



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA MEDIANTE EL USO DE
DIATOMEAS BENTÓNICAS EN EL TRAMO PADRE CAROLLO-PAUS, DEL
RIO BLANCO. PARROQUIA RIO BLANCO, CANTÓN MORONA,
PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: KARLA PAULINA MERINO SALAZAR

TUTOR: ING. LUIS ALBERTO QUEVEDO BÁEZ PhD

RIOBAMBA- ECUADOR

2018

©2018, Karla Paulina Merino Salazar

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA MEDIANTE EL USO DE DIATOMEAS BENTÓNICAS EN EL TRAMO PADRE CAROLLO-PAUS, DEL RIO BLANCO. PARROQUIA RIO BLANCO, CANTÓN MORONA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO”** de responsabilidad de la señorita Karla Paulina Merino Salazar, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Luis Alberto Quevedo Báez, Ph.D

DIRECTOR DEL TESIS

Ing. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán, Mst

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Sofía Godoy Ponce, Mst

DELEGADO DEL TRIBUNAL

Yo, Karla Paulina Merino Salazar soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Karla Paulina Merino Salazar

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo para plasmar este trabajo de titulación va dedicado a las personas más importantes en mi vida.

A mis padres Mónica y Carlos por todo el tiempo dedicado y la confianza puesta en mí, a mis hermanos Diego y Steban por su cariño incondicional.

A mi esposo Luis por apoyarme e impulsarme a seguir mis sueños, a mi hija Canela que es fuente de inspiración para superarme día a día.

Karla

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios quien ha sido mi guía en los momentos más difíciles de mi camino universitario.

Mi más sincero agradecimiento a mis maestros quienes cultivaron valores y saberes para culminar esta etapa.

A mi familia por su tiempo, cariño y apoyo incondicional.

Karla

TABLA DE CONTENIDOS

	Páginas
<i>RESUMEN</i>	<i>xiv</i>
<i>SUMARY</i>	<i>xv</i>
 CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO	21
1.1. Cuenca Hidrográfica	21
1.1.1. Clasificación de las cuencas hidrográficas	21
1.1.2. Unidades de la Cuenca Hidrográfica	22
1.2. Cuenca hidrográfica como un sistema	23
1.3. Interrelaciones de una cuenca hidrográfica	24
1.3.1. Interrelaciones entre infraestructura Física-Población- Medio Ambiente	24
1.4. La acción antropogénica y los fenómenos naturales en las cuencas hidrográficas	24
1.4.1. Alteraciones de Origen Antropogénico	25
1.4.2. Alteraciones de Origen Natural	27
1.5. Ecosistemas acuáticos	27
1.6. Parámetros fisicoquímicos del agua	28
1.6.1. Potencial de hidrógeno (pH)	28
1.6.2. Oxígeno disuelto	29
1.6.3. Conductividad eléctrica	29
1.6.4. Temperatura del agua	29
1.7. Bioindicadores	30
1.7.1. Diatomeas	30

1.7.2.	<i>Índices de Diatomeas</i>	31
1.7.3.	<i>Ventajas de las Diatomeas como bioindicadores</i>	32
CAPÍTULO II		35
2.	MARCO METODOLÓGICO	35
2.1.	<i>Localización de la investigación</i>	35
2.1.1.	<i>Ubicación geográfica</i>	36
2.1.2.	<i>Características climáticas</i>	36
2.1.3.	<i>Clasificación ecológica</i>	36
2.2.	<i>Materiales</i>	37
2.2.1.	<i>Materiales de campo</i>	37
2.2.2.	<i>Materiales y equipos de oficina e informáticos</i>	37
2.2.3.	<i>Material experimental</i>	37
2.3.	<i>Diseño Experimental</i>	38
2.4.	<i>Metodología</i>	38
2.4.1.	<i>Delimitación del área de estudio</i>	39
2.4.2.	<i>Selección de sitios para muestreo</i>	39
2.4.3.	<i>Parámetros analizados</i>	39
2.4.4.	<i>Recolección de muestras y medición</i>	40
2.4.4.1.	<i>Parámetros Físico Químicos</i>	40
2.4.4.2.	<i>Muestreo de Diatomeas</i>	40
2.4.4.3.	<i>Preservación y preparación</i>	41
2.5.	<i>Cálculo del índice IPS e interpretación de resultados</i>	42
CAPÍTULO III		
3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1.	<i>Calidad de agua</i>	44
3.2.	<i>Análisis físico-químico</i>	45

3.3. Riqueza de diatomeas	46
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

N°	DESCRIPCIÓN	
		Pág.
Tabla 1-2:	Diseño experimental del muestreo.....	38
Tabla 2-2:	Valores de IPS y calidad de agua.....	43
Tabla 1-3:	Índice IPS en los tres puntos de monitoreo en el tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco	44
Tabla 2-3:	Valores de loa análisis Físico Químicos obtenidos en el monitoreo.....	46
Tabla 3-3:	Análisis de Varianza. (Significación: $P < 0,05$ *, $< 0,01$ **, $> 0,05$ NS).....	47
Tabla 4-3 :	Riqueza total de especies de diatomeas e Índices de diversidad calculados.....	48
Tabla 5-3:	Pruebas Post Hoc, HSD Tukey test comparando los entre sitios de estudio (Significación: P < 0,05 *, < 0,01 **, > 0,05 NS). Comparaciones múltiples de la riqueza de organismos/especies en los sitios de estudio.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	DESCRIPCIÓN	
	Pág.	
	Figura 1-1: Unidades de la Cuenca Hidrográfica.....	22
	Figura 1-2: Mapa de ubicación del tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco en la Provincia de Morona Santiago	35
	Figura 1-3: Calidad del agua del tramo Padre Carollo-Paus.....	45

ÍNDICE DE ANEXOS

N°	DESCRIPCIÓN
Anexo A.	Muestreo de diatomeas
Anexo B.	Tratamiento e identificación de las muestras de diatomas
Anexo C:	Individuos colectados
Anexo D:	Comparación de la calidad del agua entre diversos índices
Anexo E.	Principales diatomeas encontradas en el tramo Padre Carollo- Paus

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

°C	Grados centígrados
Sal	Salinidad
TDS	Total de Sólidos Disueltos
CE	Conductibilidad Eléctrica
pH	Potencial Hidrógeno
ppm	Partes por millón
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del Mar
uS	Micro Siemens/cm
P(n)	Punto
R(n)	Repetición
M(n)	Numero de muestreo
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
GADPRB	Gobierno Autónomo Parroquial Río Blanco

RESUMEN

El objetivo fue: determinar la calidad del agua del Río Blanco mediante el uso de diatomeas bentónicas y empleando el Índice Biológico IPS, el cual no condiciona a las características ecológicas y a la dinámica poblacional del tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco en la provincia de Morona Santiago; los sistemas dulce acuícolas es uno de los recursos naturales más importantes para la vida, a pesar de ello estos ecosistemas han sufrido grandes impactos causados principalmente por actividades humanas las cuales afectan directamente la biota acuática y la calidad del agua. Complementariamente se midieron parámetros: fisicoquímicos in situ y se aplicaron índices de biodiversidad como Margalef y Pielou, con tal propósito se identificaron 3 puntos. Para recolectar las muestras se utilizó un sepillo de cerdas suaves realizando tres repeticiones en cada punto de muestreo. En total se registraron 1414 diatomeas distribuidas en 21 especies. No se encontraron diferencias significativas entre la riqueza de las diatomeas. El índice biológico IPS debido a su versatilidad es muy útil para la gestión de la calidad del agua permitiendo una evaluación rápida y acertada, en función a los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Se concluye que las actividades antropogénicas tienen influencia directa en la calidad del agua de la microcuenca. En general el tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco presenta una calidad buena del agua. Es necesario el desarrollo de un índice de calidad biológica para el Ecuador, donde se cubra todo el rango altitudinal y ecosistemático del país, así como las familias de diatomeas comunes en los cuerpos de agua.

Palabras clave: <BIOTECNOLOGÍA >, <CALIDAD DEL AGUA >, <DIATOMEAS>, <BIOINDICADOR>, <BENTÓNICAS>, <INDICES BIOLÓGICOS >, <MORONA SANTIAGO (PROVINCIA)>

SUMMARY

The objective was to determine the water quality of the Río Blanco through the use of benthic diatoms and using the IPS Biological Index, which does not condition the ecological characteristics and population dynamics of the Padre Carollo-Paus del Río Blanco section in the province of Morona Santiago; sweet aquaculture systems is one of the most important natural resources for life, despite these ecosystem have suffered major impacts caused mainly by human activities which directly affect aquatic biota and water quality. In addition, parameters were measured: physicochemical in situ and biodiversity indexes such as Margalef and Pielou were applied, for this purpose 3 point were identified. To collect the samples, a soft bristle was used, performing there repetitions at each sampling point. A total of 1414 diatoms distributed in 21 species were recorded. No significant differences were fund between the diatomaceous richness. The IPS biological index due to its versatility is very useful for the management of water quality allowing a quick and accurate evaluation, based on the results of the physicochemical and microbiological analysis. It is concluded that anthropogenic activities have a direct influence on the water quality of the microbasin. In general, the Padre Carollo-Paus del Río Blanco section presents good water quality. It is necessary to develop a biological quality index for Ecuador, where the entire altitudinal and ecosystem range of the country is covered, as well as the families of common diatoms in the bodies of water,

Keywords: <BIOTECHNOLOGY >, <QUALITY OF WATER >, <DIATOMS>, <BIOINDICADOR>, <BENTÓNICAS>, <BIOLOGICAL INDEX >, <MORONA SANTIAGO (PROVINCE)>

INTRODUCCIÓN

Los ríos constituyen un elemento fundamental en nuestro patrimonio natural y constituyen ecosistemas complejos y dinámicos donde el agua, la flora y la fauna juegan un papel importante en el equilibrio y funcionalidad del ambiente. Los ríos son además considerados hábitats preferenciales para la recreación de la sociedad, protección de la naturaleza y la biodiversidad, control climático y seguridad, todo ello frente a las amenazas naturales como inundaciones y efectos del cambio climático (Vidal & Romero, 2010, p. 15). Sin embargo, estos ecosistemas han sufrido un importante deterioro ecológico desde mediados del siglo pasado debido fundamentalmente a la regulación de los caudales, los encauzamientos, la ocupación de las riberas, la agricultura, la industria y la urbanización ocasionando la destrucción de los cuerpos de agua por medio de la modificación de los componentes del ciclo hidrológico, los volúmenes y calidad del agua (Ordóñez, Benavente & Cañaveras, 2016, p. 4). Como resultado de este deterioro, cerca del 80% de la población a nivel mundial se encuentra actualmente afectada por la degradación de los ríos (Cedeño, 2016, p. 3).

Los ríos en el Ecuador sustentan el desarrollo de numerosas actividades como es el caso de las industrias agrícolas y ganaderas sin tener en cuenta el impacto que estas generan en la estabilidad de los ecosistemas acuáticos causando problemas ambientales como la contaminación de ríos y lagos, disminución de caudales o pérdida de diversidad biológica asociados al agua dulce (Prado, 2015, p. 5).

La provincia de Morona Santiago ha sufrido fuertes perturbaciones de sus ríos a lo largo de los últimos 30 años, principalmente por la actividad minera, así como las aguas residuales de las comunidades, las mismas que han afectado considerablemente la ecología de los ríos, causando alteraciones en la microfauna y la calidad del agua indispensable para el desarrollo agrícola, pecuario, forestal y cultural de la comunidad de la parroquia Rio Blanco. Muchas de las perturbaciones ya sean naturales o antropogénicas afectan el hábitat de las poblaciones de diatomeas (Deley & Santillán, 2016, p. 3) por lo que la presencia de estos organismos se ha convertido en un indicador de las condiciones biológicas de esas aguas.

Las cuencas hidrográficas están caracterizadas por las interacciones geomorfológicas, hidrológicas y biológicas que determinan las poblaciones de diatomeas utilizadas para determinar la calidad del agua (Gil, 2014, p. 5). Los organismos que habitan en los cursos de agua presentan adaptaciones evolutivas (morfológico, fisiológico o etológico) en diversas condiciones ambientales como el amplio rango de tolerancia a contaminantes.

Las diatomeas son el grupo más diverso y dominante de algas en ríos (Smol & Stoermer, 2010), el cual comprende aproximadamente unos 250 géneros y 12.000 especies descritas en la actualidad. Las diatomeas son organismos que presentan una alta sensibilidad a cambios en las características físico químicas del agua (Smol & Stoermer, 2010, Whitton & Kelly, 1995) y han sido ampliamente usadas como bioindicadores de impactos antropogénicos (Chessman et al., 1999, McCormick & Cairns Jr, 1994). En Estados Unidos y Europa, la calidad y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos expresados como su estado ecológico, han sido abordados desde los años 80, y se han desarrollado redes de monitoreo basadas en diatomeas obteniendo óptimos resultados (e.g. Eloranta & Soininen, 2002, Goma et al., 2005, p. 4) sin embargo, en Sudamérica su desarrollo e implementación todavía es incipiente.

JUSTIFICACIÓN

Los ríos del Ecuador son ecosistemas de enorme importancia ecológica económica y social, tanto por ser fuente del recurso hídrico básico para actividades productivas y de subsistencia como por los servicios ecológicos que proporcionan, entre los cuales es posible citar: la mitigación, el mantenimiento de la calidad y cantidad de agua, la recarga de acuíferos, la retención de sedimento, el reciclado de nutrientes, la disponibilidad de hábitat para la biota y el aporte de recursos tróficos para ecosistemas que se encuentran aguas abajo en las cuencas hidrográficas (Villamarín, 2012, p. 13).

A pesar de su relevancia, los ríos del Ecuador, han sido poco estudiados tanto en su ecología como en su alteración frente a impactos antropogénicos; siendo esta ausencia de información uno de los principales problemas tanto para la planificación y el manejo sustentable de los recursos naturales como para la creación de herramientas de predicción futura bajo diferentes escenarios de cambio climático.

La región amazónica es un área de gran importancia ecológica, económica y cultural, la cual cuenta con excepcionales condiciones topográficas que han dado lugar a una amplia biodiversidad y endemismo, siendo, además el territorio habitado por pueblos ancestrales poseedores de una vasta riqueza cultural (Flores et al., 2010, p. 14). Sin embargo, los ecosistemas que componen estas áreas se han visto vulnerados por la influencia de factores como el uso intensivo del suelo y la alteración de los regímenes hidrológicos, lo cual sumado al contexto global de cambio climático, plantea grandes retos en torno a la conservación de este preciado recurso, donde por ejemplo, se estima que bajo escenarios de alta emisión A2 (IPCC, 2007), para el año 2080 se extinguirían o resultarían críticamente dañadas un alto porcentaje de especies animales y vegetales. Además, se prevé que, en países andinos los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas repercutirán directamente sobre el 40% de la población, la cual depende primordialmente de estos recursos (Anderson et al., 2010).

La micro cuenca Rio Blanco incluye tramos que atraviesan las comunidades de Padre Carollo, Rio Blanco y Paus y ha sufrido grandes cambios en el transcurso de los últimos años, siendo los más significativos: la disminución de caudales y extinción de especies de fauna y flora acuática como consecuencia del deterioro de éste ecosistema, aunque las características físicas del agua son de transparencia, presentan materia orgánica y

sólidos en suspensión (PDOT Rio Blanco, 2015). La agricultura y ganadería han sido identificados como los principales factores de contaminación de los recursos hídricos (PDOT Rio Blanco, 2015), lo cual justifica la necesidad de contar con estudios técnicos que permitan evidenciar la calidad del agua en la parroquia Rio Blanco.

OBJETIVOS

GENERAL

- Determinar la calidad del agua de la microcuenca Río Blanco a través del uso de diatomeas bentónicas como bioindicadores.

ESPECÍFICO

- Determinar las diatomeas bentónicas presentes en los tramos de estudio.
- Calcular el Índice de Polusensibilidad Específica (IPS) para calidad del agua.
- Identificar patrones espaciales de las comunidades bentónicas

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Cuenca Hidrográfica

Es todo el territorio compuesto por un sistema hídrico en la cual el agua que proviene de las lluvias se transporta a las zonas bajas mediante drenaje que concentra sus aguas en un colector y este las descarga a otras cuencas o al océano. Esta superficie se encuentra demarcada por la línea divisoria de agua (Breña & Jacobo, 2006, p. 11-12).

Desde el punto de vista hidrológico la cuenca ha sufrido una evolución hasta llegar a una perspectiva integral de la misma en la cual a más de la interacción hidrológica sobresalen otros aspectos ya sean culturales, socioeconómicos, productivos, etc. Los mismos que demarcan al humano como el eje central para el manejo de la cuenca hidrológica (Zury, 2008, p. 10).

Dentro de la cuenca hidrográfica están presentes recursos naturales e infraestructura establecida por el hombre desarrollándose así actividades que generan consecuencias positivas y negativas para el bienestar de sus habitantes. Es así como todos los lugares de la tierra pertenecen a una cuenca hidrográfica (Carrie, 2012, p. 18-23).

1.1.1. Clasificación de las cuencas hidrográficas

La clasificación de las cuencas hidrográficas por categoría ha sido tradicionalmente hecha de acuerdo con la clasificación propuesta por Sánchez (1995). A continuación se mencionan las definiciones más importantes de esta clasificación:

- Microcuenca: área determinada por divorcios de agua, con una superficie menor o igual a 10.000 Ha.
- Cuenca pequeña: área con una superficie mayor a 10.000 Ha., pero menor o igual a 100.000 Ha.
- Cuenca mediana: le corresponde una superficie mayor a 100.000 Ha., pero menor o igual a 500.000 Ha.
- Cuenca grande: es aquella que tiene una superficie mayor de 500.000 Ha, pero menor o igual a 1.000.000 Ha.
- Cuenca muy grande: es la que tiene una superficie mayor a 1.000.000 Ha.

1.1.2. Unidades de la Cuenca Hidrográfica

Las cuencas hidrográficas están compuestas por unidades determinadas que se utilizan para caracterizarlas mejor. En la Figura 2, elaborada por Zury (2008) se muestran las unidades menores que conforman una cuenca hidrográfica.



Figura 1-1: Unidades de la Cuenca Hidrográfica

Fuente (Zury, 2008)

a) Subcuencas: unidades intermedias que poseen entre 150 a 1000 km², donde las aguas superficiales y subterráneas alimentan a las cuencas. Por lo general las componen aquellas cuencas de segundo orden en adelante (Figura 2).

b) Microcuencas: unidades formadoras de la subcuenca, que forman el espacio práctico donde se ejecutan los proyectos diseñados para la cuenca y subcuenca. Varios autores concuerdan que el tamaño de las microcuencas se encuentra entre los 15 y 150 km².

1.2. Cuenca hidrográfica como un sistema

La cuenca hidrográfica como un sistema contenido dentro de otro (el ambiente) y compuesto por las interacciones de los subsistemas biofísico, social y económico cuyo fin principal es producir bienestar a la sociedad que la gobierna. Este bienestar está constituido por la cantidad y calidad de agua, energía, insumos de producción, alimentos, recreación, belleza paisajística y conservación de los recursos, que el sistema de la cuenca hidrográfica pueda producir. De la magnitud en calidad y cantidad de las interacciones de los subsistemas, surgen la dimensión de su cobertura y nivel de complejidad en una cuenca hidrográfica (Londoño, 2001, p. 18).

Una cuenca hidrográfica es un ente que emite y recibe acciones dentro del contexto de tres subsistemas (económico, social y biofísico) los cuales determinan la extensión temporal y compleja de cada situación particular (Batlle & Golladay, 2001, p. 9-10). Este intercambio de efectos internos y externos dentro de una cuenca hidrográfica dificulta definir una cuenca en términos de un solo parámetro. En este sistema abierto existen influencias y dependencias entre y hacia los elementos de los subsistemas lo cual se manifiesta en una dinámica de comportamiento que puede llegar a ser compleja y que obliga a analizarla en forma integral (Londoño, 2001, p. 18).

1.3. Interrelaciones de una cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es una unidad espacial definida por un complejo sistema de interacciones físicas, bióticas, sociales y económicas. La interdependencia de los elementos que constituyen la cuenca hidrográfica es evidente en muchos casos (Londoño, 2001, p. 18).

1.3.1. Interrelaciones entre infraestructura Física-Población- Medio Ambiente

Las interrelaciones en una cuenca hidrográfica también se ponen en evidencia cuando se construyen obras de infraestructura física como cuando se construyen represas, nuevos asentamientos humanos, alcantarillas y otras construcciones para fines múltiples. En el caso de una represa los impactos ambientales y económicos se pueden describir y analizar en la siguiente secuencia: 1) los habitantes del área donde se establece la represa son desplazados a tierras ubicadas aguas arriba o a la planicie de inundación ubicadas aguas abajo. 2) La migración aumenta la presión de la población en zonas marginales y de altas pendientes, incrementando la erosión del suelo, 3) las actividades en las zonas altas (labores agrícolas, forestales, construcción de caminos y de asentamientos) causan erosión en el suelo y contaminación de las aguas, por sedimentos y productos químicos (Londoño, 2001, p. 18) (Pavón, 2015, p. 6). 4). Consecuentemente el deterioro de los ecosistemas genera pérdida de la biodiversidad, así como la invasión de especies exóticas (Pavón, 2015, p. 6).

1.4. La acción antropogénica y los fenómenos naturales en las cuencas hidrográficas

Las relaciones entre la población, el medioambiente y el desarrollo se han analizado desde hace tiempo ya que los problemas ambientales surgen de la interacción entre los procesos naturales y procesos sociales, económicos y culturales (Londoño, 2001, p. 18). Las cuencas hidrográficas son unidades físicas complejas debido a que sostienen

asentamientos humanos y se ven sometidos a los efectos de la actividad antropogénica complicando aún más la situación por la dificultad de reducir la degradación ambiental. Cualquier acción puede acrecentar la vulnerabilidad a los desastres naturales de una cuenca hidrográfica y perjudicar a las poblaciones aledañas. El grado de degradación dependerá del nivel social, de las actividades económicas y productivas prevalecientes, y de las condiciones ecológicas. Es decir, la cuenca hidrográfica puede sufrir alteraciones de su estado natural que pueden ser originadas por la acción del hombre o, bien, debido a fenómenos naturales (Alava, 2009, p. 14-15).

1.4.1. Alteraciones de Origen Antropogénico

El hecho de que muchos de los recursos sean renovables no quiere decir que sean también inagotables. Los excesos de uso de la utilización de estos recursos naturales crean una necesidad de explotación de áreas que satisfagan las demandas del crecimiento económico de las poblaciones humanas como es el caso de los bosques primarios. Los suelos, el agua y los bosques son claros ejemplos de esta realidad, ya que han sido explotados sin dar lugar a una actividad de recuperación. En términos de mercado se puede decir que estamos viviendo del capital y no del interés (Maas, 2003, p. 3).

Las diversas actividades agrícolas, mineras o industriales, así como otras obras de infraestructura física provocan alteraciones en el sistema natural, sobre el suelo, el agua y particularmente el aire. De estos efectos uno de los más importantes es la reducción del área agrícola aprovechable. En términos de superficie y fertilidad gran parte de la cubierta que es extraída modifica su acción protectora frente a la lluvia y con ello la pérdida de suelo. Estos aspectos junto con otros se traducen en dificultades económicas afectan a toda la comunidad presente en la cuenca (Maas, 2003, p. 3-4).

El uso agrícola de los recursos naturales es el más difundido también en los trópicos y su carácter es extractivo debido a la urgencia de atender las necesidades alimenticias de los seres humanos. Dentro de las actividades agrícolas que afectan a la cuenca se encuentra la adecuación del suelo, la utilización de insumos físicos, químicos y mecánicos, el pastoreo, uso de plaguicidas, entre otros. Algunos de los impactos a los

cuales nos vemos afectados por el uso agrícola es la erosión, la compactación, la salinización del suelo y la contaminación del agua (Blackburn *et al*, 1982 en FAO, 1997, p. 33).

La presencia de bosques en buenas condiciones es de gran importancia ya que los bosques albergan un sin número de organismos conviviendo y regulando los flujos de energía por medio de las relaciones interespecíficas, además los bosques proveen de alimento y materia prima, protegen al suelo y son convertidores del dióxido de carbono. Los bosques poseen una alta capacidad de retención de agua por intercepción y retención superficial en la hojarasca que favorece la infiltración del agua en el suelo y la percolación en el subsuelo que en conjunto disminuyen la escorrentía superficial ayudando a mantener y mejorar los estándares de cantidad, calidad y flujo permanente de los sistemas hidrológicos. Las actividades de aprovechamiento maderero de los bosques por lo contrario exponen muchas veces el suelo a la erosión ocasionando una pérdida de la fertilidad del suelo y sus nutrientes e incrementando la escorrentía y la contaminación de los cursos de agua (Londoño, 2001, p. 18).

El desarrollo urbano ejerce gran influencia sobre los ciclos hidrológicos de las cuencas ya que el crecimiento demográfico y los movimientos migratorios son cada vez más intensos. Los procesos urbanísticos son responsables de varios efectos sobre el ambiente tales como: alteración de la composición de la atmósfera, los parámetros hidrológicos de la cuenca, la geomorfología de los cauces y otros cuerpos de agua, así como de las condiciones naturales del suelo. Con respecto a la disposición final de aguas residuales en áreas urbanas la mayoría de los municipios del país la realiza en corrientes superficiales (Londoño, 2001, p. 18).

La minería es una actividad que ya sea subterránea, abiertas o superficial de igual manera afectan en gran escala el ambiente natural de la cuenca. Todos los impactos que esta actividad ocasionan efectos en la fisiología del suelo, agua, aire, la biota y en general de todos los ecosistemas debido a la degradación de los ecosistemas por medio de la destrucción de hábitats naturales (Grimes, 1975 en FAO, 1997, p.22). La minería produce cambios topográficos que alteran completamente el sistema de drenaje de las cuencas especialmente de los cauces de orden inferior (superficie más baja por el que avanza el río). Las actividades mineras en general alteran la composición química ambiental al exponer el suelo a la acción del intemperismo y por la producción de desechos, muchas veces tóxicos (Londoño, 2001, p. 23).

1.4.2. Alteraciones de Origen Natural

Los fenómenos naturales de tipo tectónico, climático, geomorfológico e hidrológico representan elementos que han modelado el paisaje mediante su acción a lo largo de millones de años (Alonso, 2006, p. 6) que generan con mayor o menor probabilidad, riesgos que pueden producir una catástrofe social por causa de un proceso natural. Ante su magnitud e intensidad, las opciones de intervención humana se reducen a la prevención usando métodos de zonificación y de alerta (Londoño, 2001, p 13).

El proceso natural de erosión transporte y sedimentación es un ejemplo claro de esta situación y constituye una forma de adaptación del relieve a una nueva condición de equilibrio. Fenómenos como las erupciones volcánicas y sismos no pueden ser impedidos pero sus efectos pueden mitigarse o reducirse a través de una adecuada planificación territorial (Fernández, 2011, p. 3).

1.5. Ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas acuáticos pueden ser de dos tipos: 1) marinos, si se presentan en las aguas oceánicas; y 2) dulceacuícolas, si estos pertenecen a las aguas continentales dentro de arroyos, ríos o lagos (Roldán, 2009, p. 20).

Como en cualquier otro ecosistema, la vida de los organismos acuáticos depende del intercambio de materia y energía que se presente entre ellos, de los materiales disueltos en el agua y de la temperatura de esta por lo que los factores abióticos influyen mucho en la estabilidad de estos ecosistemas (Fernández, 2011, p. 4).

Las aguas dulces constituyen un hábitat donde viven y se desarrollan gran variedad de seres vivos los cuales dependen del agua para su subsistencia debido al mínimo contenido de sales disueltas. Dentro de las masas continentales se distinguen aguas lénticas o estancadas como las aguas de charcas y pantanos, y aguas lóxicas o corrientes en las que se incluyen los ríos, manantiales, y riachuelos (Bucher, Castro, & Floris, 1997, p. 4-6). La distribución de los ríos en el Ecuador es muy particular debido a su ubicación

geográfica, permitiendo gran biodiversidad en los ecosistemas de las zonas altas y las bajas.

1.6. Parámetros fisicoquímicos del agua

Las principales desventajas de determinar la calidad del agua mediante el uso de métodos fisicoquímicos según Leiva (2004) radica en parte en el costo elevado de estos análisis. La información proporcionada con los resultados de estos análisis es puntual y transitoria. Por otro lado, Roldán (2009) manifiesta que los parámetros a los cuales los organismos muestran más sensibilidad cuando habitan ríos o aguas corrientes son a menudo el pH, el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y la temperatura. Los mismos que pueden ser alterados debido a las alteraciones producidas por los humanos.

1.6.1. Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de Hidrógeno (pH) es una propiedad básica e importante que afecta a muchas reacciones químicas, mide el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia y tiene una amplia aplicación en el campo de las aguas naturales y residuales. Al encontrarse relacionado con la concentración de protones (H^+) sus valores extremos pueden originar la muerte de peces, drásticas alteraciones en la flora y fauna al desnaturalizar mecanismos biológicos, reacciones secundarias dañinas como cambios la solubilidad de nutrientes y formación de precipitados (Allan & Castillo, 2007, p. 14).

El agua de lagos, lagunas y ríos sanos generalmente tiene un pH entre un rango de 6 y 8 en los límites de la neutralidad. Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica que el agua es demasiado básica. La mayoría de los peces tolera el agua con pH entre 6 y 9 mientras que los peces más robustos y fuertes generalmente mueren en rangos de pH más bajos y más altos a su rango de tolerancia (Allan & Castillo, 2007, p. 15).

1.6.2. Oxígeno disuelto

Es la cantidad de oxígeno libre en el agua que no se encuentra combinado ni con el hidrógeno (formando agua) ni con los sólidos existentes en el agua. La determinación de oxígeno disuelto es importante en el control de aireación y el tratamiento de aguas y se mide en miligramos sobre litro (mg/L), en partes por millón (ppm) y en porcentaje (%) de saturación (Sierra, 2011). El Oxígeno Disuelto (OD) es un parámetro crítico para caracterizar la salud de un sistema acuático. Esta es una medida del oxígeno disuelto en el agua el cual es aprovechable para los peces y otros organismos acuáticos (Corbet, 1999, p. 4).

El contenido de OD resulta de las actividades fotosintéticas y respiratorias de la flora y fauna en el ecosistema, y la mezcla de oxígeno atmosférico con aguas a través del viento y la acción de la corriente del arroyo (MacDonald et al, 1991, p. 7-8).

1.6.3. Conductividad eléctrica

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas (electrolitos) en agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad (Vernon, 1985, p. 12).

1.6.4. Temperatura del agua

La temperatura del agua regula en forma directa la concentración de oxígeno, la tasa metabólica de los organismos acuáticos y los procesos vitales asociados como el crecimiento, la maduración y la reproducción (Jill et al., 2003, p. 10-12).

Las altas temperaturas pueden causar daños a la flora y fauna acuática al interferir con la reproducción de las especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización (Portuguez et al., 2013, p. 8-9).

1.7. Bioindicadores

Es aquel organismo que nos permite cuantificar y calificar el nivel y la evolución de la contaminación presente en un determinado ecosistema, gracias a su sensibilidad diferencial a diversas sustancias contaminantes (Corbet, 1999,p.12). Entre los principales bioindicadores tenemos a las algas fitobentónicas, y dentro de este grupo las diatomeas las cuales, gracias a una serie de características que las convierten en organismos idóneos para su uso como indicadores ecológicos. El uso de las comunidades de diatomeas para el establecimiento de la calidad biológica del medio en que se desarrollan es un método relativamente reciente, en comparación con el estudio de otras comunidades bióticas para este fin, que se remonta a casi un siglo (Arango et al, 2008, p. 17).

1.7.1. Diatomeas

Son algas microscópicas, unicelulares y eucariotas, que forman parte de la microflora béntica y perifítica de los medios acuáticos, compuestas en un 60% de sílice (SiO₂), ya que la célula se encuentra protegida por un caparazón silicio llamado frústulo que le confiere gran dureza y resistencia (Fonseca et al, 2017, p. 8). El frústulo se compone de dos mitades que encajan entre sí llamadas tecas, la superior (epiteca) es siempre mayor y envuelve parcialmente a la inferior (hipoteca), cada teca se forma por una valva y un cíngulo (Lanza et al, 2011, p. 4).

En la valva se desarrollan toda una serie de ornamentaciones que permiten la identificación taxonómica, en muchas especies la valva está atravesada por un delgado surco llamado rafe, que atraviesa la teca hasta el protoplasto, la locomoción de las células es posible gracias a la hendidura del rafe, ya que bajo ella se halla un orgánulo en forma de cinta, formado por fibrillas, que puede contraerse rítmicamente. Este orgánulo provoca la secreción en los poros terminales de una sustancia adhesiva que se desplaza a través de la hendidura. Perpendiculares al rafe, se encuentran varias series de líneas de perforaciones llamadas areolas, la sucesión de éstas en cada línea forma una estría (Lanza et al, 2011, p. 4). Colonizan todos los medios acuáticos formando una parte

importante del fitoplancton, aunque también pueden vivir fijas a substratos o depositadas sobre los fondos.

1.7.2. Índices de Diatomeas

Las diatomeas son el grupo más diverso de las micro algas bentónicas, suelen constituir el 80-90% de la comunidad del perifiton, dada su gran diversidad, su carácter cosmopolita y su gran sensibilidad a la contaminación, los índices bióticos de diatomeas bénticas, son entre los indicadores biológicos vegetales, los más utilizado en Europa. Tienen como ventaja adicional la buena manipulación y conservación de las muestras, lo que se debe, en parte, al esqueleto de sílice el frústulo de elevada resistencia y cuyas características morfológicas son la base de la identificación de las especies. Los frústulos que están formados por dos valvas, se acumulan en los sedimentos lacustres y pueden ser analizados en estudios paleolimnológicos (Lanza et al, 2011, p. 6).

Las variaciones estacionales y anuales de las condiciones ambientales determinan las fluctuaciones de las poblaciones de estas algas, cuyo desarrollo depende de la temperatura, la intensidad luminosa, las características hidráulicas y las características físico químicas de las aguas.

Existe una amplia variedad de índices de diatomeas (Ector & Rimet, 2005), diseñados por diferentes autores (IPS, CEMAGREF 1986; IBD, Prygiel y Coste, 1998; CEE, H. Lange-Bertalot, 1979; LMI, Leclercq y Maquet, 1987; SLA, Sládecek, 1973; EPI-D, Dell'Uomo, 2004; ROTT, Rott et al., 1997, 1999, 2003). Todos suelen basarse en combinaciones entre la abundancia relativa y el grado de sensibilidad (tolerancia) de un grupo de taxones seleccionados (en general especies). Prygel et al. (1999), Whitton y Rott (1996) y Whitton et al. (1991) describen y evalúan muchos de los índices utilizados actualmente. Muchos de estos se han desarrollado para usarlos en un área geográfica concreta, aunque comprobaciones posteriores han demostrado que algunos tienen una validez más amplia (Lanza, et al, 2011, p. 12).

En Francia, las Agencias del Agua y el CEMAGREF de Burdeos han elaborado un programa informático (OMNIDIA) que permite el cálculo de un número elevado de

índices. Este programa está sometido a sucesivas actualizaciones que permiten la incorporación de nuevas especies y nuevos índices.

Índice IPS (Índice de Polusensibilidad Específica): Se calcula sobre la base de las medias ponderadas de los valores de sensibilidad a la contaminación (S_j), Valor indicador de contaminación (V_j) y Abundancia relativa de la especie j :

$$IPS = \frac{\sum A_j * S_j * V_j}{\sum A_j * V_j}$$

1.7.3. Ventajas de las Diatomeas como bioindicadores

Según la Confederación hidrográfica del Duero, el uso de diatomeas como indicadores de la calidad del agua en sistemas fluviales presenta diversas ventajas como las siguientes:

Las diatomeas pueden estar presentes en prácticamente todos los sistemas acuáticos, desarrollándose en una gran variedad de formas vitales (planctóflicas, coloniales, perifíticas, etc.), por lo que pueden ser empleadas como bioindicadores virtualmente en todo ecosistema en el que el agua forme parte del biotopo.

1.7.3.1. Cosmopolitanismo

La distribución de las diatomeas es prácticamente mundial, hallándose desde los polos hasta las regiones desérticas, tanto en aguas dulces como en mares, aguas salobres, termales e hipersalinas, bajo un amplio rango de condiciones ambientales (Lanza et al, 2011, p. 14-15).

1.7.3.2. Bajo grado de endemismo

Existe una gran mayoría de especies que aparecen con abundancia en todo el planeta, de forma que muchos índices diatomológicos tienen aplicabilidad universal, lo que permite

estudios comparativos entre regiones diferentes, que en otros casos son inviábiles (Lanza et al, 2011, p. 14-15).

1.7.3.3. *Sensibilidad*

Las diatomeas, al formar parte de los productores primarios en los sistemas acuáticos, son altamente sensibles a los cambios en la naturaleza química del medio, en particular a la concentración de nutrientes (P, N, Si) y a la presencia de contaminantes. Al estar constantemente en contacto con el agua, reaccionan de forma altamente específica a las alteraciones ambientales de los ecosistemas en los que se desarrollan (Lanza et al, 2011, p. 14-15).

1.7.3.4. *Diversidad*

Sólo en las aguas dulces existen decenas de miles de especies, subespecies, variedades y formas descritas, cada una de ellas con sus propios rangos de tolerancia frente a una gran variedad de factores ambientales (Lanza et al, 2011, p. 14-15).

1.7.3.5. *Precisión estadística*

Los índices diatomológicos más usuales se basan en la identificación de un mínimo de 200 individuos por muestra. Esto hace que el error cometido en la estimación de la composición de la comunidad sea inferior al 10% en todos los casos, lo que supone una mayor fiabilidad y precisión de estos métodos desde el punto de vista estadístico (Lanza et al, 2011, p. 14-15).

1.7.3.6. *Ciclos vitales*

Las diatomeas presentan ciclos vitales cortos y homogéneos y, al ser microorganismos unicelulares, se reproducen con rapidez en respuesta inmediata a eventuales cambios en condiciones del medio. La composición de la comunidad de diatomeas en cada punto integra, por tanto, la calidad biológica del agua durante determinados periodos de

tiempo, y no sólo la condición puntual que reflejaría un análisis físico-químico (Lanza et al, 2011, p. 14-15).

1.7.3.7. *Facilidad de muestreo*

Las diatomeas pueden muestrearse en cualquier tramo fluvial, sobre una gran variedad de sustratos (sin que esto condicione significativamente la naturaleza de la comunidad de diatomeas) tanto naturales como artificiales, con un esfuerzo en tiempo y material mínimos (Lanza et al, 2011, p. 14-15).

1.7.3.8. *Facilidad de tratamiento, procesado y almacenaje*

El tratamiento necesario para la obtención de preparaciones microscópicas es relativamente sencillo y barato (Lanza et al, 2011, p. 14-15).

1.7.3.9. *Estudios temporales*

Al contrario que otros organismos, las diatomeas, más específicamente los frústulos o cubiertas silíceas, sobre los que se basa su taxonomía, son prácticamente inalterables en el tiempo y se pueden recuperar en estado fósil o subfósil de estratos y sedimentos fluviales y lacustres (Lanza et al, 2011, p. 14-15).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Localización de la investigación

La presente investigación se realizó en el tramo Padre Carollo- Paus del Río Blanco, ubicado en la parroquia Río Blanco, cantón Morona, provincia de Morona Santiago.

UBICACIÓN PARROQUIA RIO BLANCO

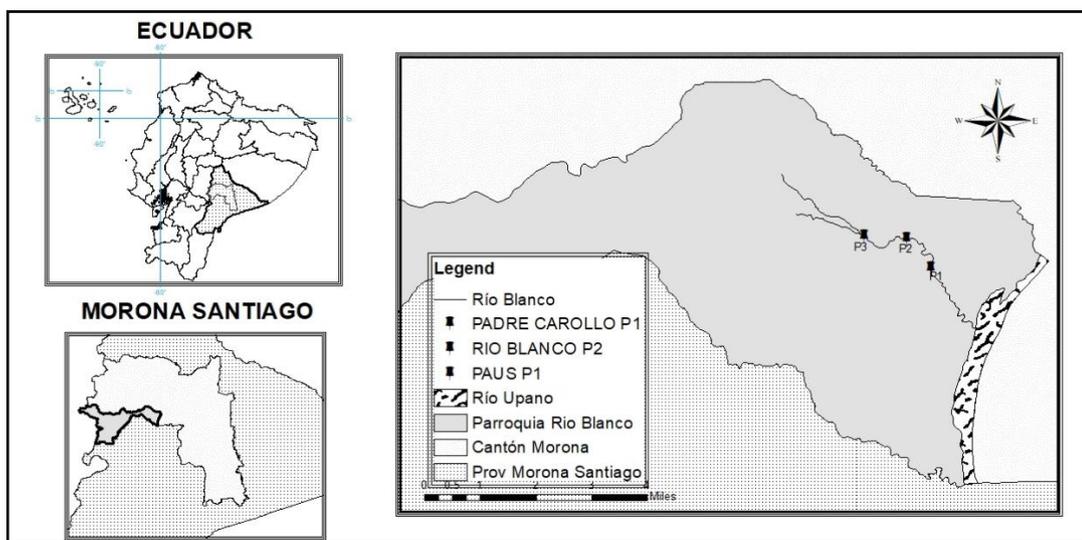


Figura 1-2: Mapa de ubicación del tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco en la Provincia de Morona Santiago

Realizado por: Karla Merino

2.1.1. Ubicación geográfica

Según el plan de Ordenamiento territorial la parroquia Río Blanco OTPRB (2015), la ubicación geográfica es la siguiente:

Latitud: 00°59'05'' S

Longitud: 77°48'50'' W

Altitud: 100-1400 msnm

2.1.2. Características climáticas

Según el plan de Ordenamiento territorial OTPRB (2015) la parroquia Río Blanco tiene las siguientes características climáticas correspondientes a un Clima Húmedo Sub Tropical:

Temperatura media anual: 22 °C

Humedad relativa anual: 68%

Precipitación anual: 156,5-271,1 mm

Evapotranspiración: 87,25 mm/mes – 124,59 mm/mes

2.1.3. Clasificación ecológica

La localidad de acuerdo con la clasificación de las zonas de vida (MAE, 2012) corresponde a la formación Bosque Siempreverde Montano Bajo (BSVMB). Esta formación se caracteriza por una compleja vegetación densa y de estructura compleja que se encuentra influenciada por el descenso de la temperatura y una humedad atmosférica creciente. La altura de dosel puede alcanzar los 25 a 30 m, en esta faja de vegetación la mayoría de las especies, al igual que familias enteras de árboles características de las tierras bajas desaparece. (Ministerio del Ambiente del Ecuador , 2012).

Las especies más comunes que se encuentra en estas áreas son: *Pitcairnia bakeri* (BROMELIACEAE), *Alchornea pearcei* (EUPHORBIACEAE), *Cyathea cuspidata* (CYATHEACEAE), *Heliconia Hirsuta* (HELICONIACEAE) *Minuartia guianensis* (OLACACEAE), *Llex guayusa* (AQUIFOLIACEAE), *Ocotea amazónica* (LAURACEA), *Bactris gasipaes* (ARECACEAE), *Carica quercifolia* (CARICACEA), *Cedrelinga carenaeformis* (FABACEAE) (Ministerio del Ambiente del Ecuador , 2012).

2.2. Materiales

2.2.1. Materiales de campo

Para la recolección de las muestras de diatomeas a lo largo de la zona de estudios se utilizaron los siguientes materiales: envases plásticos de 50 ml de capacidad, alcohol 96% (etanol), cepillo dental, cinta plástica, esferos, libreta de campo, pinzas.

2.2.2. Materiales y equipos de oficina e informáticos

Los equipos utilizados tanto en el trabajo del monitoreo en el campo como en el análisis de los datos obtenidos se detallan a continuación: computadora, Impresora, Flash memory, Libreta de campo, Lápiz/esfero, Cámara fotográfica, GPS Garmin 62 sc, Calculadora, equipo multiparámetros, estereoscopio. (Véase más detalles en anexos).

2.2.3. Material experimental

- Individuos colectados, Bioindicadores.
- Muestras de agua, Análisis Físicoquímicos.

2.3. Diseño Experimental

Se determinaron 3 puntos de monitoreo a lo largo del tramo del Río Blanco: Paus, Río Blanco y Padre Carollo que se extiende desde los 1258 m a los 1757m de altura (Figura 2-2). En cada uno de los sitios de muestreo se realizaron tres réplicas (tres mediciones). Los detalles de estas campañas de muestreo se detallan en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Diseño experimental del muestreo

PUNTO MUESTREO	LATITUD	LONGITUD	ALTURA (m)	N° de repeticiones	Fecha
PAUS	815868	9740261	1258	3	3 /21/2018
RIO BLANCO	815132	9741417	1697	3	3/21/2018
PADRE CAROLLO	813540	9741605	1757	3	3/21/2018

Realizado por: Karla Merino, 2018

2.4. Metodología

La investigación se realizó con la finalidad de evaluar la calidad hídrica de la microcuenca del Río Blanco. Los datos empleados en la investigación fueron cualitativos y cuantitativos, se registró información como presencia de poblaciones de diatomeas, accesibilidad y características específicas de cada sitio de muestreo.

El muestreo se realizó bajo la norma española UNE- EN 13946: Guía para el muestreo en rutina y pretratamiento de diatomeas bentónicas de ríos (AENOR 2004).

Este protocolo exige considerar preferentemente tramos con corriente, ya que las muestras recogidas en zonas lénticas o situadas río abajo de los embalses, contienen frecuentemente especies planctónicas o células muertas procedentes de cursos superiores que no se corresponden con la comunidad de diatomeas característica de ese punto.

Para obtener información y datos necesarios para lograr la determinación de aspectos climáticos en la zona de estudio se recurrió a fuentes secundarias que incluye el acceso a información en la red y documentos otorgados por el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Río Blanco (GADPRB); que contienen la información más actualizada que corresponde al año 2015.

2.4.1. Delimitación del área de estudio

Para georeferenciar el área se utilizó un GPS. Los puntos geográficos obtenidos durante el recorrido se usaron para construir el mapa de la zona de estudio.

2.4.2. Selección de sitios para muestreo

Se establecieron puntos de monitoreo en la zona alta correspondiente al tramo Padre Carollo, en la parte intermedia tramo Río Blanco y en la parte más baja que corresponde al tramo Paus.

Para la determinación de los puntos de monitoreo fue necesario considerar:

- Accesibilidad de la zona
- Flujo regular del agua, lugares de predominación rocosa tipo rocas, grava, hojarascas y sustratos.
- Los puntos seleccionados en el río corresponden a tres tramos denominados Paus (P1), Río Blanco (P2) y Padre Carollo (P3), representan una muestra adecuada para la recolección de datos debido a que son zonas con y sin influencia antropogénica que permiten la evaluación de la zona.

2.4.3. Parámetros analizados

Se realizó el análisis de ciertos parámetros fisicoquímicos *in situ* con el fin de tener información de datos básicos del Río Blanco, mediante un equipo multiparámetros. Los datos monitoreados en los sitios de muestreo en cada caso fueron:

- Temperatura - °T (Grados Centígrados, °C)
- Salinidad – Sal (Partes por millón, ppm)
- Conductividad Eléctrica - CE (Micro Siemens, Us/cm)
- Total de sólidos disueltos - TDS (Partes por millón, ppm)
- Potencial Hidrógeno - pH

2.4.4. Recolección de muestras y medición

2.4.4.1. Parámetros Físico Químicos

Se procedió a registrar las variables fisicoquímicas *in situ* con la ayuda de un equipo multiparámetros impermeable Premium PC60 de marca Apera el cual realiza mediciones de °T, pH, CE, TDS y Salinidad. Para la recolección de las muestras se lavó previamente el envase, se recogió el agua en la mitad del cuerpo de agua y en dirección opuesta a la corriente, la medición fue directa en el campo con la muestra recolectada en cada punto de monitoreo. Se sumergió el medidor multiparámetros en la muestra con el fin de que la sonda esté en contacto con el agua, esperamos la estabilización de los valores y se registró en las hojas de campo (ver Anexo 3)

2.4.4.2. Muestreo de Diatomeas

Para el muestreo se realizó el raspado con un cepillo de dientes, de rocas o piedras sumergidas, de 10-20 cm de diámetro, que fueron obtenidas en zonas del río bien iluminadas y con corriente, situadas en el punto medio del lecho fluvial (Anexo 1) mediante la cual se exploró la zona de muestreo, abarcando cada hábitat presente.

Se realizó un barrido corriente arriba para caracterizar la biodiversidad del lugar en particular, este muestreo se realizó tres veces en cada punto de monitoreo (P1, P2, P3).

2.4.4.3. Preservación y preparación

Posterior a esta recolección se depositó las muestras representativas en envases para su conservación a fin de detener la división celular y la descomposición de la materia orgánica, mediante formaldehído tamponado o etanol, con una concentración final en la muestra de 96%. Una vez en el laboratorio se procedió al tratamiento químico de la muestra con peróxido de hidrógeno (120 vol.) que provocó la digestión de la materia orgánica y permitió obtener suspensiones de frústulos y valvas limpias de restos orgánicos.

El proceso se realizó a una temperatura de 70- 90⁰ C, para conseguir acelerar la reacción. Se añadieron 2 gotas de ácido clorhídrico (1 M) para eliminar las inclusiones de carbonato cálcico, que podrían precipitar y dificultar el estudio de la muestra.

Posteriormente, para concentrar las diatomeas de la muestra y eliminar el peróxido de hidrógeno, se realizaron sucesivas decantaciones, retirando en cada una de ellas el sobrenadante y administrando en su lugar agua destilada. Una vez concluido este proceso, se extrajo con una pipeta unas gotas de la muestra homogénea y se depositaron en un cubre- objetos, dejando que se seque a temperatura ambiente. Tras la evaporación del agua, los frústulos de las diatomeas quedan sujetos en el cubre- objetos. Usando una resina sintética (Naphrax®) con un índice de refracción óptica de 1,7, se fijó a un portaobjetos de vidrio, todas ellas debidamente etiquetadas.

Concluido el montaje de las preparaciones microscópicas, se procedió a la identificación taxonómica hasta el nivel de especie mediante el protocolo Blanco et al. (2011) y la guía *Diatoms of North America*. Para el recuento e identificación de las diatomeas se utilizó un microscopio OLYMPUS BX61 compuesto.

A partir de las muestras preparadas se procedió a contar los frústulos, que en el caso de éste sistema lótico estudiado fueron 200 valvas. Estas resultan suficientes para obtener una buena representación de las especies que al menos reúnen una numerosidad superior al 5%. A partir de los datos obtenidos se establecieron las abundancias relativas de los taxa identificados.

2.5. Cálculo del índice IPS e interpretación de resultados

La identificación taxonómica de las diatomeas se la realizó hasta el nivel de especie. La identificación de los individuos fue en base de la morfología de estos organismos mediante la guía Blanco et al. (2011) y la guía Diatoms of North America.

El índice IPS se calcula sobre la base de las medias ponderadas de los valores de sensibilidad a la contaminación (S_j), valores de tolerancia a la contaminación (V_j) y la abundancia relativa de cada especie.

La fórmula para obtener el valor del índice es:

$$IPS = \frac{\sum A_j * S_j * V_j}{\sum A_j * V_j}$$

Abreviatura

A_j = Abundancia relativa de la especie j

S_j = Valor de sensibilidad de la especie j

V_j = Valor de tolerancia de la especie j

Una vez obtenidos los valores de los productos de las abundancias relativas de cada una de las especies por sus correspondientes valores de indicación y tolerancia se calcularon el sumatorio, cuyo resultado se divide por el sumatorio de las abundancias de las especies multiplicadas por los valores de tolerancia. Este dato se pondera por medio de los coeficientes indicados en la fórmula.

Con la puntuación del índice IPS obtenida según el procedimiento descrito en el punto anterior, se procedió a determinar el estado / potencial ecológico de la masa de agua.

Para ello se tomó en cuenta las condiciones de referencia y los valores frontera de estado ecológico establecidos legalmente para el indicador IPS en el tipo de masa de agua que corresponda.

Los valores del IPS propuestos para delimitar las diversas clases que califican la calidad del agua se presentan en la Tabla 2 - 2.

Tabla 2-1: Valores de IPS y calidad de agua

IPS	CALIDAD DEL AGUA	COLOR
17	MUY BUENA	AZUL
15-17	BUENA	VERDE
12-15	MODERADA	AMARILLO
9-12	MALA	NARANJA
<9	MUY MALA	ROJO

Fuente: Lanza et al (2011) (c)

Realizado por: Karla Merino, 2018

Para cuantificar y comparar la diversidad de diatomeas en el área de estudios se utilizaron además índices de diversidad tales como: índice de Margalef y Pielou calculados mediante el paquete estadístico Primer-E. Las diferencias de riquezas fueron calculadas por medio de análisis de varianza (ANOVA una vía) en el que se usó como factor cada punto muestreado. Para detectar diferencias entre los puntos y campañas de muestreo se realizó una prueba de Tukey con probabilidad de $p=0,05$ calculado con el programa estadístico SPSS.

Mediante el programa informático OMNIDIA permitió el cálculo de un número elevado de índices para evaluar la valorar la calidad del agua del Río Blanco.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Calidad de agua

La calidad del agua en los tres puntos del tramo del río analizados con el índice IPS mediante el programa Omnidia, mostraron un estatus de aguas ligera y moderadamente contaminadas como se muestra en la Tabla 3-3 y en el gráfico3-3.

En general la calidad del agua del Río Blanco es buena, debido a las pocas alteraciones actuales, en el caso de Paus y Rio Blanco son las zonas más bajas del muestreo en donde es probable que cualquier alteración se presente en estos puntos, es decir, aguas abajo.

Tabla 1-2: Índice IPS en los tres puntos de monitoreo en el tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco

TRAMO	IPS	CALIDAD	COLOR
PAUS	16.03	Buena	
RIO BLANCO	14.9	Buena	
PADRE CAROLLO	17.6	Muy Buena	

Realizado por: Karla Merino, 2018

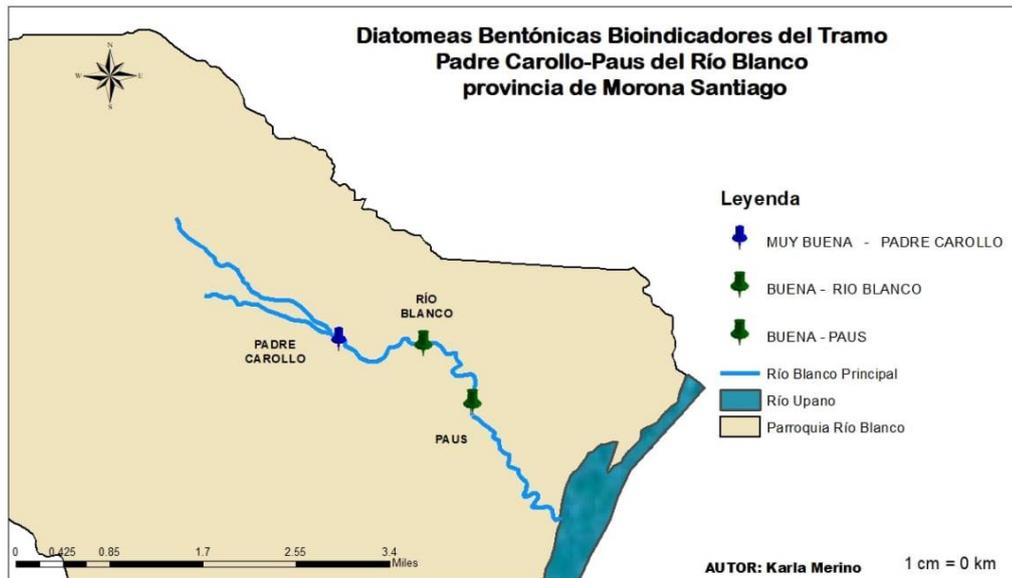


Figura 1-3: Calidad del agua del tramo Padre Carollo-Paus

Elaborado por: Karla Merino, 2018

Los puntajes asignados para cada calidad de agua según Prat y Munné (1999), citado en Roldán (2003) deben ajustarse de acuerdo con las condiciones geológicas de la pendiente, de altura y del sustrato de las corrientes en cada región. La metodología debe asociarse para cada región con el fin de obtener cada vez resultados más confiables.

3.2. Análisis físico-químico

Los resultados de los análisis Físico Químicos in situ de las tres campañas de muestreo detallados en la Tabla 3-4 muestran valores de pH que oscilan entre los 8,2 (P2) y 8,52 (P1), lo que significa que el agua de los puntos de muestreo llega a ser un poco alcalina. La conductividad eléctrica para los sitios de estudio fue similar en P2 y P3 (Tabla 3-6) con valores cercanos a 179,3 μS (P3), mientras que se determinó el valor más alto de 209,8 μS (en P1). La temperatura osciló entre 21,9°C (P2) y 22,5°C (P3) con variaciones leves entre los sitios., mientras que el total de sólidos disueltos alcanzó un valor máximo en P1 mostrando 133 ppm. Sin embargo, existen pequeñas diferencias en salinidad y conductividad, concluyendo que las variaciones en los tres sitios de estudio son mínimas.

Tabla 2-3: Valores de los análisis Físico Químicos obtenidos en el monitoreo

PUNTO	TRAMO	pH	CE (μS)	T ($^{\circ}$C)	Sal (ppm)	TSD (ppm)
P1	Paus	8,52	209,8	22,0	0,09	133
P2	Rio Blanco	8,2	173,7	21,9	0,1	123,4
P3	Padre Carollo	8,3	179,2	22,5	0,1	129,6

Realizado por: Karla Merino, 2018

Las diferencias observadas especialmente en el P1 correspondiente al tramo Paus podrían estar relacionadas a la presencia de mayor población humana cerca por lo cual existe mayor impacto en esta zona. El total de sólidos disueltos depende de la concentración de sales minerales y está directamente relacionados con la capacidad del agua para conducir corriente (CE) por lo que al existir un aumento de temperatura más alta será la conductividad eléctrica (Barrionuevo *et al.* 2007, p. 12), permitiendo constatar que existe un impacto directamente relacionado con el asentamiento humano presente cerca de la zona.

3.3. Riqueza de diatomeas

Respecto a la riqueza basada en diatomeas, no existieron diferencias significativas entre los puntos de monitoreo ($p > 0.05$) indicados en la Tabla 5-3. Sin embargo, las variaciones entre cada uno de los puntos registradas en este estudio pueden estar relacionadas con la diversidad de los sitios de muestreo (por ejemplo: el tipo de sustrato, intervención humana, etc.) (González *et al.* 2012, p.4).

Tabla 3-3: Análisis de Varianza. (Significación: $P < 0,05$ *, $< 0,01$ **, $> 0,05$ NS)

ANOVA					
RIQUEZA					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	69,556	2	34,778	2,746	,142
Dentro de grupos	76,000	6	12,667		
Total	145,556	8			

* = Significativo, ** =Altamente Significativo, NS= No Significativo

Realizado por: Karla Merino, 2018

Con respecto a los índices calculados, la diversidad estimada con el índice de Pielou, el cual mide la proporción de la diversidad con relación a la máxima diversidad esperada y muestra su significancia por medio de un valor estimado entre 0 a 1. Los valores de las muestras en este estudio varían entre 0,8 y 0,9 en todos los puntos de muestreo (Tabla 6-3) lo que representaría que todas las especies son igualmente abundantes. En comparación con el índice de diversidad de Margalef, valorado en una escala de 1 a 5, los valores que estén por debajo del 2 suelen hacer referencia a ecosistemas con poca biodiversidad y a 5 con mucha biodiversidad. Éste índice mostró que P1 correspondiente al tramo de Paus posee muy baja diversidad, comparado con P2 y P3 en Río Blanco y Padre Carollo donde se encontró mayor biodiversidad. Sin embargo, la diferencia en diversidad de estos puntos de muestreo no es significativa ni considerable, es decir en general los tres puntos poseen diversidades estables (Tabla 6-3).

Tabla 4-3: Riqueza total de especies de diatomeas e Índices de diversidad calculados

TRAMO	PUNTOS	RIQUEZA (S)	TOTAL INDIVIDUOS (N)	MARGALEF	PIELOU
PAUS	P1R1	10	64	2,94	0,89
	P1R2	16	200	3,69	0,94
	P1R3	5	48	2,27	0,98
RIO BLANCO	P2R1	18	226	3,78	0,92
	P2R2	18	264	3,69	0,87
	P2R3	14	208	3,13	0,87
PADRE CAROLLO	P3R1	11	204	3	0,87
	P3R2	10	33	2,98	0,9
	P3R3	13	167	3,17	0,86

Realizado por: Karla Merino, 2018

Adicionalmente mediante una prueba Post Hoc (utilizando una prueba de HSD Tukey) no se identificó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los sitios de muestreo, lo cual podría deberse a que existe una fuerte relación entre la riqueza biológica y la calidad del agua, los cuales en este estudio fueron similares entre los sitios de muestreo (Tabla 7-3).

Tabla 5-3: Pruebas Post Hoc, HSD Tukey test comparando los sitios de estudio (Significación: $P < 0,05$ *, $< 0,01$ **, $> 0,05$ NS). Comparaciones múltiples de la riqueza de organismos/especies en los sitios de estudio.

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: RIQUEZA						
HSD Tukey						
(I) PUNTO	(J) PUNTO	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
PAUS	RIO BLANCO	-6,33333	2,90593	,154	-15,2495	2,5829
	PADRE CAROLLO	-1,00000	2,90593	,937	-9,9162	7,9162
RIO BLANCO	PAUS	6,33333	2,90593	,154	-2,5829	15,2495
	PADRE CAROLLO	5,33333	2,90593	,237	-3,5829	14,2495
PADRE CAROLLO	PAUS	1,00000	2,90593	,937	-7,9162	9,9162
	RIO BLANCO	-5,33333	2,90593	,237	-14,2495	3,5829

* = Significativo, ** = Altamente Significativo, NS = No Significativo

Realizado por: Karla Merino, 2018

El sustrato está relacionado con la presencia de ciertos organismos. Los estudios realizados por Jiménez, (2005) demuestran una relación positiva entre los sustratos y la diversidad de los grupos encontrados en las muestras colectadas tienen a agruparse significativamente según este factor en el que determinó que en ésta área de estudio hubo una mayor dominancia de individuos bivalvos y gasterópodos en zonas arenosas en agua moderadamente limpias y su menor frecuencia de aparición en sustratos rocosos. A pesar de que en este estudio no se determinó si algún sustrato identificado tuvo mayor dominancia se observa que cumple un patrón de abundancia y calidad de agua de acuerdo al sustrato identificado.

Los sólidos totales disueltos se encuentran directamente relacionados con la turbidez la cual puede ser provocada por efecto de la erosión de las riberas de los ríos debido a la deforestación de los bosques ribereños (Jacobsen 1998 en Reenberg y Moller Pedersen 1998, pp. 12) y que representa un problema a los ecosistemas acuáticos al restar el ingreso de luz solar provocando disminución de la producción primaria, así como la sedimentación de partículas que pueden destruir los hábitats acuáticos. Probablemente, en P2 y P3 correspondiente al tramo de Río Blanco y Padre Carollo al contar con un menor número de habitantes alrededor de la zona existe un menor grado de influencia en la degradación de los bosques de ribera, resultando así menor probabilidad de erosión y mayor concentración de individuos acuáticos y terrestres.

El presente estudio fue pionero en cuanto a la utilización de métodos de bioindicadores en un ecosistema de bosque tropical en la zona de Rio Blanco. La interrelación observada entre el índice de uso de la tierra, la calidad física del cauce, el índice físico-químico de calidad del agua y los índices bióticos muestran que las diatomeas son buenos predictores del estado de calidad del agua y pueden ser empleados como herramienta para medir los impactos de la adopción de tecnologías de conservación y restauración de cuencas, pese a que la provincia de Morona Santiago ha tenido una historia de uso de los bosques nativos muy intensa debido a la extracción minera, ganadería, y desarrollo de proyectos agro-industriales lo que ha generado un deterioro de biodiversidad, reservas de agua y servicios ambientales. Después de un tiempo de recuperación y gracias a las prácticas comunitarias y locales de los pueblos cercanos a las aguas del tramo del río Blanco se han contribuido al equilibrio de estos ecosistemas que se recuperan actualmente lo que permite constatar la calidad aceptable del agua directamente relacionado con la recuperación de bosques alrededor de estos ecosistemas dulceacuícolas que se mantiene en un estatus aún rescatable.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en este estudio han permitido determinar que las diatomeas pueden ser empleados como herramienta para medir los impactos ambientales y poder optar por medidas de restauración adecuadas en la microcuenca, en función a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, se concluye que las actividades antropogénicas tienen influencia directa en la calidad del agua de la microcuenca. En general el tramo Padre Carollo-Paus del Río Blanco presenta una calidad buena del agua tras un período de reducción de las actividades antropogénicas realizadas en la zona.
- Este trabajo contribuye a ampliar el conocimiento de la flora diatomológica en los ríos tropicales del Ecuador, a pesar de que la provincia de Morona Santiago se caracteriza por poseer un gran número de ríos, apenas existen trabajos publicados sobre este tema, se ha podido determinar cerca de 15 especies distribuidas en el punto 1 siendo las más abundantes: *Achnanthydium rivulare*, *Achnanthydium minutissimum*, *Gomphonema rhombicum*, *Navicula lanceolata*, *Reimeria uniseriata*, 17 especies en el punto 2 en donde predominan: *Achnanthydium rivulare*, *Gomphonema rhombicum*, *Navicula recens*, *Planothydium lanceolatum*, *Mayamaea permitis*, *Reimeria uniseriata*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Cymbella affinis* y 13 especies en el punto 3 como: *Achnanthydium rivulare*, *Gomphonema rhombicum*, *Navicula recens*, *Planothydium lanceolatum*, , *Reimeria uniseriata*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Cymbella affinis*
- El índice biológico IPS debido a su versatilidad es muy útil para el monitoreo y análisis de la calidad del agua. Una vez que sea adaptado y modificado para determinado cuerpo de agua lótico permite una evaluación rápida y acertada basado en ponderaciones de sensibilidad a los rangos de tolerancia ambiental de las diatomeas bentónicas. La interpretación de este índice de la calidad de agua es clara y sencilla y fue fácil de aplicar para ecosistemas tropicales en éste caso la microcuenca del Río Blanco que es una de las más importantes para el desarrollo de la provincia.

- Con todo ello se puede concluir que los ríos son muchos más que una simple corriente de agua, son ecosistemas muy diversos y complejos, con una gran cantidad de componentes físicos y químicos y una diversidad de organismos, los cuales son necesarios para el correcto funcionamiento de los ríos, y cualquier impacto en ecosistema fluvial altera la comunidad de diatomeas y empobrece los ecosistema, en nuestro estudio se ha determinado 1414 individuos distribuidos en 12 géneros y 21 especies , en el punto 2 correspondiente a Río Blanco se contabilizó el mayor número de individuos, cerca de 704 individuos que han permitido una mayor riqueza y biodiversidad debido al bajo impacto ambiental existente en la zona que se encuentran distribuidos en 12 géneros y 16 especies, en el caso del punto 3 que corresponde al tramo Padre Carollo se encontraron 404 individuos distribuidos en 10 géneros y 13 especies, y en el punto 1 Paus se contabilizaron 312 individuos que se encuentran distribuidos en 10 géneros y 15 especies, siendo éste el que presento un menor número de individuos .

RECOMENDACIONES

- El seguimiento y monitoreo de las aguas de una microcuenca debe ser extenso. En este estudio se realizó un muestreo, sin embargo, se recomienda un monitoreo anual en la microcuenca del Río Blanco, para obtener mayor información de las diferencias que puede generarse tanto en la estación seca y la estación lluviosa. Estos datos facilitarían un análisis más exacto de la dinámica de del comportamiento del curso hídrico en esta zona y las posibles relaciones con las actividades humanas relacionadas a la microcuenca.
- Mediante este análisis preliminar es necesario promover un adecuado manejo de la microcuenca y la desinfección del agua del río Blanco para consumo mediante la preparación a técnicos de la zona que serían los encargados de capacitar a las familias de las comunidades en las metodologías de desinfección.
- Es necesario el desarrollo de un índice de calidad biológica para el Ecuador, donde se cubra todo el rango altitudinal y ecosistemático del país, así como las familias de diatomeas comunes en los cuerpos de agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Alava, J.** *Formulación del plan de ordenación y manejo de la microcuenca " Payacas" en el municipio de Tuquerres.* (Tesis de grado. Ingeniero Forestal), Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 1997, pp 15-18.
- Allan, J., & Castillo, M.** *Stream ecology. Structure and function of running waters,* Springer. 2007, pp. 75-105.
- Alonso, A.** *Valoración del efecto de degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares.* Revista Ecosistemas. 2006, pp. 1-5.
- Alvarez, S., & Pérez, L.** *Evaluación de la calidad del agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca de Yeguaré, Honduras.* (Tesis) (Pregrado). Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano: Honduras. 2009.
- Arce, M., & Leiva, M.** *Determinación de la calidad de agua de los ríos de la ciudad de Loja y diseño de líneas generales de acción para su recuperación y manejo.* (Tesis) (Grado). Loja- Ecuador. UTPL. 2009.
- Arcos, I.** *Efecto del ancho de los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras .* En programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba - Costa Rica. 2005.
- Arroyo, C., Encalada, A.** *Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en bosque de neblina montano.* ACI Avances en Ciencias e Ingenierías. Quito-Ecuador. 2009.
- Barrionuevo, M., Romero, F., Navarro, M., Meosi, G., & Fernandez, H.** *Monitoreo de calidad de la agua en un río subtropical de montaña: el río Lules (Tucumán, Argentina).* Tucumán- Argentina. Conagua. 2007.

- Battle, J., & Golladay, S.** *Water quality and macroinvertebrate assemblages in three types of seasonally inundated limesink wetland in southwest Georgia.* Journal of Freshwater Ecology, 2001, vol. 16(2), pp.189-208.
- Breña, A., & Jacobo, M.** *Principios y fundamentos de la hidrología superficial.* México. Universidad Autónoma Metropolitana, 2006, pp. 23.
- Bucher, E., Castro, G., & Floris, V.** *Conservación de ecosistemas de agua dulce: hacia una estrategia de manejo integrado de recursos hídricos.* Lugar: Washintong, D. C. Inter-American Development Bank. 1997.
- Carrie, J.** *Manual de manejo de cuenca* World Vision. Roma- Italia. 2012, pp.16
- Casilla, S.** *Evaluación de la calidad de agua en los diferentes puntos de descarga de la cuenca del río Suhez.* (Tesis de grado. Ingeniero Agrícola) Universidad Nacional del Altiplano Puno. Puno- Perú. 2014.
- Cedeño, G.** *Vulnerabilidad de la legalidad ambiental, territorial y de los derechos humanos ocasionado por los cultivos de palma africana en la Provincia de Esmeraldas* (Tesis de grado. Ingeniero Agrícola. Quito: UCE. 2016.
- Corbet, P.** *Dragonflies: Behavior and ecology of Odonata.* University of Edinburgh. Scotland - Reino Unido. Harley Books. 1999.
- Dangles, Olivier.** *Predicting richness effects on ecosystem function in natural communities: insights from high- elevation streams.* Ecology, n° 3, 2011, pp 733-743.
- De La Heras, J., & Alcaraz, J.** *La calidad del agua: contaminación de las aguas producida por la agricultura. Limitaciones para su uso en la agricultura.* Agua y agronomía. Madrid – España, 2005, p. 295.
- Deley, R., & Santillán, P.** *Macroinvertebrados bentónicos de la Microcuenca Jubal, Ozogoché y Zula, Parque Nacional Sangay.* (M. S. Carpio, Ed.) Riobamba - Ecuador: El Telégrafo EP, 2016, pp 6-19.

- Fernandez, H., Romero, F., Vece, M., Manzo, V., Nieto, C., & Orce, M.** (2002). *Evaluación de tres índices bióticos en un río subtropical de montaña*. En *Limnética Tucuman – Argentina*, 2002, pp. 1-13.
- Fernández, R.** *Ecosistemas acuáticos*. 2011 Recuperado el 21 de enero del 2018. Obtenido de Ecosistemas: <http://www.tareasya.com.mx/index.php/tareas-ya/primaria/sexta-grado/cienciasnaturales/1319-Ecosistemas-acu%C3%A1ticos.html>.
- Fonseca Borja, E. F., Zefla, S., & Maribel, J.** *Determinación del índice trófico de la calidad del agua a partir de la presencia de diatomeas epilíticas en el río Cutuchi, sector Baño Azul, cantón Latacunga* (Bachelor's thesis, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi; Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente), 2017,
- Gil, J.** *Determinación de la calidad del agua mediante variables físico químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa*. (Tesis de postgrado. Master en desarrollo sostenible y medio ambiente. Universidad de Manizalez- Manizalez – Colombia, 2014.
- Gonzalez, S., Ramirez, A., Meza, S., & Díaz, L.** (2012). *Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales*. Boletín Científico Centro de Museos. Museo de Historia Natural, 2012, vol.16, n° 2, pp. 135-148.
- Graterol, H., Goncalves, L., Medina, B., & Pérez, B.** *Insectos acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua del Río Guaraca*. Carabobo – Venezuela, 2006.
- Guevara, G., Mercado, M., & Elliot, S.** (2006). Comparación de macrozoobentos presente en arroyos con diferente tipo de vegetación ribereña en la reserva costera valdivia, sur de Chile. *En Asociación colombiana de limnología*, vol. 1, 2006, pp 98-105.
- Guevara, J., & Carmen, J.** *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. En M. d. Ecuador. Quito, 2012.

- Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A.** *Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos.* *Biología Tropical*, vol. 58, 2010, pp. 3-37.
- Lanza, S., Álvarez, I., Cejudo, C., Bécares, E., Ector, L., García, C., & Rodríguez, I.** *Guía de las diatomeas de la Cuenca del Duero.* España, 2011.
- Londoño, C.** *Cuencas Hidrográficas: bases conceptuales – Caracterización nplanificación-Administración.* Ibagué: Universidad de Tolima. Tolima – Colombia, 2001.
- Maas, M.** *Principios generales sobre manejo de ecosistemas. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México.* México, 2003, pp. 23-28.
- Meza, A., & Rubio, J.** *Composición y estructura trófica de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chichiná. En Tesis: Programa de biología.* Manizales - Colombia: Universidad de Caldas, 2010.
- Ministerio Del Ambiente Del Ecuador.** *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental.* Quito: MAE. 2012.
- Mora, A., & Soler, M.** *Estudio limnológico con énfasis en los macroinvertebrados bentónicos de la parte alta del río Bogotá* (Tesis de grado. Ingeniero en Biología). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá – Colombia, 1993.
- Macdonald, L., Smart, A., & Wissmar, R.** *Monitoring Guidelines to Evaluate Effects of Forestry Activities on Streams in Pacific Northwest and Alaska.* Alaska. University of Washington Water Center: EPA. 1991.
- Pavón, Y., & Rocha, S.** *Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando indicadores biológicos en la subcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo, en el año hidrológico 2010-2011.* Universidad Nacional Agraria. Managua – Nicaragua, 2015.
- Perez, G. .** *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col.* Medellín - Colombia : Universidad de Antioquia, 2003.

- Prado, V.** *Estado de la calidad del agua del Río Teaone (Cuenca Baja) Entre La Termoeléctrica y la desembocadura del Río Esmeraldas, Sector De Ladesembocadura Del Río Esmeraldas, Sector De Ladesembocadura Del Río Esmeraldas, Sector De La Propicia 1.* Esmeraldas: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2015.
- Prat, N., & Rieradeval, M.** *Criterios de evaluación de la calidad del agua en los lagos y embalses basados en macroinvertebrados bentónicos.* Actualidades Biológicas, vol.20, n° 69, 1998, pp. 137-147.
- Roldán, G. (2009).** *Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos.* Actualidades biológicas, vol. 91, n°31, 2009, pp 227-237.
- Sierra, R.** *Calidad del agua. Evaluación y Diagnóstico.* Medellín - Colombia: Universidad de Medellín, 2011.
- Vasquez, D., Flowers, W., & Springer, M.** *Life history of five small minnow mayflies (Ephemeroptera: Baetidae) in a small tropical stream on the Caribbean slope of Costa Rica.* Aquatic Insects, 2009, pp 319-332.
- Vernon, L. (1985).** *Water chemistry: predicting the capacity of powdered activated carbon for trace organic compounds in natural waters.* Environmental Science & Technology, vol. 32, n° .11, 1985, p. 12.
- Vidal, C., & Romero, H.** *Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bío-bío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción.* Concepción metropolitana (AMC). Planes, procesos y proyectos. Pérez, L. e Hidalgo, R. (Editores). Concepción - Chile, 2010.
- Zury, W.** *Manual de planificación y gestión participativa de cuencas y microcuencas.* Loja - Ecuador: FAO, 2008. pp. 60-67.

ANEXOS

Anexo A. Muestreo de diatomeas



Gerorreferenciación



Análisis Físico Químico In situ



Muestreo de diatomeas

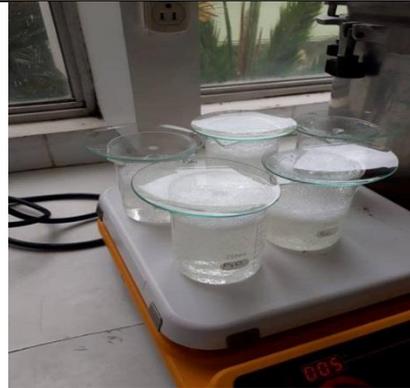


Preservación y conservación de las muestras

Anexo B. Tratamiento e identificación de las muestras de diatomeas



Preparación de solución de Peróxido de hidrógeno para limpieza de muestras



Limpieza de muestras con Peróxido de hidrógeno y Ácido clorhídrico



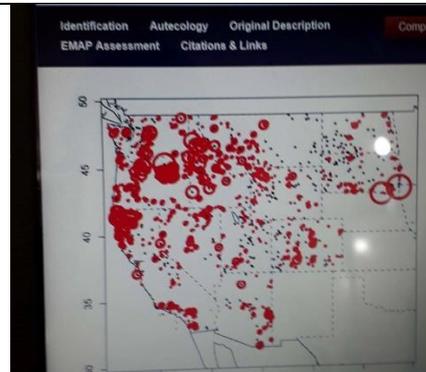
Centrifugación de las muestras



Montaje de muestras para la identificación



Identificación taxonómica por medio del microscopio



Comparación mediante guías de identificación y guías de distribución

Anexo C: Individuos colectados

		P1R1	P1R2	P1R3	P2R1	P2R2	P2R3	P3R1	P3R2	P3R3
Achnanthydium rivulare	ADRI	10	31	10	35	30	35	27	5	31
Achnanthydium minutissimum	ADMI	12	20		8	7	7	6		10
Caloneis bacillum	CBAC					10				
Cocconeis placentula var. euglypta	CPLE		9		10	32	10	4	3	16
Cymbella affinis	CAFV		8		10	18	11			
Cymbella tumida	CTUM					17				4
Gyrosigma acuminatum	GYAC				12		2		2	2
Gomphonema minutum	GMIN	5	12	11		2	5	21	2	2
Gomphonema rhombicum	GRHB		19	12	26	25	24	38	7	45
Halamphora veneta	HVEN	10	15		8	19	3	5		
Mayamaea permitis	MAYA	2	4		15	2	2			
Navicula antonii	NANT	2			7	10				
Navicula cryptotenella	NCTE	2	5							
Navicula lanceolata	NLAN		18		5	7		10	8	12
Navicula recens	NRCS		10		30	25	16		1	5
Navicula tripunctata	NAVI	2	7		7		6			
Nitzschia inconspicua	NINC		10	5	5			1	1	5
Nitzschia recta	NREC				4	10				
Planothidium lanceolatum	PTLA		10		21	20	25	18		6
Reimeria uniseriata	RUNI	15	17	10	17	20	57	47	2	15
Rhoicosphenia abbreviata	RABB	4	5		6	10	5	27	2	14

Anexo D: Comparación de la calidad del agua entre diversos índices

TRAMO	PUNTO	IPS	IBD	CEE
PAUS	P1R1	15	15.6	15.1
PAUS	P1R2	14.9	12.9	12.4
PAUS	P1R3	18.2	15.2	
RIO BLANCO	P2R1	14.7	10.7	12.6
RIO BLANCO	P2R2	13.6	11.7	13.4
RIO BLANCO	P2R3	16.4	14.2	13.7
PADRE CAROLLO	P3R1	18.2	14	13.4
PADRE CAROLLO	P3R2	16.9	11.6	
PADRE CAROLLO	P3R3	17.7	12.6	13

Anexo E. Principales diatomeas encontradas en el tramo Padre Carollo- Paus

 <p><i>Halamphora veneta</i></p>	 <p><i>Nitzschia recta</i></p>	 <p><i>Navicula recens</i></p>
 <p><i>Planothidium lanceolatum</i></p>	 <p><i>Cymbella affinis</i></p>	 <p><i>Nitzschia inconspicua</i></p>
 <p><i>Gomphonema rhombicum</i></p>	 <p><i>Mayamaea permitis</i></p>	 <p><i>Cymbella tumida</i></p>
 <p><i>Gyrosigma acuminatum</i></p>	 <p><i>Reimeria uniseriata</i></p>	 <p><i>Achnanthydium rivulare</i></p>