org/10.1002/aqc.529>
- OMNIDIA. (2017). *Omnidia software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management*. V.6.0.2. <http://www.omnidia.fr>
- Ongley, E. . (1997). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. In *Documentacion.Ideam.Gov.Co*.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021109/LUCHACONTRALACONTAMINACION.pdf>

- Ortiz, R. (1996). *Glosario Geohidrológico*. Universitaria Potosina.
- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., & Al., E. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. In A. E. de Limnología, *Diseño de un índice de diversidad de hábitat*. (21st ed., pp. 115–133).
- Pedraza, E., & Donato, J. (2011). *Diversity and distribution of diatoms in a mountain stream of the Colombian Andes*. 33(1), 177–191.
- Penalta-Rodríguez, M., & López-Rodríguez, M. C. (2007). Diatomeas y calidad del agua de los ríos del Macizo Central Gallego (Ourense, N.O. España) mediante la aplicación de índices diatomológicos. In *Limnetica*, 26 (pp. 351–358).
- Pineda, J. (2017). *Contaminación Biológica*. Encolombia. <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/contaminacion-biologica/>
- Reinbold, J. (2018). *Ecosistemas léntico y lótico*. Geniolandia. <https://www.geniolandia.com/13107914/ecosistemas-lentico-y-lotico>
- Reyes, L. M. (2014). *Estadística, Matemática y Computación*. PAST: Paquete Estadístico Gratuito Especial Para Arqueología. <http://reyesestadistica.blogspot.com/2014/06/past-paquete-estadistico-gratuito.html#:~:text=Past es un paquete gratuito,espacial%2C morfometría y estratigrafía>.
- Rivera, D., Peña, E., Fernández, E., & Cubillos, A. (2014). *Referentes conceptuales y abordajes sobre determinantes ambientales*. Ministerio de Salud y Protección Social. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/referentes-conceptuales-abordajes-determinantes-ambientales.pdf>
- Rodríguez, L. (2012). *Determinación del estado trófico de tres ecosistemas lénticos de la sabana de Bogotá con base al fitoplancton, en dos periodos climáticos contrastantes*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Round, F. E., Crawford, R. M., & Mann, D. G. (1990). *The Diatoms: Biology and morphology of the genera*. Cambridge University.
- Ruiz, E., & Martínez, M. (2015). Hidrología aplicada. In *Escorrentía* (pp. 53–54). OpenCourseWare.
- Sagasta, J., Zadeh, S., & Turrall, H. (2017). Water pollution from agriculture: a global review. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 3. <http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/fao/water-pollution-from-agriculture-a-global-review.pdf>
- Sandra, A. A., John, B., & Kobina, Y. (2016). Investigation on Food Ecology of three Cichlid Species in the Mankessim Reservoir, Central Region of Ghana. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 8(5), 55–61. <https://doi.org/10.5897/ijfa2015.0535>
- Santana, Ó. (1991). El análisis de clúster: aplicación, interpretación y validación. *Revista de Sociología*, 65–76.
- Sardi, C. (2018). *La diversidad de algas diatomeas como herramientas de monitoreo para la gestión de la calidad de recursos hídricos, en los páramos del macizo del Cajas*. Universidad del Azuay.
- Schneck, F., Torgan, L., & Shwarzbold, A. (2007). Epilithic diatom community in a high altitude stream impacted by fish farming in southern Brazil. In *Study area Epilithic diatoms sampling*. (pp. 341–355). http://www.ablimno.org.br/pdf/acta19_vol3_09.pdf
- Schoemaker, A. (2017). *Glosario ambiental*. (1st ed.). Cedep Ayllu.

https://democraciaglobal.org/wp-content/uploads/tomo-1_optimize.pdf

- Segura, L. (2007). *Estudio de Antecedentes sobre la Contaminación Hídrica en Colombia* [Escuela Superior de Administración Pública ESAP].
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50221773/estudio_de_antecedentes_sobre_la_contaminacion_hidrica.pdf?1478746829=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DESTUDIO_DE_ANTECEDENTES_SOBRE_LA_CONTAMI.pdf&Expires=1593912324&Signature=IA4fDN8UHK8CE
- Serrano, P. (2018). *Diversidad y riqueza de especies de diatomeas epilíticas de la microcuenca del río Chibunga, Chimborazo*. SEK.
- Simal, J., Lage, M. S., & Iglesias, I. (1985). Second derivative ultraviolet spectroscopy and sulfamic acid method for determination of nitrates in water. *J. Assoc. Offic. Anal. Chem.* 68:9.
- Smith, R., & Smith, T. (2000). *Elements of Ecology* (I. Wesley, Adison Longman (ed.); 4th edition).
- Snoeyink, V. L., & Jenkins, D. (1990). *Química del Agua*. Lumisa-Noriega.
- Stendera, S., Bonada, N., Cañedo-Argüelles, M., Hugueny, B., Januschke, K., & Al., E. (2012). *Drivers and stressors of freshwater biodiversity patterns across different ecosystems and scales: A review. Hydrobiologia.* (pp. 1–28).
- Tejero, J., Suarez, A., & Jacome, J. (2007). *La calidad del agua*.
file:///C:/Users/Hp/Downloads/itop___TEMA5_calidad_de_aguas_dic2010 (1).pdf
- Tipán, L. (2018). *El turismo rural se promueve a orillas del río Yanuncay*. El Telégrafo.
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/septimo/1/el-turismo-rural-se-promueve-a-orillas-del-rio-yanuncay>
- Torres, Y., Roldán, G., Asprilla, S., & Rivas, T. S. (2006, March). Estudio preliminar de algunos aspectos ambientales y ecológicos de las comunidades de peces y macro- invertebrados acuáticos en el río Tutunendo. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 67–76.
- TULSMA, (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente). (2015). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. In *Anexo, Libro VI*.
- Vallejo, E. (2014). Análisis de las crecidas presentadas en los ríos Tarqui, Yanuncay y Tomebamba desde 1997 hasta 2011. *Tesis de Pregrado - Universidad de Cuenca - Ingeniería Civil*, 1–71.
- Vásconez, P., Medina, G., & Hofstede, R. (2001). Los Páramos del Ecuador. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*, 2006, 91–109.
- Villamarín, C., Prat, N., & Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(5), 1072–1086. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue5-fulltext-12>
- Westreicher, G. (2020). *Análisis de datos*. Economipedia.
<https://economipedia.com/definiciones/analisis-de-datos.html>

Anexo 2. Evaluación de la calidad de la ribera en la región austral del Ecuador. Ecosistemas de bosques de ribera.

APARTADOS	PUNTUACIÓN	
	Orilla Izq.	Orilla Der.
1. Grado de cubierta de la zona de ribera (las plantas anuales no se contabilizan)		
> 80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	12.5	12.5
50-80 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	5	5
10-50 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	2.5	2.5
< 10 % de cubierta vegetal de la zona de ribera	0	0
La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total	5	5
La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es > 50%	2.5	2.5
La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es entre 25 - 50%	-2.5	-2.5
La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es < 25%	-5	-5
SUBTOTAL		
TOTAL (Sumar ambas orillas)		
2. Estructura de la cubierta de la zona de ribera		
Recubrimiento de árboles es > 75 %	12.5	12.5
Recubrimiento de árboles es entre 50 -75 %	5	5
Recubrimiento de árboles es < 50 %	2.5	2.5
Sin árboles, arbustos por debajo del 10 % o sólo vegetación herbácea	0	0
Gradiente de estratificación evidente y conectado: Dosel de árboles, sotobosque arbustivo y vegetación herbácea	5	5
Concentración de arbustos es > 50 %	5	5
Concentración de arbustos es entre 25 -50 %	2.5	2.5
Concentración de arbustos es < 25 %	1	1
Presencia de epifitas (p. ej. Bromelias)	2.5	2.5
Árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin continuidad	-2.5	-2.5
Existe una distribución regular (linealidad) en los árboles	-5	-5
SUBTOTAL		
TOTAL (Sumar ambas orillas)		
3. Calidad de la cubierta de la zona de ribera		
Todos los árboles de la zona de ribera autóctonos	12.5	12.5
Como máximo un 25% de la cobertura es de árboles introducidos (Pinus, Eucalyptus y Salix)	5	5
26 - 50% de los árboles de ribera son especies introducidas	2.5	2.5
Más del 51% de los árboles de la ribera son especies introducidas	0	0
Presencia de cultivos, pastizales o actividad ganadera	-5	-5
Presencia de construcciones (p. ej. casas, industrias)	-5	-5
Presencia de senderos o caminos	-2.5	-2.5
Presencia de vías asfaltada:	-5	-5
Presencia de otras actividades que modifiquen las riberas (p. ej. dragados, minería informal)	-5	-5
SUBTOTAL		
TOTAL (Sumar ambas orillas)		
4. Grado de naturalidad del canal fluvial		
El canal del río no ha sido modificado		25
Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal		10
Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río		5
Presencia de alguna presa o otra infraestructura transversal en el lecho del río		-15
Presencia de alguna estructura sólida dentro del lecho del río (p. ej. columnas de puentes)		-10
Presencia de pequeños vertidos		-5
Presencia de grandes vertidos		-15
Presencia de pequeñas derivaciones del flujo normal del agua		-5
Presencia de grandes derivaciones del flujo normal del agua		-15
Presencia de basuras de forma puntual pero abundantes		-5
Presencia de un basurero permanente en el tramo estudiado		-10
Presencia de lavanderías informales de ropa		-5
TOTAL		
PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones de cada apartado)		

Fuente: (Acosta *et al.*, 2014)

Anexo 3. Evaluación de la calidad de la ribera en la región austral del Ecuador. Ecosistemas de páramos.

APARTADOS	PUNTUACIÓN	
	Orilla Izq.	Orilla Der.
1. Grado de cubierta de la zona de ribera		
> 80 % de cubierta vegetal de la ribera (Gramíneas y/o matorral arbustivo)	12.5	12.5
50-80 % de cubierta vegetal de la ribera	5	5
10-50 % de cubierta vegetal de la ribera	2.5	2.5
< 10 % de cubierta vegetal de la ribera	0	0
La conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es total	5	5
La conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es >50%	2.5	2.5
La conectividad entre la vegetación de ribera y la comunidad vegetal adyacente es entre 25-50%	-2.5	-2.5
La conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es < 25%	-5	-5
SUBTOTAL		
TOTAL (Sumar ambas orillas)		
2. Calidad de la cubierta		
Todas las especies vegetales de ribera autóctonas (gramíneas, matorral arbustivo, almohadillas)	12.5	12.5
Ribera con <25% de la cobertura con especies de introducidas (achemilla, Paspalum, Rumex, Cotula australis)	5	5
Ribera entre 25-80% de la cobertura con especies introducidas	2.5	2.5
Ribera con > 80% de la cobertura con especies introducidas	0	0
Evidencias de quema de pajonal de gramíneas de ribera <50%	-2.5	-2.5
Evidencias de quema de pajonal de gramíneas de ribera >50%	-5	-5
Presencia de cultivos, pastizales o actividad ganadera	-5	-5
Evidencia de derrumbes (erosión) en el talud de la orilla	-2.5	-2.5
Presencia de construcciones (p. ej. casas, industrias)	-5	-5
Presencia de senderos o caminos	-2.5	-2.5
Presencia de vías asfaltada:	-5	-5
Presencia de otras actividades que modifiquen las riberas (p. ej. dragados, minería informal)	-5	-5
SUBTOTAL		
TOTAL (Sumar ambas orillas)		
3. Grado de naturalidad del canal fluvial		
El canal del río no ha estado modificado		25
Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal		10
Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río		5
Presencia de alguna presa u otra infraestructura transversal en el lecho del río		-15
Presencia de alguna estructura sólida dentro del lecho del río (p. ej. columnas de puentes)		-10
Presencia de pequeños vertidos		-5
Presencia de grandes vertidos		-15
Presencia de pequeñas derivaciones del flujo normal del agua		-5
Presencia de grandes derivaciones del flujo normal del agua		-15
Presencia de basuras de forma puntual pero abundantes		-5
Presencia de un basurero permanente en el tramo estudiado		-10
Presencia de lavanderías informales de ropa		-5
TOTAL		
PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones de cada apartado)		
TOTAL		
PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones de cada apartado)		

Fuente: (Acosta *et al.*, 2014)

Anexo 4. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna.

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l	No menor al 60% y no menor a 5 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		6, 5-9	6, 5-9	6, 5-9, 5
Sulfuro de hidrógeno ionizado	H ₂ S	mg/l	0,0002	0,0002	0,0002
Amoniaco	NH ₃	mg/l	0,02	0,02	0,4
Aluminio	Al	mg/l	0,1	0,1	1,5
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	0,1	1,5
Boro	B	mg/l	0,75	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,001	0,005
Cianuro Libre	CN ⁻	mg/l	0,01	0,01	0,01
Zinc	Zn	mg/l	0,18	0,18	0,17
Cloro residual	Cl	mg/l	0,01	0,01	0,01
Estaño	Sn	mg/l			2,00
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2	0,2
Plomo	Pb	mg/l			0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,02	0,02	0,05
Cromo total	Cr	mg/l	0,05	0,05	0,05
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001	0,001
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,01	0,005
Selenio	Se	mg/l	0,01	0,01	0,01
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5	0,5
Temperatura	°C		Condiciones naturales + 3 Máxima 20	Condiciones naturales + 3 Máxima 32	Condiciones naturales + 3 Máxima 32
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		Máxima 200	Máxima 3200	Máxima 3200

Fuente: (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2015)

Anexo 5. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio ⁽¹⁾	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoniaco Total ⁽²⁾	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	µg/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	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles ⁽³⁾		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
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2	
Nitratos	NO ₃	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO ₅	DBO ₅	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condición natural	-

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

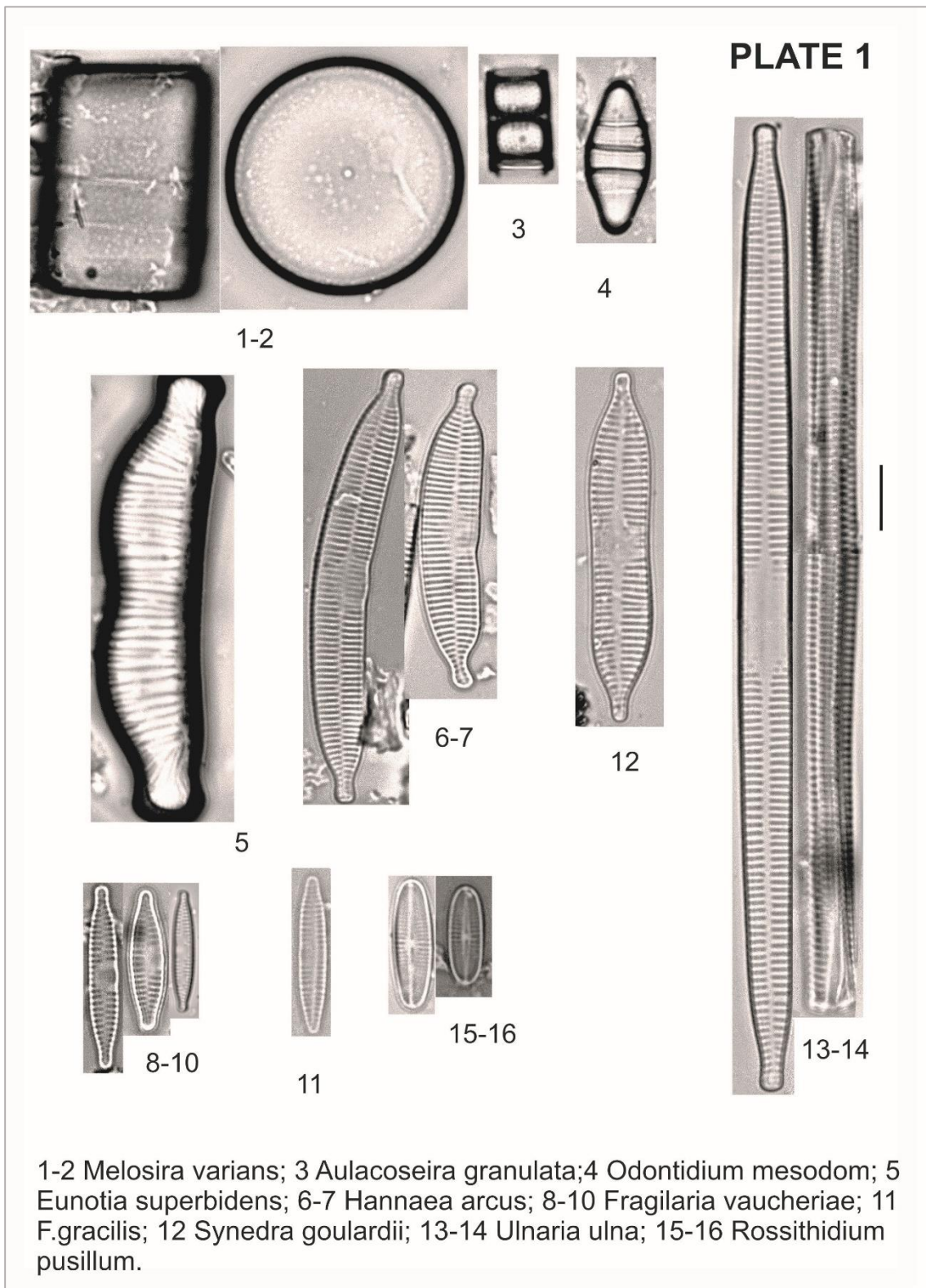
Anexo 6. Distribución de especies de diatomeas durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre.

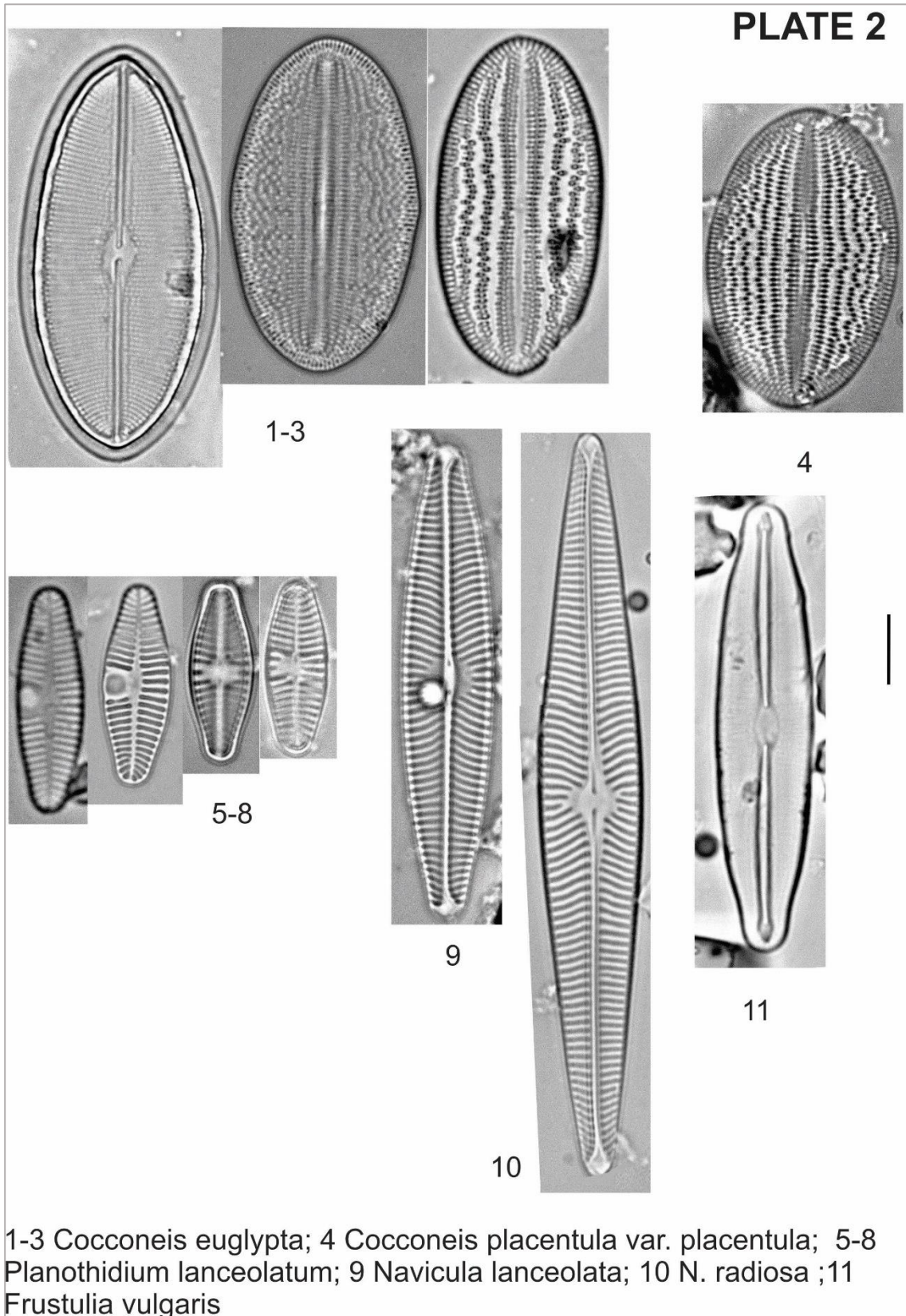
Especies	Muestreo 1 (15/7/2020)				
	P1	P2	P3	P4	P5
<i>Cocconeis euglypta</i>	-	38	-	13	41
<i>Cocconeis placentula</i>	45	15	41	39	-
<i>Cymbella tumida</i>	14	22	33	29	15
<i>Encyonema jordaniforme</i>	-	-	-	35	-
<i>Encyonema minutum</i>	77	32	45	29	58
<i>Encyonema silesiacum</i>	-	14	-	-	-
<i>Epithemia adnata</i>	-	-	-	11	26
<i>Epithemia turgida</i>	-	14	-	9	-
<i>Eunotia superbidens</i>	24	-	-	-	-
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	-	11	24	-	-
<i>Fragilaria gracilis</i>	-	-	-	-	19
<i>Gomphonema parvulum</i>	-	17	35	-	-
<i>Gomphonema subclavatum</i>	53	35	56	30	39
<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	-	41	-	30	49
<i>Gomphonema johncarterii</i>	-	16	-	-	-
<i>Hannaea arcus</i>	20	16	23	9	24
<i>Hantzschia elongata</i>	3	-	-	-	-
<i>Luticola acidoclinata</i>	-	-	-	-	8
<i>Melosira varians</i>	84	40	55	64	65
<i>Nitzschia dissipata</i>	-	12	-	-	-
<i>Odontium mesodon</i>	-	-	-	-	-
<i>Pinnularia borealis</i>	41	19	45	13	-
<i>Pinnularia notabilis</i>	-	-	-	-	25
<i>Planothidium lanceolatum</i>	-	-	-	33	-
<i>Reimeria sinuata</i>	-	11	21	33	-
<i>Rossithidium pusillum</i>	-	18	-	-	31
<i>Synedra gouldarii</i>	19	12	-	23	-
<i>Ulnaria ulna</i>	20	17	22	-	-
Total de individuos	400	400	400	400	400

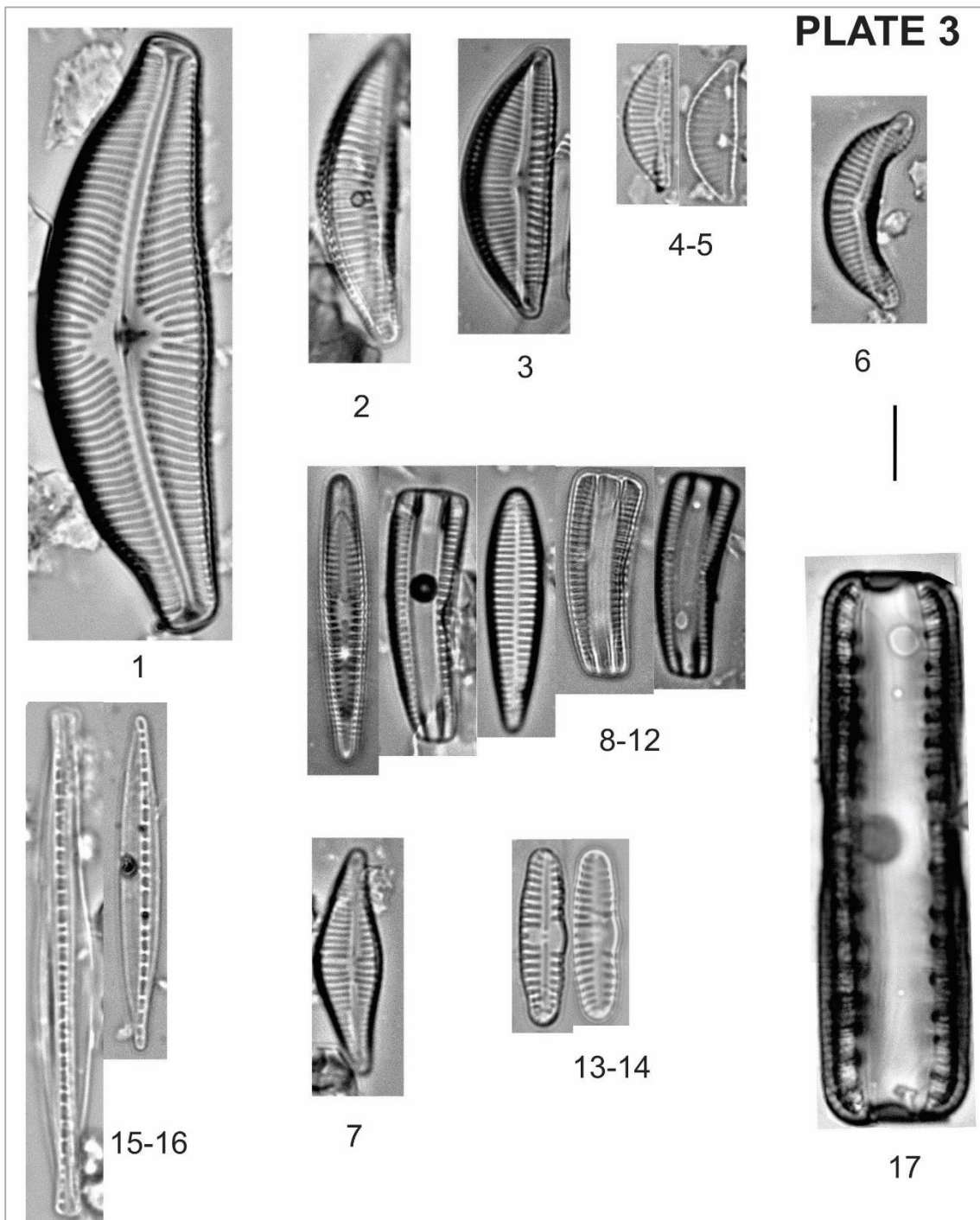
Especies	Muestreo 2 (13/8/2020)				
	P1	P2	P3	P4	P5
<i>Cocconeis euglypta</i>	-	-	38	18	-
<i>Cocconeis placentula</i>	56	37	-	29	-
<i>Cymbella tumida</i>	16	13	14	17	19
<i>Encyonema jordaniforme</i>	-	-	-	11	-
<i>Encyonema minutum</i>	63	32	32	27	42
<i>Encyonema sp1</i>	-	-	-	-	6
<i>Encyonema sp2</i>	-	-	-	-	9
<i>Epithemia adnata</i>	-	-	-	-	20
<i>Epithemia turgida</i>	-	-	-	18	-
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	-	18	28	-	22
<i>Gomphonema parvulum</i>	43	44	25	37	-
<i>Gomphonema subclavatum</i>	52	39	42	29	48
<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	-	-	-	38	47
<i>Hannaea arcus</i>	21	27	27	18	27
<i>Melosira varians</i>	55	58	69	36	54
<i>Nitzschia dissipata</i>	-	-	-	17	-
<i>Pinnularia borealis</i>	25	24	-	18	-
<i>Pinnularia notabilis</i>	4	-	-	-	27
<i>Planothidium lanceolatum</i>	-	-	-	23	-
<i>Reimeria sinuata</i>	-	36	31	20	-
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	36	28	28	21	27
<i>Rossithidium pusillum</i>	-	30	41	23	33
<i>Ulnaria ulna</i>	29	14	25	-	19
Total de individuos	400	400	400	400	400

Especies	Muestreo 3 (23/9/2020)				
	P1	P2	P3	P4	P5
<i>Aulacoseria granulata</i>	-	-	-	21	-
<i>Cocconeis euglypta</i>	54	23	34	-	17
<i>Cocconeis placentula</i>	39	-	-	45	-
<i>Cymbella tumida</i>	23	11	20	18	11
<i>Encyonema jordaniforme</i>	-	-	-	12	-
<i>Encyonema minutum</i>	38	18	39	53	31
<i>Encyonema silesiacum</i>	-	13	-	-	-
<i>Encyonema sp2</i>	-	14	-	-	5
<i>Epithemia adnata</i>	23	-	-	-	-
<i>Epithemia turgida</i>	-	8	-	-	-
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	-	17	27	-	18
<i>Fragilaria gracilis</i>	-	-	-	-	15
<i>Frustulia vulgaris</i>	-	11	-	-	-
<i>Gomphonema parvulum</i>	31	35	33	-	45
<i>Gomphonema subclavatum</i>	70	40	32	47	28
<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	-	32	36	48	35
<i>Gomphonema johncarterii</i>	-	-	-	-	4
<i>Hannaea arcus</i>	19	19	21	20	20
<i>Melosira varians</i>	50	43	47	64	48
<i>Navicula lanceolata</i>	-	-	-	-	11
<i>Navicula radiosa</i>	-	13	-	-	-
<i>Nitzschia dissipata</i>	-	-	-	-	5
<i>Odontium mesodon</i>	-	-	-	-	6
<i>Pinnularia borealis</i>	27	15	-	-	-
<i>Pinnularia notabilis</i>	5	-	-	-	-
<i>Planothidium lanceolatum</i>	-	15	22	-	-
<i>Reimeria sinuata</i>	-	19	25	45	38
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	-	16	27	-	38
<i>Rossithidium pusillum</i>	-	14	24	-	-
<i>Suirella sp1</i>	-	7	-	-	-
<i>Synedra gouldarii</i>	-	-	-	-	25
<i>Ulnaria ulna</i>	21	17	13	27	-
Total de individuos	400	400	400	400	400

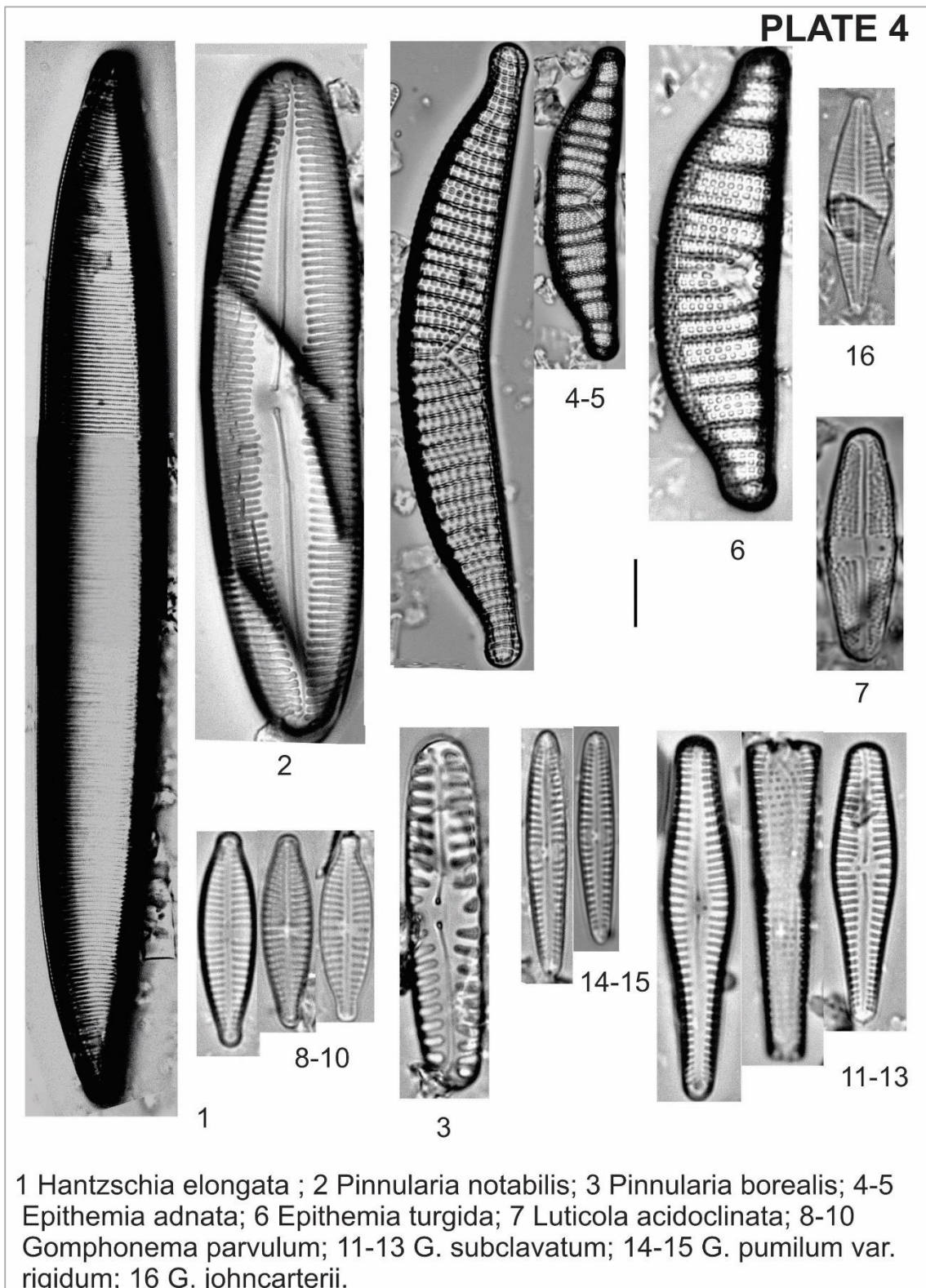
Anexo 7. Especies de diatomeas encontradas a lo largo de la cuenca del río Yanuncay-Plate 1







1 *Cymbella tumida*; 2 *Encyonema* sp1; 3 *E. silesiacum*; 4-5 *Encyonema minutum*; 6 *E.sp2*; 7 *E. jordaniforme*; 8-12 *Rhoicosphenia abbreviata*; 13-14 *Reimeria sinuata*; 15-16 *Nitzschia dissipata*; 17 *Surirella* sp1.



Anexo 11. Matriz de ausencia y presencia de especies.
Se considera (1) para la presencia de diatomeas.

ESPECIES	CÓDIGOS	P1	P2	P3	P4	P5
<i>Aulacoseira granulata</i>	AUGR				1	
<i>Cocconeis euglypta</i>	CEUG	1	1	1	1	1
<i>Cocconeis placentula</i>	CPLA	1	1	1	1	
<i>Cymbella tumida</i>	CTUM	1	1	1	1	1
<i>Encyonema jordaniforme</i>	EJOF				1	
<i>Encyonema minutum</i>	ENMI	1	1	1	1	1
<i>Encyonema silesiacum</i>	ELSE		1			
<i>Encyonema sp1</i>	ENCY					1
<i>Encyonema sp2</i>	ENCY		1			1
<i>Epithemia adnata</i>	EADN	1			1	1
<i>Epithemia turgida</i>	ETUR		1		1	
<i>Eunotia superbidens</i>	ESPB	1				
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	FVAU		1	1		1
<i>Fragilaria gracilis</i>	FGRA					1
<i>Frustulia vulgaris</i>	FVUL		1			
<i>Gomphonema parvulum</i>	GPAR	1	1	1	1	1
<i>Gomphonema subclavatum</i>	GSCL	1	1	1	1	1
<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	GPRI		1	1	1	1
<i>Gomphonema johncarteri</i>	GJOC		1			1
<i>Hannaea arcus</i>	HARC	1	1	1	1	1
<i>Hantzschia elongata</i>	HELO	1				
<i>Luticola acidoclinata</i>	LACD					1
<i>Melosira varians</i>	MVAR	1	1	1	1	1
<i>Navicula lanceolata</i>	NLAN					1
<i>Navicula radiosa</i>	NRAD		1			
<i>Nitzschia dissipata</i>	NDIS		1		1	1
<i>Odontium mesodon</i>	ODME					1
<i>Pinnularia borealis</i>	PBOR	1	1	1	1	
<i>Pinnularia notabilis</i>	PNOT	1				1
<i>Planothidium lanceolatum</i>	PTLA		1	1	1	
<i>Reimeria sinuata</i>	RSIN		1	1	1	1
<i>Rhicosphenia abbreviata</i>	RABB	1	1	1	1	1
<i>Rossthidium pusillum</i>	RPUS		1	1	1	1
<i>Suirella sp1</i>	SURI		1			
<i>Synedra gouldardii</i>	SGOU	1	1		1	1
<i>Ulnaria ulna</i>	UULN	1	1	1	1	1

Anexo 12. Intervención antrópica, presencia de estructura sólida.



PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Dayana Estefania Ayala Matute** portadora de la cédula de ciudadanía N° 0105715668. En calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Uso de diatomeas epilíticas como bioindicadoras de calidad de agua de la cuenca media-baja del río Yanuncay en época seca”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos; Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de marzo de 2021.



Dayana Estefania Ayala Matute