

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA MEDIANTE EL USO DE
MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES EN LA
MICROCUECNA DEL RÍO PATULÚ**

Autor:

Vanessa Carolina Jiménez Vargas

Tutor:

Ing. Juan Carlos Caicedo Ballesteros, MsC.

Riobamba - Ecuador

Año 2018

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS, COMO BIONDICADORES EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PATULÚ”**, presentado por: Vanessa Carolina Jiménez Vargas y dirigido por: MsC. Juan Carlos Caicedo Ballesteros.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación, se constató el cumplimiento de las observaciones realizadas y se remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Dra. Anita Mejía
Presidente del Tribunal


.....
Firma

PhD. Benito Mendoza
Miembro del Tribunal


.....
Firma


MsC. Patricio Santillán
Miembro del Tribunal


.....
Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Por la presente, certifico que el actual trabajo de investigación previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, elaborado por la señorita Vanessa Carolina Jiménez Vargas con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS, COMO BIOINDICADORES EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PATULÚ”**, el mismo que fue analizado y supervisado bajo mi asesoramiento permanente en calidad de Tutor y Guía, por lo que se encuentra apto para ser presentado y defendido.

Es todo lo que se puede informar en honor a la verdad.



MsC. Juan Carlos Caicedo
C.I: 1600457418

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, VANESSA CAROLINA JIMÉNEZ VARGAS, con cédula de identidad 0603825621; hago referencia como autora del presente trabajo de investigación, titulado: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA MEDIANTE EL USO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS, COMO BIOINDICADORES EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PATULÚ”**, dirigida por el tutor del proyecto, MsC. Juan Carlos Caicedo.

Manifiesto la originalidad en la conceptualización de ideas, interpretación de resultados, con el sustento de autores que han sido debidamente referenciados en el documento.


.....
Vanessa Carolina Jiménez Vargas
C.I: 0603825621

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos van dirigidos a Dios por todas las bendiciones que me han dado, mis padres por su cariño y apoyo incondicional.

Agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo a la Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Ambiental por abrirme las puertas y poderme formar con profesionales, a los docentes que fueron un apoyo en mi desarrollo profesional.

A mis queridos maestros al Ing. Juan Carlos Caicedo, al Ing. Benito Mendoza, al Ing. Patricio Santillán, los cuales han sido una pieza fundamental en el desarrollo de la investigación ya que gracias a sus conocimientos me han permitido sacar adelante este trabajo.

Agradezco al Señor Hugo Guevara Presidente GAD San Isidro de Patulú quien me permitió desarrollar mi tema de investigación, y me dio todas las facilidades para el desarrollo del mismo.

Vanessa Jiménez

DEDICATORIA

Este presente trabajo está dedicado a Dios y mi Virgen Santísima, que ha sido los que me han dado la fortaleza y la fuerza para seguir adelante y cumplir con mi meta.

A mis padres Milton y Norma por su apoyo incondicional a lo largo de esta travesía, por esos consejos que me dieron para poder enfrentarme a la vida, por darme su mano y nunca dejarme caer para así poder salir adelante.

A mi hermano y hermana por estar incondicionalmente en cada momento de mi vida.

A la luz de mis ojos mi hija Andreita y mi amor Pedro que han sido mi mayor bendición y me han dado su amor y apoyo incondicional.

A toda mi familia que de una u otra manera han estado ahí para ayudarme.

A mis Amigas y Amigos por el apoyo brindado durante todo este largo camino.

Vanessa Jiménez

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ABI: Índice Biológico Andino

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días

ETP: Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera

ICA: Índice de Calidad de Agua

IGM: Instituto Geográfico Militar

OD: Oxígeno Disuelto

MCRP: Microcuenca Río Patulú

pH: Potencial de Hidrogeno

PDOT: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial

SDT: Sólidos Disueltos Totales

T: Temperatura

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL	i
DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Planteamiento	del
Problema.....	4
1.2. Justificación	5
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. Objetivo General	6
2.2. Objetivos Específicos.....	6
3. ESTADO DEL ARTE	7
3.1. Cuenca	7
Hidrográfica	7
3.2. Partes	de una
cuenca.....	7
3.2.1. Cuenca	7
3.2.2. Subcuencas.....	7
3.2.3. Microcuencas	7
3.2.4. Quebradas	7
3.2.5. Cuenca alta.....	8
3.2.6. Cuenca media.....	8
3.2.7. Cuenca baja o zonas transicionales.....	8
3.3. Parámetros Geomorfológicos.....	9
3.3.1. Parámetros geomorfológicos de la cuenca.....	9
3.3.2. Parámetros de forma	9
3.3.2.1. Índice de compacidad o coeficiente de gravelius (I_c)	9
3.3.2.2. Factor de forma (F_f)	9
3.3.2.3. Coeficiente de forma (K_f).....	10
3.3.2.4. Relación de elongación (R_e).....	11
3.3.2.5. Relación de circularidad (R_{ci}).....	11
3.3.2.6. Ancho máximo (E).....	11
3.3.2.7. Ancho medio (B_m).....	12
3.3.2.8. Longitud de la cuenca (L_c).....	12
3.3.2.9. Longitud al centro de gravedad (L_a).....	12
3.3.3. Parámetros de relieve	12

3.3.3.1.	Pendiente de la cuenca	12
3.4.	Contaminación del agua	12
3.5.	Fuentes de contaminación	13
3.5.1.	Agentes patógenos	14
3.5.2.	Sustancias químicas inorgánicas	14
3.5.3.	Sustancias químicas orgánicas	14
3.5.4.	Las sustancias radiactivas	14
3.5.5.	Calor.....	14
3.6.	Calidad del agua	14
3.7.	Macroinvertebrados Acuáticos.....	15
3.8.	Bioindicadores.....	16
3.9.	Índices más utilizados	16
3.10.	Carga contaminante.....	18
4.	METODOLOGÍA	20
4.1.	Caracterización del área de estudio	20
4.1.1.	Delimitación del área de estudio e identificación de usos de suelo	20
4.1.2.	Selección y descripción de los puntos de muestreo	20
4.2.	Medición de Caudales	20
4.2.1.	Fórmula para determinar el caudal del río	20
4.3.	Periodo y frecuencia de monitoreo.....	21
4.4.	Recolección y muestreo de bioindicadores	22
4.4.1.	Identificación de bioindicadores en el laboratorio.....	22
4.5.	Cálculo del índice ABI.....	22
4.6.	Cálculo del índice ETP.....	24
4.7.	Cálculo del índice ICA NSF.....	24
4.8.	Cálculo de la carga contaminante.....	25
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
5.1.	Microcuenca del río del Patulú.....	26
5.2.	Codificación y georreferenciación de los puntos de muestreo.....	26
5.3.	Usos del Suelo.....	27
5.4.	Caudal.....	29
5.5.	Parámetros morfométricos	30
5.6.	Calidad del agua	31
5.6.1.	Parámetros físico – químicos	31
5.6.2.	Conductividad y solidos totales disueltos	32
5.6.3.	Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅ y Oxígeno Disuelto (OD).....	33
5.6.4.	Nitratos y Fosfatos	34
5.7.	Índice ICA NSF.....	34
5.8.	Índices Biológicos	35
5.8.1.	Índice ABI.....	35
5.8.2.	Índice ETP	37
5.9.	Carga contaminante.....	39
5.10.	Correlación entre los parámetros físico - químicos y el índice ABI.....	41
5.11.	Correlación entre la carga contaminante de los parámetros ICA y el índice ABI.....	41
5.12.	Correlación entre los parámetros físico – químicos y el índice ETP	42
5.13.	Correlación entre la carga contaminante de los parámetros ICA y el índice ETP.....	42
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
6.1.	Conclusiones	44

6.2. Recomendaciones.....	45
7. BIBLIOGRAFIA	46
8. ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de referencia del índice ETP.....	16
Tabla 2. Significado de los valores del índice biológico (A.B.I.) a utilizarse en la investigación	17
Tabla 3. Valores del índice de Calidad de Agua.....	18
Tabla 4. Métodos de ensayo empleados en Laboratorio Servicios Ambientales UNACH.....	21
Tabla 5. Puntuación del índice Biológico Andino A.B.I	23
Tabla 6. Pesos relativos para cada parámetro del ICA NSF	24
Tabla 7. Puntos de muestreados en la microcuenca del río Patulú	27
Tabla 8. Usos de suelo de la parroquia San Isidro de Patulú	29
Tabla 9. Caudales totales por punto de monitoreo en la microcuenca del río Patulú	29
Tabla 10. Parámetros Morfométricos de la microcuenca del río Patulú	30
Tabla 11. Parámetros físico-químicos y microbiológicos del río Patulú	31
Tabla 12. Calidad de agua Río Patulú “ICA NSF”	35
Tabla 13. Calidad del Agua ABI río Patulú	36
Tabla 14. Índice ETP del río Patulú	37
Tabla 15. Carga contaminante de la microcuenca del río Patulú.....	39
Tabla 16. Correlación parámetros físico – químicos e índice ABI.....	41
Tabla 17. Correlación carga contaminante e índice ABI.....	42
Tabla 18. Correlación entre los parámetros físico – químicos y el índice ETP.....	42
Tabla 19. Correlación carga contaminante e índice ETP.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca, Subcuenca, Microcuenca.....	8
Figura 2. Partes de una cuenca.....	8
Figura 3. Diferentes Hidrogramas para cada tipo de cuencas.....	10
Figura 4. Ubicación del área de estudio.....	26
Figura 5. Usos de suelo de la microcuenca del río Patulú	28
Figura 6. Hidrograma de caudales	30
Figura 7. Conductividad y solidos totales disueltos	32
Figura 8. DBO ₅ y OD	33
Figura 9. Nitratos y Fosfatos.....	34
Figura 10. Variación de las familias y número de individuos en cada punto de muestreo, ABI	36
Figura 11. Variación temporal del caudal e índice ABI	37
Figura 12. Variación de las familias y número de individuos en cada punto de muestreo, ETP	38
Figura 13. Variación temporal del caudal e índice ETP	38
Figura 14. Carga contaminante del río Patulú	39
Figura 15. Cargas contaminantes y caudal	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Área de estudio.....	50
Anexo 2. Toma de Muestras de agua en la microcuenca	51
Anexo 3. Análisis de muestras en laboratorio	52
Anexo 4. Parámetros morfométricos de la microcuenca	53
Anexo 5. Índice de Calidad e Agua ICA NSF por punto de muestreo	54
Anexo 6. Promedio del índice ETP NSF, y ABI	62
Anexo 7. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola	64
Anexo 8. Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego	66
Anexo 9. Correlaciones	67

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, de la calidad en la microcuenca del río Patulú, parroquia San Isidro, cantón Guano, provincia de Chimborazo. Para la caracterización de los usos de suelo se utilizó la cartografía base, y mediante el software ArcGis 10.2 se logró delimitar los tipos de estratos de la microcuenca. Se establecieron cinco puntos de muestreo en la microcuenca, considerando aspectos como: accesibilidad, ubicación geográfica, condiciones climáticas y usos de suelo. Para la recolección de macroinvertebrados se utilizó una red D con malla de 500 μm . Las muestras de agua fueron tomadas en cada uno de los puntos de la microcuenca, durante los meses de julio a septiembre de 2017. En cada punto se registraron variables físico-químicas in situ y en laboratorio. Los usos de suelo identificados fueron cultivos de ciclo corto (57,66%), páramo (18,69%), área erosionada (7,21%), bosque natural (6,68%), plantación forestal (5,90%), pastos cultivados (3,00%) y la zona urbana (0,86%). El estudio de macroinvertebrados bentónicos registro 5295 individuos, distribuidos en 57 familias y 8 órdenes. El índice ETP en los puntos P1 (77,15%), P2 (75,62%) y P3 (78,25%), presentan un agua de calidad muy buena y en los P4 (65,09%) y P5 (62,46%), un agua de buena calidad. El índice ABI, reportó un agua de mala calidad en todos los puntos de monitoreo. La calidad del agua mediante el índice ICA NSF es de buena calidad (77 y 78 %) en los cinco puntos de monitoreo. La carga contaminante del río va disminuyendo a medida que desciende, lo que concuerda con la reducción de los caudales y contradictorio a los usos de suelo obtenidos, debido al nivel alto de autodepuración del recurso hídrico presente en la microcuenca; sin embargo, es necesario que se tomen medidas preventivas como la elaboración de planes de manejo de la microcuenca para evitar niveles de contaminación altos, que permitan conservar el recurso hídrico en óptimas condiciones, mediante la participación activa de las comunidades que están en los flancos de la microcuenca.

Palabras claves: (ETP) Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, (ABI) Índice Biológico Andino, (ICA) Índice de Calidad de Agua

ABSTRACT

The objective of this investigation was to evaluate water quality by using aquatic macroinvertebrates as bioindicators of the quality in the micro-basin of the Patulù river, in San Isidro parish. It belongs to Guano in Chimborazo province. The samples were collected in 5 monitoring points, with eight consecutive samples from July to September of the year 2017. The study registered 5295 individuals, distributed in 57 families and 8 orders. Water quality through the ICA NSF index displays a good quality (77 and 78%) in the five monitoring points. Otherwise, it is presented with the ABI index, which reports a poor quality water. The ETP index in the points: P1 (77.15%), P2 (75.62%) and P3 (78.25%) show a very good quality water and P4 (65.09%) and P5 (62.46%), a good quality water too. The polluting charge of the river is decreasing as it descends, which coincides with the reduction of the flow rates and is contradictory to the uses of obtained land. It is due to the high level of self-purification of the water resource which is presented in the micro-basin; though, it is necessary to take preventive measures such as the development of management plans for the micro-basin to avoid high levels of contamination, which allow conserving the water resource in optimum conditions, through the active participation of the communities that are on the flanks of the micro-basin

Key words: ETP Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, (ABI) Andean Biological Index, (ICA) Water Quality Index.

Reviewed and corrected by: Lic. Armijos Jacqueline, MsC.

Language Department

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país con gran cantidad de recursos hídricos, la mayoría de estos recursos tienen buena calidad, siendo usados principalmente en la generación hidroeléctrica, abastecimiento de agua potable y riego. Esta realidad se encuentra amenazada por las actividades antrópicas que se realizan cerca a estas fuentes de agua, generalmente las ciudades, poblados, zonas de alta explotación minera, petrolífera y agropecuaria generan vertidos con altas concentraciones de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, metales pesados, hidrocarburos entre otros contaminantes (Toledo & Mendoza, 2016). Los sistemas de agua dulce (lénticos y lóticos) más que ningún otro ecosistema son sensibles a modificaciones antrópicas. A través de los años estos sistemas han sido usados como depósitos de desechos, cuya consecuencia principal ha sido causando la desaparición o reducción de manera sustancial de algunas especies que conforman las comunidades bióticas. Dentro de estas comunidades, se encuentran los macroinvertebrados bénticos, representados por un gran número de especies que realizan interacciones biológicas importantes. Los macroinvertebrados acuáticos se consideran actualmente como los mejores bio-indicadores de la calidad del agua, debido a su tamaño, a su amplia distribución y a su adaptación a diferentes variables fisicobióticas (Pérez & Quishpi, 2016).

Actualmente en la microcuenca del río Patulú es considerada como una zona de alto valor ambiental por tener ecosistemas de páramo (18,69%) y bosque natural (6,68%), quienes son considerados como almacenadores y reguladores del recurso hídrico superficial y subterráneo. En base a las características antes mencionadas y para proponer medidas de conservación de estos recursos naturales, la comunidad liderada por el presidente del GAD parroquial de San Isidro plantea realizar un estudio que permita contar con datos reales, los mismos que deberán ser plasmados dentro de plan de manejo de microcuencas. Por ello, se implementó esta investigación en los ecosistemas acuáticos utilizando una metodología estandarizada (Déley & Santillán, 2016) y el uso de herramientas tecnológicas que permitieran generar información relacionada a la calidad del agua del río Patulú, para lo cual se utilizó el índice de calidad de agua (ICA NSF), los índices biológicos ETP (Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera) y el Índice Biológico Andino (ABI). Los Índices Biológicos, emplean macroinvertebrados acuáticos es decir que viven en el fondo de los ríos, lagos y lagunas. Mientras que el índice (ICA NSF), emplea 9 parámetros Físicos-Químicos y Microbiológico (Turbiedad, nitratos, fosfatos, pH, oxígeno disuelto, solidos disueltos totales, temperatura, DBO5 y Coliformes fecales).

En particular, la información generada se utilizará para planificar, diseñar y aplicar políticas y estrategias locales y nacionales que permitan una utilización sostenible del agua a fin de conservar la microcuenca, y para comprender las relaciones entre los recursos y quienes hacen uso de ellos.

1.1. Planteamiento del Problema

La cantidad de agua que tenemos en el planeta tierra es 1.385 millones de Km^3 , de los cuales menos del 1% es agua dulce, que es utilizable, de este limitado porcentaje el 38% corresponde a la humedad del suelo; el 52% a los lagos; el 8% de vapor atmosférico, el 1% de organismos vivos y 1% en ríos. Además, el 81% del total se encuentra en forma de glaciares, capas de hielo y zonas polares (Acosta & Martinez, 2010). Ecuador es un país rico en recursos hídricos, cuenta con una escorrentía media total de 432,000 hm^3 por año, lo que se traduce en 43,500 m^3 por habitante al año, siendo superior a la media mundial de 10,800 m^3 por habitante. Este volumen de agua corre a través de las 79 cuencas hidrográficas y 137 sub-cuencas que posee el país. Estas cuencas se encuentran distribuidas a lo largo de dos vertientes que nacen de la sierra Ecuatoriana, pero el problema es su mala distribución lo que hace que la contaminación crezca y que las fuentes de agua se destruyen de manera acelerada (Acosta & Martinez, 2010).

La mayoría de estos recursos tienen buena calidad, siendo usados principalmente en el abastecimiento para la generación de energía en las hidroeléctricas, abastecimiento de agua potable y riego. La actividad agropecuaria es la más difundida en la provincia de Chimborazo, esto se debe principalmente al tipo de suelo, la disponibilidad hídrica y los microclimas que permiten el desarrollo de estas actividades, por lo que hace necesario estudiar las características de los recursos hídricos y la calidad de los mismo a fin de garantizar el equilibrio entre las actividades antrópicas y el ecosistema acuático (Toledo & Mendoza, 2016).

En la parroquia San Isidro de Patulú, de acuerdo a la información obtenida en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015, se evidencia una fuerte presión (actividades socio-económicas), por parte de las comunidades sobre la Microcuenca del río Patulú (MCRP); por tal motivo y pese a que no se ha realizado un estudio técnico específico en esta zona, se efectuó un monitoreo que permitió determinar la calidad del agua a través de diferentes índices (ABI, ETP e ICA). De ahí que la microcuenca es uno de los sistemas naturales que pueden verse seriamente afectados por este tipo de actividades; en razón de que es un área con gran diversidad ya que alberga gran cantidad de especies de macroinvertebrados bentónicos, que de una u otra forma se han adaptado a este tipo de zonas y que por su limitada variabilidad genética

son muy proclives a su desaparición. Este tipo de estudio permitió contar con datos reales que servirán de base para la toma de decisiones y elaboración de planes de manejo de la microcuenca dentro de un marco de sostenibilidad y sustentabilidad.

1.2. Justificación

El agua es uno de los elementos naturales que se encuentra en mayor cantidad en el planeta Tierra. También es gran responsable de la posibilidad de desarrollo de las distintas formas de vida: vegetales, animales y el ser humano. Los organismos de todos los seres vivos están compuestos de agua en una alta proporción, siendo que ésta es la que compone los músculos, órganos y los diferentes tejidos. Por esto, sin agua no es posible la vida (Acosta & Martínez, 2010). Según las Naciones Unidas “El agua dulce limpia, segura y de calidad es esencial para la supervivencia de todos los organismos vivos y el funcionamiento de los ecosistemas, las comunidades y las economías. La calidad del agua en el mundo está cada vez más amenazada por el aumento de la población humana, la expansión de las actividades industrial, agrícola y el peligro de que el cambio climático altere el ciclo hidrológico mundial. Existe una necesidad urgente de que la comunidad mundial (tanto el sector público como el privado) se una para asumir el reto de proteger y mejorar la calidad del agua de nuestros ríos, lagos, acuíferos y del agua corriente” (Naciones-Unidas, 2014).

En la provincia de Chimborazo y en especial en la parroquia San Isidro existe la necesidad de realizar este tipo de estudio, a fin de conocer el grado de afección del agua producto de las actividades antropogénicas; con miras a lograr prácticas de conservación de este recurso, para evitar el deterioro del agua de la MCRP. Este problema se acentúa en que en los flancos de la microcuenca existen comunidades dedicadas a la producción agrícola y pecuaria, lo cual genera un consumo desmedido del agua, acompañado de un desconocimiento técnico de prevención y/o de una debida regulación, lo que ocasiona un cambio drástico del caudal y en su calidad.

De ahí que la presente investigación permitió contar con un conjunto de parámetros y resultados actualizados, fiables y oficiales sobre la calidad del agua de la MCRP, en razón de que representa un insumo de invalorable magnitud, tanto para la generación de nuevas y sostenidas políticas locales y nacionales; así como para la generación de una herramienta de gestión y manejo de la microcuenca, con el propósito de que a corto, mediano y largo plazo se puedan tomar las mejores decisiones en función de las necesidades de conservación del ambiente, así como también de la población aproveche este recurso para sus labores diarias.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Evaluar la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en la microcuenca del río Patulú, parroquia San Isidro de Patulú, cantón Guano, provincia de Chimborazo.

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar los usos de suelo a lo largo de la micro cuenca del río Patulú.
- Evaluar la calidad del agua mediante los índices ETP (Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera) y ABI (Índice Biológico Andino).
- Evaluación de la calidad del agua mediante el índice ICA-NSF.
- Determinar la correlación existente entre la presencia de carga contaminante y los indicadores biológicos.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. Cuenca Hidrográfica

En términos simples, una cuenca hidrográfica es la superficie de terreno definida por el patrón de escurrimiento del agua, es decir, es el área de un territorio que descarga en una quebrada, en un río, en un lago, en un pantano, en el mar o en un acuífero subterráneo (Aguirre, 2011).

Una cuenca incluye ecosistemas terrestres (selvas, bosques, matorrales, pastizales, manglares, entre otros) y ecosistemas acuáticos (ríos, lagos, humedales, etc.), y sus límites se establecen por el parteaguas desde donde escurre el agua que se precipita en el territorio delimitado por éste, hasta un punto de salida”. En la cuenca hidrográfica, se distinguen por lo general tres sectores característicos: Alto, Medio y Bajo, los cuales en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos (Ordoñez, 2011).

3.2. Partes de una cuenca

Para definir e identificar los componentes que identifican las características de una cuenca tenemos:

3.2.1. Cuenca

Sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas (Figura 1).

3.2.2. Subcuencas

Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente (Figura 1).

3.2.3. Microcuencas

Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Subcuenca; es decir, que una Subcuenca está dividida en varias microcuencas (Figura 1).

3.2.4. Quebradas

Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca.

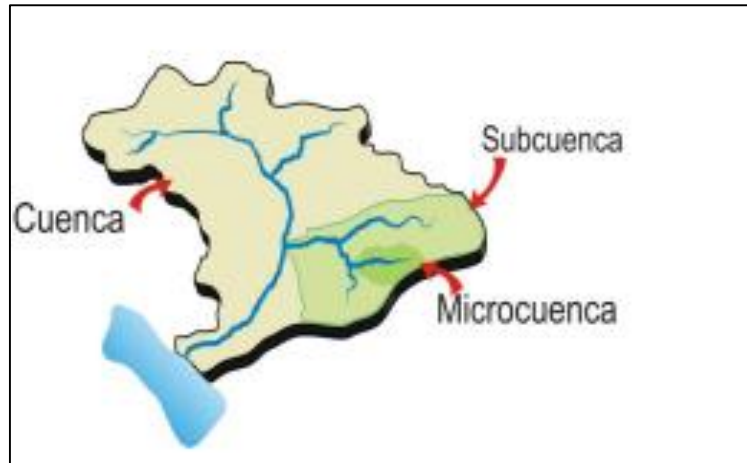


Figura 1. Cuenca, Subcuenca, Microcuenca

Fuente: (Ordoñez, 2011)

3.2.5. Cuenca alta

Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas (Figura 2).

3.2.6. Cuenca media

Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido (Figura 2).

3.2.7. Cuenca baja o zonas transicionales

Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales (Figura 2) (Ordoñez, 2011).

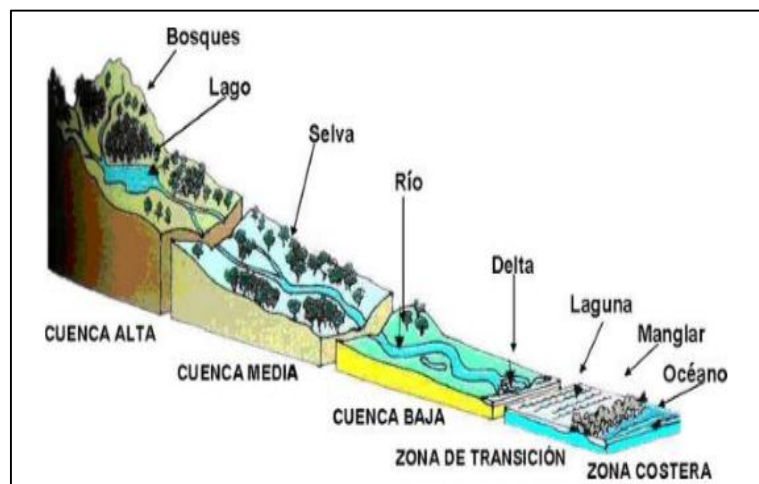


Figura 2. Partes de una cuenca

Fuente: (Ordoñez, 2011)

3.3. Parámetros Geomorfológicos

3.3.1. Parámetros geomorfológicos de la cuenca

La geomorfología de una cuenca queda definida por su forma, relieve y drenaje, para lo cual se han establecido una serie de parámetros que, a través de ecuaciones matemáticas, sirven de referencia para la clasificación y comparación de cuencas. Para un mejor estudio de las cuencas se han establecido los siguientes parámetros (Cahuana & Yugar, 2009):

- Parámetros de forma
- Parámetros de relieve
- Parámetros de red hidrográfica

3.3.2. Parámetros de forma

Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar parámetros por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrogramas) (Cahuana & Yugar, 2009).

3.3.2.1. Índice de compacidad o coeficiente de gravelius (Ic)

Es el cociente que existe entre el perímetro de la cuenca respecto al perímetro de un círculo del área de la misma cuenca.

$$Ic = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.282 * (\frac{P}{\sqrt{A}}) \quad (1)$$

Si $Ic = 1$ la cuenca es de forma circular. Este coeficiente nos dará luces sobre la escorrentía y la forma del hidrograma resultante de una determinada lluvia caída sobre la cuenca.

Si: $Ic \approx 1$ cuenca regular

$Ic \neq 1$ cuenca irregular; (Ic grande, menos susceptible a inundaciones).

3.3.2.2. Factor de forma (Ff)

Fue definido por Horton, como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud del cauce principal (Cahuana & Yugar, 2009).

$$F_f = \frac{B}{LC} \quad (2)$$

Ancho promedio de la cuenca:

$$B = \frac{A}{L_c}$$

$$E_f = \frac{A}{L_c^2}$$

Donde:

B = Ancho Promedio de la cuenca, (Km)

A = Área de la cuenca, (Km^2)

L_c = Longitud de la cuenca, que se define como la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal, medida en línea recta.

Esta ecuación muestra que las cuencas no son similares en forma. A medida que el área aumenta, su relación A/L^2 disminuye, lo cual indica una tendencia al alargamiento en cuencas grandes. La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de caudales máximos (Figura 3), por lo que se han hecho numerosos esfuerzos para tratar de cuantificar este efecto por medio de un valor numérico (Cahuana & Yugar, 2009).

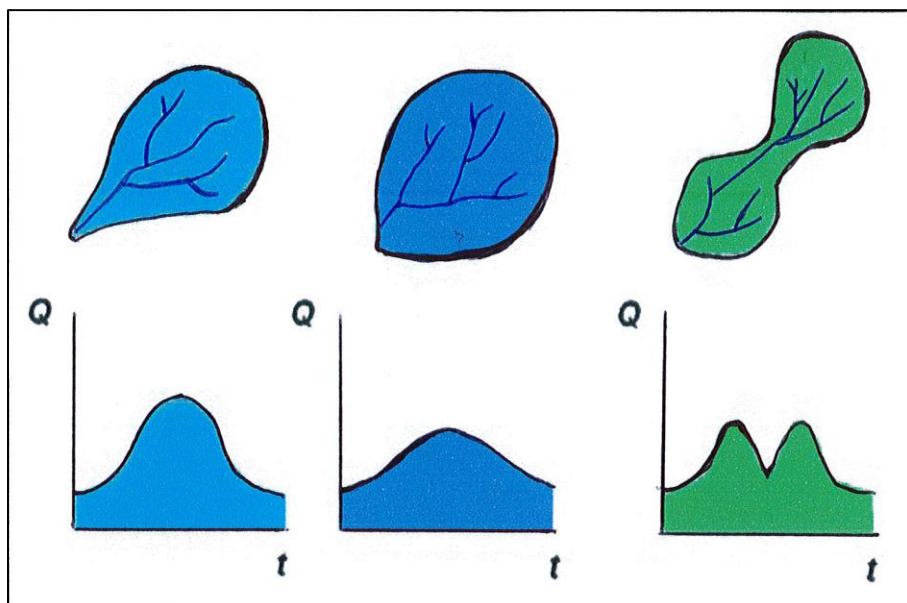


Figura 3. Diferentes Hidrogramas para cada tipo de cuencas

Fuente: (Cahuana & Yugar, 2009)

3.3.2.3. Coeficiente de forma (Kf)

Relación entre la anchura media B_m de la cuenca y la longitud media

$$K_f = \frac{B_m}{L} \quad (3)$$

Donde:

Bm = Ancho media de la cuenca

Lmc = Longitud media de la cuenca (distancia entre la salida y el punto más alejado de la cuenca).

3.3.2.4. Relación de elongación (Re)

Definido por Schumm, es la relación entre el diámetro de un círculo (D) de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca (Lc).

$$R_{e} = \frac{D}{Lc} \quad (4)$$

Expresando el diámetro en función del área de la cuenca (A) queda:

$$R_e = 1.1284 * \frac{\sqrt{A}}{Lc}$$

Si Re varía entre 0.60 y 1.00 cuenca con amplia variedad de climas y geologías.

Además, está fuertemente correlacionado con el relieve de la cuenca, de manera que valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo, en cambio donde Re que varía de 0.60 a 0.80 está asociado a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno.

Relieves y pendientes pronunciadas del terreno por que esta entre 0,6 y 0,8 (Cahuana & Yugar, 2009).

3.3.2.5. Relación de circularidad (Rci)

Relación de circularidad, (Rci), denominado también como radio, es el cociente entre el área de la cuenca (A) y la del círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca:

$$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (5)$$

Dónde: A=Área de la Cuenca en Km^2

P=Perímetro de la cuenca en Km.

Cuando Rci=1, la cuenca es circular y si Rci=0.785, la cuenca es cuadrada.

3.3.2.6. Ancho máximo (E)

El ancho máximo de la cuenca (E), que generalmente pasa próximo al centro de gravedad de la misma (Cahuana & Yugar, 2009).

3.3.2.7. Ancho medio (Bm)

El ancho medio de la cuenca, está definido por la relación:

$$Bm = \frac{A}{Lc} \quad (6)$$

3.3.2.8. Longitud de la cuenca (Lc)

La longitud de la cuenca (Lc), es la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal, medida en línea recta (Cahuana & Yugar, 2009).

3.3.2.9. Longitud al centro de gravedad (La)

La longitud al centro de gravedad (La), que corresponde a la distancia medida en línea recta desde el punto de concentración, al baricentro de la figura geométrica que corresponde a la cuenca, o hasta la proyección sobre el cauce principal (Cahuana & Yugar, 2009).

3.3.3. Parámetros de relieve

Para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores; entre los más utilizados son: pendiente de la cuenca, índice de pendiente, curvas Hipsométricas, histograma de fre

cuenca altimétricas y relación de relieve (Cahuana & Yugar, 2009).

3.3.3.1. Pendiente de la cuenca

La pendiente media de la cuenca tiene una importante pero compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas. Existen diversos criterios para evaluar la pendiente media de una cuenca (Cahuana & Yugar, 2009).

3.4. Contaminación del agua

La contaminación del agua de los ríos se puede dar de forma natural y antropogénica. La primera forma en base particularmente al arrastre de partículas o de gases atmosféricos, las cuales la capacidad natural de autodepuración hace que la mayor parte sea eliminada. La

segunda forma se debe principalmente a las industrias, vertidos urbanos, la navegación, la agricultura y la ganadería (Monge, 2016).

El agua es necesaria para cultivar y procesar alimentos, también brinda energía a la industria con el objeto de satisfacer a una población en constante crecimiento. La gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas, conlleva a que el agua que beben cientos de millones de personas se vea peligrosamente contaminada o polucionada químicamente. La contaminación del agua también provoca que parte de los ecosistemas acuáticos terminen desapareciendo por la rápida proliferación de algas invasoras que se nutren de todos los nutrientes que les proporcionan los residuos (Vasquez, 2017).

Un aspecto importante es la división del agua según su grado de contaminación:

- **La polisaprobia:** agua que está fuertemente contaminada con carbono orgánico, caracterizada por una población de organismos específicos y normalmente con una concentración muy baja e incluso total ausencia de oxígeno.
- **La mesosaprobiana:** los organismos que viven en medios con una cantidad moderada de materia orgánica y variable cantidad de O₂ en disolución, como algunas algas.
- **La oligosaprobiana:** zonas de vertido de aguas residuales a un río, donde las aguas han alcanzado el aspecto y características de su estado natural (Vasquez, 2017).

3.5. Fuentes de contaminación

Existen dos tipos de fuentes de contaminación Puntuales y No Puntuales

- **Las fuentes puntuales** descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías y alcantarillas. Ej: Fábricas, plantas de tratamiento de aguas negras, minas, pozos petroleros, etc., (Aguirre, 2011).
 - **Las fuentes no puntuales** son grandes áreas de terreno que descargan contaminantes al agua sobre una región extensa. Ej: Vertimiento de sustancias químicas, tierras de cultivo, lotes para pastar ganado, construcciones, tanques sépticos (Aguirre, 2011)
- Existen diferentes aspectos y elementos que contamina el agua como:

3.5.1. Agentes patógenos

Bacterias, virus, protozoarios, parásitos que entran al agua proveniente de desechos orgánicos. Los mismos que pueden ser descompuestos por bacterias que usan oxígeno para biodegradarlos. Si hay poblaciones grandes de estas bacterias, pueden agotar el oxígeno del agua, matando así las formas de vida acuáticas (Aguirre, 2011).

3.5.2. Sustancias químicas inorgánicas

Ácidos, compuestos de metales tóxicos (Mercurio, Plomo), envenenan el agua. Los nutrientes vegetales pueden ocasionar el crecimiento excesivo de plantas acuáticas que después mueren y se descomponen, agotando el oxígeno del agua y de este modo causan la muerte de las especies marinas (zona muerta) (Aguirre, 2011).

3.5.3. Sustancias químicas orgánicas

Petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes que amenazan la vida. Sedimentos o materia suspendida. Partículas insolubles de suelo que enturbian el agua, y que son la mayor fuente de contaminación (Aguirre, 2011).

3.5.4. Las sustancias radiactivas

Pueden causar defectos congénitos y cáncer. Ejemplo: Uranio para suministrar el combustible necesario para los reactores nucleares.

3.5.5. Calor

Ingresos de agua caliente que disminuyen el contenido de oxígeno y hace a los organismos acuáticos muy vulnerables (Aguirre, 2011).

3.6. Calidad del agua

La calidad del agua se define como el conjunto de características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, la relación entre esta calidad del agua y las necesidades del usuario. También la calidad del agua se puede definir por sus contenidos de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Coello, et al., 2014)

La calidad del agua está determinada por la presencia y la cantidad de contaminantes, factores físico-químicos tales como pH y conductividad, cantidad de sales y de la presencia de

fertilizantes. Los seres humanos tienen una gran influencia en todos estos factores, pues ellos depositan residuos en el agua y añaden toda clase de sustancias y de contaminantes que no están presentes de forma natural (Torres, et al., 2009), (Quiroz, et al., 2017).

Ante factores condicionantes como densidad poblacional, tipos de asentamientos, actividades productivas y sistemas tecnológicos, se presentan efectos como la desregulación de la disponibilidad espacial y temporal en la oferta hídrica, deterioro de las condiciones biológicas y fisicoquímicas del agua, conflictos intersectoriales e interterritoriales e imposibilidad de manejo integral de las cuencas (Hahn, et al., 2009), (Quiroz, et al., 2017).

3.7. Macroinvertebrados Acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos son todos aquellos organismos que viven en el fondo de ríos y lagos, adheridos a la vegetación acuática, troncos y rocas sumergidas. Sus poblaciones están conformadas por platelmintos, insectos, moluscos y crustáceos principalmente. Se les denomina macroinvertebrados, porque su tamaño va de 0.5mm hasta alrededor de 5.0mm, por lo que se les puede observar a simple vista (Roldán, 2016).

Los macroinvertebrados bentónicos se encuentran en todo tipo de ambiente acuático de agua dulce, como ríos o lagunas, donde son importantes para el monitoreo de ese ecosistema acuático en particular. También han sido muy utilizados como bioindicadores de la calidad de fuentes de agua. Esto se debe a sus características y requerimientos especiales que hacen a estos organismos muy sensibles a diversos impactos sobre las fuentes hidrográficas, como contaminación orgánica, química, desaparición de vegetación ribereña, entre otros (Arroyo, 2007).

Entre todos los grupos de organismos acuáticos, los macroinvertebrados constituyen el grupo de bioindicadores más utilizados a nivel mundial. Ellos proporcionan excelentes señales sobre la calidad ambiental del agua de los ríos, porque algunos requieren de una muy buena calidad para desarrollarse y sobrevivir, mientras que otros, por el contrario, crecen y abundan en aguas muy contaminadas. Esto se debe a que las diferentes especies tienen diferentes grados de sensibilidad a la contaminación de las aguas de los ríos (Guinard & Vega, 2013)

3.8. Bioindicadores

Un bioindicador aplicado a la evaluación de calidad de agua, es definido como: especie (o ensamble de especies) que poseen requerimientos particulares con relación a uno o a un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia/ausencia, número, morfología o de conducta de esa especie en particular, indiquen que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentran cerca de sus límites de tolerancia. Es decir, que un bioindicador es aquel cuyas respuestas biológicas son observadas frente a una perturbación ecológica y están referidos como organismos o sistemas biológicos que sirven para evaluar variaciones en la calidad ambiental (Roldán, 2016).

3.9. Índices más utilizados

Los índices más utilizados para el monitoreo del agua en los sistemas lóticos (ríos y riachuelos) y lénticos (lagos, lagunas) son:





- **El Índice Biológico Andino (ABI)**

Que es una modificación del Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), adaptado específicamente para arroyos entre los 2000 y 4000 m.s.n.m, por (Acosta, et al., 2009). Los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera son los mejor conocidos en cuanto a su taxonomía, ecología y su utilización como bioindicadores de la calidad del agua (Roldán, 2016).

- **El índice ETP (Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera)**

Este índice utiliza tres grupos de macroinvertebrados que son indicadores de la calidad del agua porque son más sensibles a los contaminantes. Estos grupos son: *Ephemeroptera* o moscas de mayo, *Plecoptera* o moscas de piedra y *Trichoptera*. Se usan estos grupos por su sensibilidad a la contaminación debido a que son los primeros en desaparecer cuando los ríos se contaminan (Roldán, 2016).

Tabla 1. Valores de referencia del índice ETP

Valor	Calidad del agua	Color
75 – 100 %	Muy buena	
50 – 74 %	Buena	
25 – 49 %	Regular	
0 – 24 %	Mala	

Fuente: (Moya, et al., 2011)





- **El Índice Biológico Andino (ABI)**

El Índice Biológico Andino (ABI) como ya se explicó anteriormente, es una modificación del Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) original, modificado y adaptado específicamente para arroyos entre los 2000 y 4000 m.s.n.m, por (Acosta, et al., 2009), para interpretar mejor a las comunidades de macroinvertebrados que se encuentran en los paramos de america del sur.

Este índice relaciona la presencia o ausencia de grupos de organismos identificados hasta el nivel taxonómico de familia y su nivel de tolerancia a la contaminación hídrica.

Permite determinar una escala de valores para la comunidad en estudio y resume los puntajes en categorías de calidad ambiental basadas en información regional de tipo fisicoquímica. Debe tenerse en cuenta variaciones de tipo ecológico para definir las familias predominantes de la comunidad y sus niveles de sensibilidad a calidad de agua (Bautista, 2009).

Tabla 2. Significado de los valores del índice biológico (A.B.I.) a utilizarse en la investigación

Valor	Calidad	Color
>74	Muy bueno	
45 – 74	Bueno	
27 – 44	Regular	
< 27	Malo	

Fuente: (Acosta, et al., 2009)

- **El Índice de Calidad del Agua (ICA NSF)**

El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, el agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100%.






El índice de calidad de agua por Brown en una versión modificada del ICA, que fue desarrollada por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU (NSF) que, en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creo y diseño un índice estándar llamado Índice De Calidad Del Agua (ICA) (Greenberg, et al., 1992).

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo.

Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no. Para la determinación del ICA intervienen 9 parámetros (Greenberg, et al., 1992), los cuales son :

1. Coliformes Fecales (en NMP/100mL)
2. pH (en unidad de pH)
3. Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅ en mg/L)
4. Nitratos (NO_3 en mg/L)
5. Fosfatos (PO_4 en mg/L)
6. Cambio de la Temperatura (en °C)
7. Turbidez (en FAU)
8. Sólidos disueltos totales (en mg/L)
9. Oxígeno Disuelto (OD en % saturación).

Tabla 3. Valores del índice de Calidad de Agua

Calidad	Valor	Color
Excelente	91 -100	
Buena	71 -90	
Mediana	51 -70	
Mala	26 -50	
Muy mala	0 -25	

Fuente: (Greenberg, et al., 1992)

3.10. Carga contaminante

El nivel de contaminación presente en un cuerpo de agua se denomina carga contaminante. Para determinar la carga contaminante se utiliza la relación que multiplica el caudal en el punto

de muestreo por el valor resultante de cada parámetro físico químico de acuerdo a la siguiente ecuación: (Toledo, 2015).

$$C_c = Q * [C] \quad (7)$$

Dónde:

Cc: Carga contaminante

Q: Caudal (m^3),

[C]: Concentración del parámetro kg/m^3

4. METODOLOGÍA

4.1. Caracterización del área de estudio

4.1.1. Delimitación del área de estudio e identificación de usos de suelo

Con la ayuda de sistemas de información geográfica y la cartografía del Instituto Geográfico Militar (IGM) escala 1:50000, se delimitó la microcuenca del río Patulú, posteriormente se realizó la cartografía referente a la ubicación, accesibilidad y los diferentes usos de suelo, con el objetivo de adquirir una información aproximada de los diferentes factores de presión y tipos de contaminación presentes en la micro cuenca.

4.1.2. Selección y descripción de los puntos de muestreo

Para realizar el monitoreo de los parámetros físicos químicos y bioindicadores acuáticos se realizó una visita de campo previa a la zona de estudio, en el mes de mayo del 2017, donde se evidencio factores importantes como: ubicación geográfica, condiciones climáticas, accesibilidad al sitio a muestrear, vegetación ribereña, usos de suelo y elementos de presión que intervienen en la calidad del agua en la microcuenca (Déley & Santillán, 2016). Para ubicar los puntos de muestreo se utilizó el software ArcGis 10.x; el cual permitió elaborar los mapas de ubicación de la microcuenca y la georreferenciación del cauce principal, donde se ubicaron los 5 puntos de muestreo los mismos que están distribuidos de forma aleatoria en toda la MCRP.

4.2. Medición de Caudales

Para nuestro estudio se empleó el método del flotador según (Altamirano, 2013), en donde procedemos a medir diferentes profundidades a lo ancho del río para tener una profundidad promedio, luego se procedió a medir el ancho del río para poder calcular el área transversal. Posteriormente se ubicó un flotador en la superficie del río, para cronometrar la distancia que recorre, la misma que fue seleccionada de 5 metros y así poder determinar la velocidad.

4.2.1. Fórmula para determinar el caudal del río

Mediante la siguiente formula se obtuvo la información de caudales de los distintos puntos de muestreo.

$$Q = V * A_T * K \quad (8)$$

Dónde:**Q** = Caudal m³/s**V** = Velocidad en m/s**A_T** = Área transversal**K** = Factor de corrección para ríos con una profundidad mayor a 15 cm.**4.3. Periodo y frecuencia de monitoreo**

Para la recolección de las muestras de los parámetros físico-químicos y de bioindicadores acuáticos se realizaron muestreos durante los meses de julio a septiembre del 2017 (temporada seca) con un total de 8 muestreos periódicos cada 10 días (Déley & Santillán, 2016). In situ fueron medidos parámetros físico-químicos como: oxígeno disuelto (OD), temperatura (T), sólidos disueltos totales (SDT) y potencial de hidrogeno (pH) mediante el equipo multiparámetro HACH HQ40d.

Se realizaron muestreos de tipo compuesto, en cada punto, tomando 3 muestras simples y cubriendo todo el ancho del río y su profundidad.

Los análisis ex situ de los diferentes parámetros a ser analizados se lo realizó en el Laboratorio de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Se obtuvieron 1000 ml de agua en botellas de plástico para los análisis físico-químicos en el laboratorio, los cuales fueron (nitratos, fosfatos, DBO_5 y turbidez), además se realizó el análisis de coliformes fecales para el cual se tomaron 100ml en frascos estériles.

Para su conservación, transporte y posterior análisis en el laboratorio, se ubicaron las muestras en un cooler con geles refrigerantes.

El análisis de los parámetros establecidos en el estudio, se siguieron mediante los ensayos detallados a continuación.

Tabla 4. Métodos de ensayo empleados en Laboratorio Servicios Ambientales UNACH

PARÁMETRO	METODO DE ENSAYO
Nitratos	STANDARD METHODS 4500 - NO3 - E mod
Fosfatos	STANDARD METHODS 4500 - P - E
DBO_5	STANDARD METHODS 5210 - B
Turbidez	STANDARD METHODS 2130 B
Coliformes fecales	STANDARD METHODS 9221 - B

Fuente: (Greenberg, et al., 1992)

4.4. Recolección y muestreo de bioindicadores

El muestreo de bioindicadores se realizó mediante una red tipo D, que nos ayude a cubrir los diferentes hábitats del río, se removió el sustrato del fondo del río con la ayuda del pie y se coloca la red río abajo para poder atrapar los macroinvertebrados presentes en el área, así se realizó 3 réplicas en un tramo de 10 metros cubriendo los márgenes del río.

Las muestras obtenidas se colocaron en una bandeja blanca para su identificación y recolección, mediante una pinza entomológica. Los especímenes separados se colocaron en frascos de plásticos de boca ancha de 1 litro debidamente etiquetados, con formol al 10% para la conservación y su posterior identificación en el laboratorio.

4.4.1. Identificación de bioindicadores en el laboratorio

Para la identificación de los bioindicadores acuáticos utilizamos los siguientes materiales:

- Pinzas
- Bandeja blanca
- Alcohol industrial
- Cajas Petri
- Filtro artesanal
- Estereoscopio
- Envases plástico pequeños
- Láminas de identificación de macroinvertebrados

Se abrió los envases con las muestras traídas de campo, procediendo a lavar la muestra con abundante agua y con movimientos circulares en nuestro filtro artesanal para la separación del sustrato presente en las muestras de los macroinvertebrados, cuando la muestra está limpia la trasvasamos en la bandeja blanca con un poco de agua limpia, comenzamos a separar a los macroinvertebrados para su posterior identificación en el estereoscopio. Las muestras se identificaron y contaron hasta establecer las diferentes familias utilizando las láminas de identificación de macroinvertebrados (Santillán & Déley, 2016).

4.5. Cálculo del índice ABI

Para el cálculo del índice ABI se identificó a los macroinvertebrados hasta el nivel de familia. Este índice toma en cuenta el grado de sensibilidad que tienen las diferentes familias de macroinvertebrados a los contaminantes, así como se indica en la tabla siguiente.

Para el cálculo del índice se sumó las puntuaciones de los macroinvertebrados identificados, esta suma nos da el valor del índice (Rosero y Fossati, 2009).

Tabla 5. Puntuación del índice Biológico Andino A.B.I

Orden	Familia	Puntuación	Orden	Familia	Puntuación
				Helicopsychidae	10
Turbellaria		5		Calamoceratidae	10
Hirudinea		3		Odontoceridae	10
Oligochaeta		1		Leptoceridae	8
	Ancylidae	6		Polycentropodidae	8
	Physidae	3		Hydroptilidae	6
Gasteropoda	Hydrobiidae	3	Trichoptera	Xiphocentronidae	8
	Limnaeidae	3		Hydrobiosidae	8
	Planorbidae	3		Glossosomatidae	7
Bivalvia	Sphaeriidae	3		Hydropsychidae	5
Amphipoda	Hyalellidae	6		Anomalopsychidae	10
Ostracoda		3		Philopotamidae	8
Hydracarina		4		Limnephilidae	7
	Baetidae	4	Lepidoptera	Pyralidae	4
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	10		Ptilodactylidae	5
	Leptoxyphidae	7		Lampyridae	5
	Oligoneuridae	10		Psephenidae	5
	Aeshnidae	6		Scirtidae (Helodidae)	5
	Gomphidae	8		Staphylinidae	3
Odonata	Libellulidae	6	Coleoptera	Elmidae	5
	Coenagrionidae	6		Dryopidae	5
	Calopterygidae	8		Gyrinidae	3
	Polythoridae	10		Dytiscidae	3
Plecoptera	Perlidae	10		Hydrophilidae	3
	Gripopterygidae	10		Hydraenidae	5
	Veliidae	5		Blepharoceridae	10
	Gerridae	5		Simuliidae	5
Heteroptera	Corixidae	5		Tabanidae	4
	Notonectidae	5		Tipulidae	5
	Belostomatidae	4		Limoniidae	4
	Naucoridae	5		Ceratopogonidae	4
				Dixidae	4
			Diptera	Psychodidae	3
				Dolichopodidae	4
				Stratiomyidae	4
				Empididae	4
				Chironomidae	2
				Culicidae	2
				Muscidae	2
				Ephydriidae	2
				Athericidae	10
				Syrphidae	1

Fuente: (Acosta, et al., 2009)

4.6. Cálculo del índice ETP

El cálculo del índice ETP se lo realizó después de la identificación de los macroinvertebrados, hasta el nivel de familias de cada una de las muestras, posteriormente se procedió a calcular el total de individuos de una muestra, además del total de individuos de los grupos ETP identificados. El valor total de ETP presentes se divide para el valor del total de individuos identificados, el resultado se multiplica por 100 para obtener el porcentaje de la calidad de agua, comparamos con los valores de referencia del índice ETP, y establecemos la calidad del agua de cada punto (Moya, et al., 2011), (Romero & Zúñiga, 2017).

4.7. Cálculo del índice ICA NSF

Para el cálculo del índice ICA NSF de Brown se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices (ICA) (Ecuación 9).

Estas agregaciones se expresan matemáticamente de la siguiente manera:

$$ICA_{NSF} = \sum_{i=1}^9 (I_i * W_i) \quad (9)$$

Dónde:

w_i: Pesos relativos asignados a cada parámetro (I_i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

I_i: Subíndice del parámetro i.

Tabla 6. Pesos relativos para cada parámetro del ICA NSF

i	I_i	W_i
1	Coliformes Fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO ₅	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos Totales	0.08
9	Oxígeno Disuelto (%)	0.17

Fuente: (Greenberg, et al., 1992)

4.8. Cálculo de la carga contaminante

Para determinar la carga contaminante se realizó mediante el cálculo de la fórmula descrita a continuación, donde se multiplica el caudal promedio por el valor obtenido de cada uno de los parámetros físico-químicos, así se obtienen el valor de carga contaminante por cada punto de muestreo (Toledo, 2015).

$$C_c = Q * [C] \quad (10)$$

Dónde:

Cc: Carga contaminante

Q: Caudal (m³),

[C]: Concentración del parámetro kg/m³

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Microcuenca del río del Patulú

La microcuenca del río Patulú (MCRP), está ubicada en la región Sierra de Ecuador, al norte de la provincia de Chimborazo, en el cantón Guano, parroquia San Isidro (Figura 4), se encuentra formando parte de la Subcuenca del río Chambo que desemboca en el afluente del río Pastaza. La MCRP, tiene un área de 7774,00 ha, con rangos de elevación que van desde los 2801 y 4329 m.s.n.m., (PDOT, 2015).

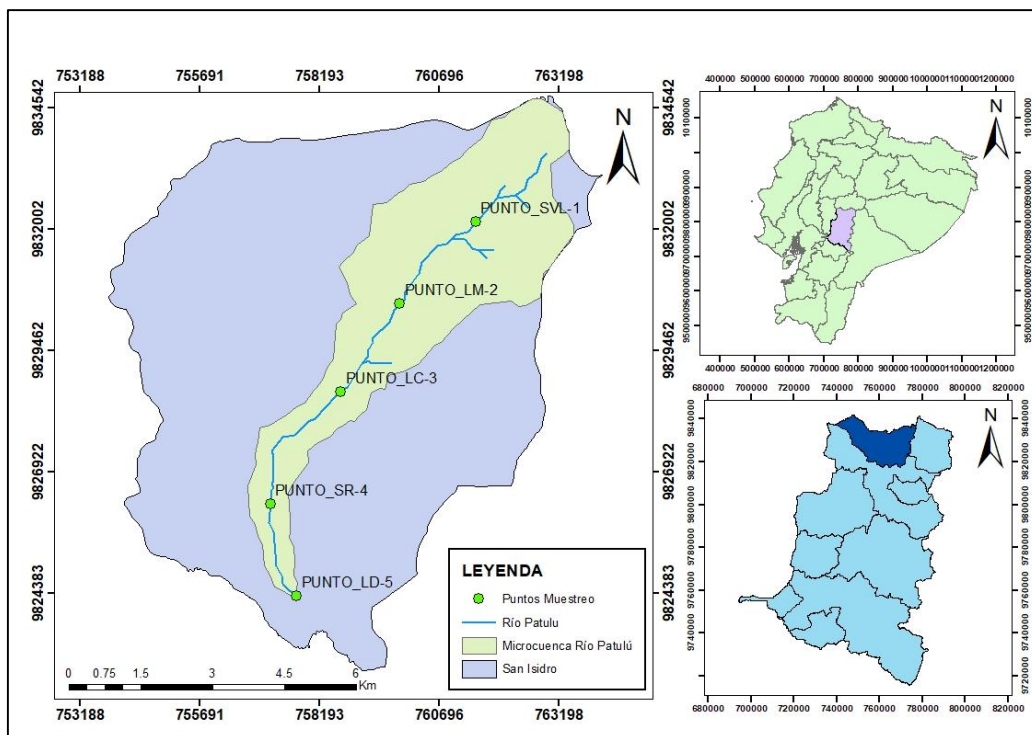


Figura 4. Ubicación del área de estudio

En la MCRP se puede encontrar cuerpos de agua y zonas de páramo como la del Igualata, que representa la fuente de recurso hídrico más importante de la parroquia; además de alimentar numerosas quebradas que van desde el norte hacia el sur (PDOT, 2015). La topografía de la zona es de tipo irregular, con pendientes que van desde 5 a 70 %, característico de la cordillera de los Andes.

5.2. Codificación y georreferenciación de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo implementados son instrumentos que permiten estudiar la dinámica y el comportamiento de los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua en la MCRP. De ahí que para el desarrollo de la presente investigación fue necesario

implementar 5 puntos de muestreo (Tabla 7), los mismos que están debidamente georreferenciados y ubicados de acuerdo a las condiciones topográficas del lugar, la accesibilidad y fuentes de contaminación; a fin de obtener información fiable y oficial que puede ser utilizadas en la toma de decisiones de las organizaciones en torno al quehacer actual y al camino que deben recorrer en el futuro para una adecuada planificación del territorio.

Tabla 7. Puntos de muestreados en la microcuenca del río Patulú

Nº	Lugar de muestreo	Código de Identificación (ID)	Característica del sector	CORDENADAS UTM WGS 1984 17 S		
				X	Y	Altitud m.s.n.m.
1	San Vicente de Laguinde	SVL-1	Área rodeada de pastizales y vegetación ribereña.	758060	9828017	3339
2	La Mina	LM-2	Área con presencia de material pétreo, el suelo erosionado, escasa vegetación.	757711	9827788	3309
3	La Cascada	LC-3	Área colindante con una pequeña cascada con presencia de vegetación y pastizales.	757723	9827775	3053
4	San Rafael	SR-4	Área alterada entrópicamente, existe alteración del ecosistema, actividades agrícolas y ganaderas.	757191	9825746	3046
5	La delicia	LD-5	Área con presencia de actividades agrícolas y ganaderas.	757330	9825059	2953

5.3. Usos del Suelo

El uso del suelo se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan sobre la cobertura vegetal, con el fin de generar bienes y servicios a favor de la población. Esta es una de las razones por las que los ecosistemas terrestres y en especial el recurso hídrico han sufrido grandes transformaciones en lo concerniente a su ciclo hidrológico, lo cual trae como consecuencia una reducción del caudal. Además, el reemplazo de la vegetación ribereña afecta principalmente al desarrollo de larvas de insectos que son base importante de la cadena trófica (Giraldo, et al., 2014).

En la MCRP se pueden encontrar cuerpos de agua natural, zonas de páramo y zonas de pasto cultivado, cultivos de ciclo corto y plantaciones forestales. Los suelos de la MCRP son de tipo Andosoles, suelos de origen volcánico, muy profundos con un horizonte superficial de gran espesor (Quichimbo, et al., 2012). El factor climático es determinante en originar la diversidad de tipos de suelos presentes en el área; sin embargo, es necesario considerar que otros factores tales como la topografía, la composición y la permeabilidad de la ceniza y la edad de formación también inciden notablemente en la diferenciación de los suelos (Calvache, 2014).

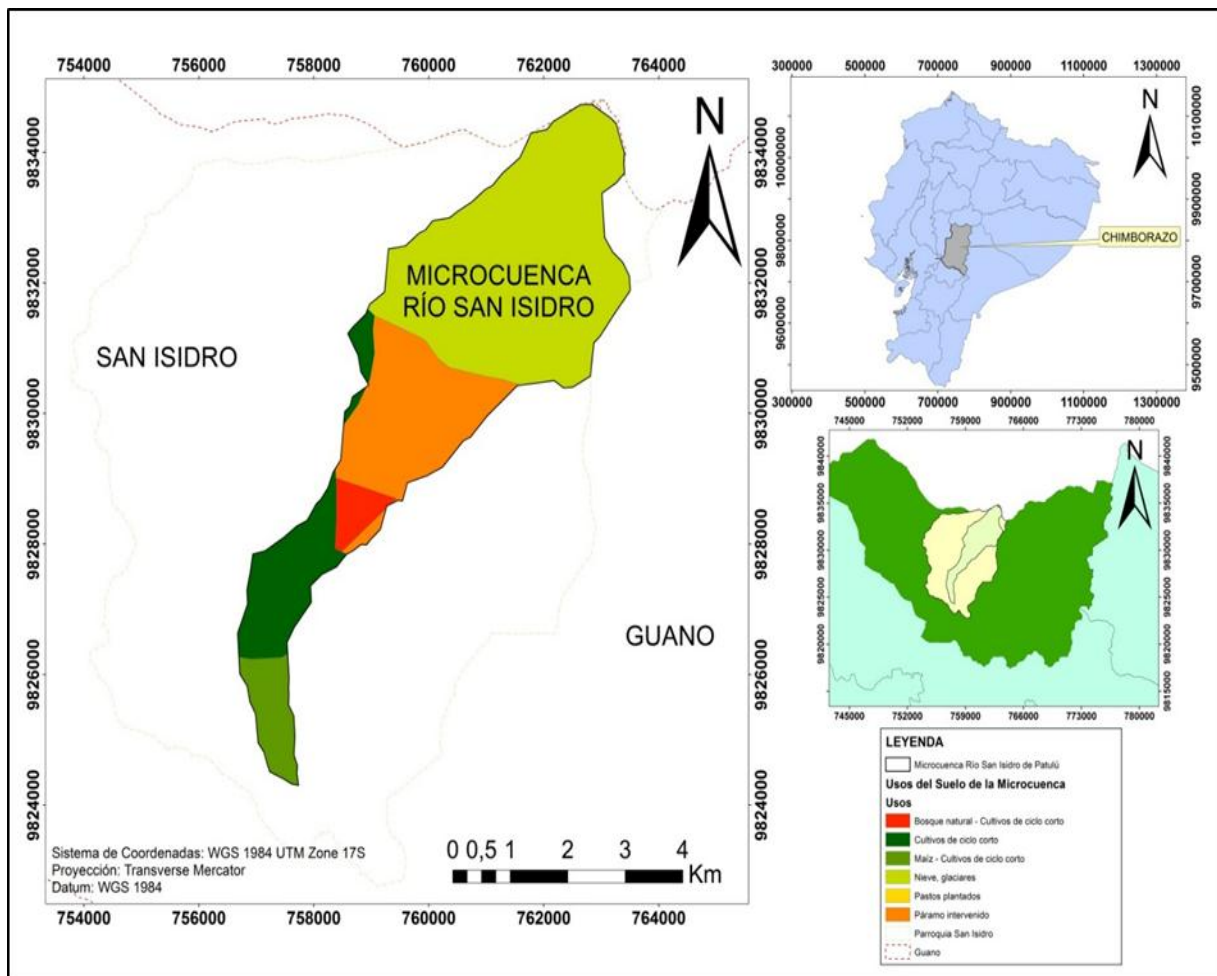


Figura 5. Usos de suelo de la microcuenca del río Patulú

En cuanto a la clasificación de los suelos presentes en la MCRP, se puede observar un predominio de cultivos de ciclo corto (57,66%), seguido del páramo (18,69%), área erosionada (7,21%), bosque natural (6,68%), plantación forestal (5,90%), pastos cultivados (3,00%) y la zona urbana (0,86%) (Tabla 8). Como podemos notar las actividades agrícolas, son las que han incrementado de forma alarmante durante los últimos años, representan uno de los principales factores por los cuales han ocurrido cambios en esta microcuenca.

Tabla 8. Usos de suelo de la parroquia San Isidro de Patulú

Cobertura	Principales usos	Extensión (ha)	% de Área
Bosque Natural	Vegetación natural	516,96	6,68
Cultivos de Ciclo Corto	Cultivos (maíz, papas, cebada, haba hortalizas y arveja)	4464,69	57,66
Pasto cultivado	Pastoreo	232,89	3,00
Plantación forestal	Reforestación	456,44	5,90
Área erosionada	Área en proceso de erosión con cultivos estacionarios	558,35	7,21
Páramo	Páramo	1447,77	18,69
San Isidro	Zona urbana	66,90	0,86
Total		7744,00	100,00

Fuente: (PDOT, 2015)

5.4. Caudal

En la tabla 9 se presenta los caudales promedios medidos durante el periodo de monitoreo en el río Patulú. En los puntos 1, 2 y 3 se evidencia un caudal alto en contraste de los puntos 4 y 5 debido a que aguas abajo las comunidades aledañas utilizan el recurso hídrico de la MCRP, para regadío.

Tabla 9. Caudales totales por punto de monitoreo en la microcuenca del río Patulú

Punto de monitoreo	Sector	Caudal (m^3/s)
P1	San Vicente de Laguinde	0,113
P2	La Mina	0,107
P3	La Cascada	0,103
P4	San Rafael	0,042
P5	La Delicia	0,025

Los resultados obtenidos son comparaciones de las medianas y rangos de variación de los caudales máximos y mínimos fundamentados en el equilibrio volumétrico de las masas de agua de la MCRP. El análisis que se resumen en la Figura 6, permite ver como el caudal disminuye a medida que el cauce principal desciende. Así tenemos que el P1 registró el caudal máximo de $0,113 m^3/s$ y en el P5 presenta su mínimo caudal con $0,025 m^3/s$.

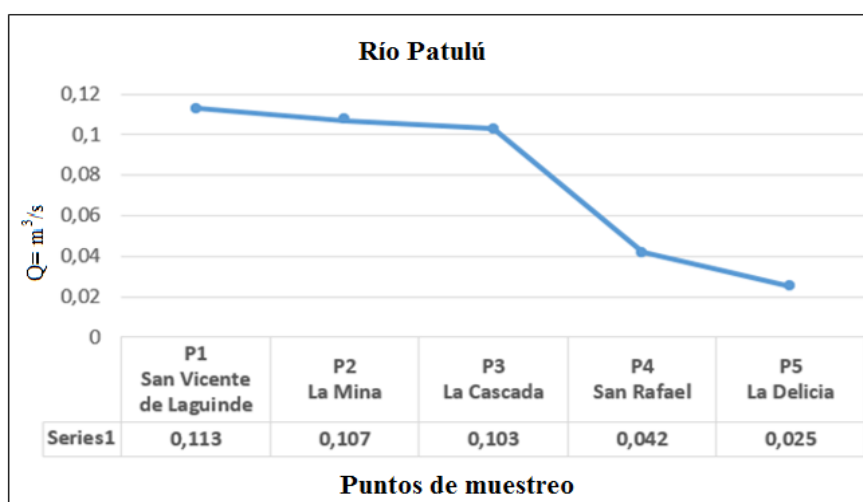


Figura 6. Hidrograma de caudales

5.5. Parámetros morfométricos

El análisis morfométrico permitió conocer algunas de las características físicas de la MCRP, con el propósito de entender de mejor forma su funcionamiento hidrológico. Esto sirve de base para comprender e interpretar su comportamiento, así como para evaluar de manera rápida la fragilidad frente a factores de riesgo como la erosión.

Tabla 10. Parámetros Morfométricos de la microcuenca del río Patulú

Parámetros	Unidad	Valor
Parámetros de Forma		
Área	km ²	21,09
Perímetro	km	28,95
Longitud Medio	km	8,69
Ancho Medio	m	2,42
Índice Compacidad	m	1,77
Relación Elongación	-----	0,60
Relación Circularidad	-----	0,31
Pendiente Media	Grados	38,33
Altitud Media	m.s.n.m.	3640,00
Cotas		
Cota Max	m.s.n.m.	4360,00
Cota Min	m.s.n.m.	2920,00
Centroides		
X Centroide	m	760215,85
Y Centroide	m	9830105,58
Z Centroide	m.s.n.m.	3777,89

El área determinada para la microcuenca del río Patulú es de 21,09 km². El perímetro de la microcuenca nos da 28,95 km. El Índice de Compacidad tiene un valor de 1,77 esto nos dice que es una cuenca irregular que tiene una forma alargada; la Longitud Media del cauce principal es de 8,69 km, el Ancho de la Microcuenca de 2,42 m, la Relación de Elongación es de 0,60 nos da que es una cuenca con amplia variedad de climas y geologías, además está fuertemente correlacionado con el relieve de la cuenca de manera que valores cercanos a la unidad son típicas de regiones con relieve bajo (Cahuana & Yugar, 2009). La relación de circularidad es de 0,31, la pendiente media es de 38,33 nos da que es Fuertemente Accidentado, la altitud que predomina es 3640,00, la cota máxima es de 4360,00 y la cota mínima es de 2920,00 m.s.n.m. los centroides nos da unos valores de X centroide 760215,85 m, Y centroide de 9830105,58 m y el Z centroide de 3777,89 m.s.n.m.

5.6. Calidad del agua

5.6.1. Parámetros físico – químicos

Los resultados obtenidos en Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, fueron sometidos a comparaciones y contrastados con valores establecidos (límites permisibles), en la normativa vigente (MAE, 2003); que establece condiciones para evaluar la calidad del agua mediante parámetros físico-químico y microbiológicos.

Tabla 11. Parámetros físico-químicos y microbiológicos del río Patulú

Nº	PARÁMETRO	UNIDADES	P1	P2	P3	P4	P5
1	Oxígeno disuelto (OD Saturación)	mg O ₂ /l	104,17	104,13	104,68	104,56	101,8
2	Coliformes fecales	NMP/100 ml	0,13	0,88	1,13	2,25	2,63
3	Potencial hidrogeno (pH)	-	8,36	8,48	8,46	8,10	8,28
4	DBO ₅	mg/l	6,98	6,97	6,99	6,93	6,84
5	Nitratos –N (NO ₃)	mg/l	14,71	11,13	14,28	11,29	11,16
6	Fosfatos (PO ₄)	mg/l	2,48	5,86	2,07	2,43	2,23
7	Cambio de temperatura	°c	7,66	7,53	7,61	5,31	6,31
8	Sólidos disueltos totales	mg/l	178,13	187,63	176,69	301,13	279,13
9	Turbidez	NTU	3,8	3,67	6,98	2,51	3,52

En la tabla 11 se muestra los resultados obtenidos, en cada uno de los puntos de muestreo de la MCRP, donde se puede observar que el OD presenta valores entre el 104%; coliformes fecales presenta su valor más alto en el P4 (2,63) y el valor más bajo se registró en el P1 (10,13);

el pH se mantiene básico con variaciones mínimas; el DBO5 se presenta dentro del rango de 10 el mismo que no supera el límite máximo permisible (MAE, 2015). Los nitratos son iones presentes de forma natural en el agua superficial, su presencia se debe básicamente al desarrollo de actividades naturales como antropogénicas. Los fosfatos encontrados en cada uno de los puntos de muestreo es debido al uso de fertilizantes fosfatados en los cultivo implementados en los flancos de la MCRP, quienes mediante procesos de escorrentía y percolación son arrastrados hasta el cauce principal afectando su estado natural (Rubio, et al., 2014).

En cuanto a los sólidos totales su mayor concentración se registró en el P5 (418,8) y la menor concentración en el P3 (176,69). El ultimo parámetro analizado es la Turbidez, la cual presento en el P4 (2,51) la concentración más baja y el P3 (6,98) se registros el más alto (Coello, et al., 2014). De ahí que los parámetros: pH, STD, Nitratos, pueden considerarse como no contaminantes, por encontrarse en los límites permisibles según el TULSMA (MAE, 2015).

5.6.2. Conductividad y solidos totales disueltos

La conductividad es una medida del grado de mineralización de las aguas, como también de la carga iónica presente. Los datos registrados en la MCRP oscilan entre (255 - 418,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$); esto indica que existe gran cantidad de materia ionizante producto de las actividades antrópicas que se desarrollan en los contornos de la MCRP y también por los continuos cambios en el uso del suelo.

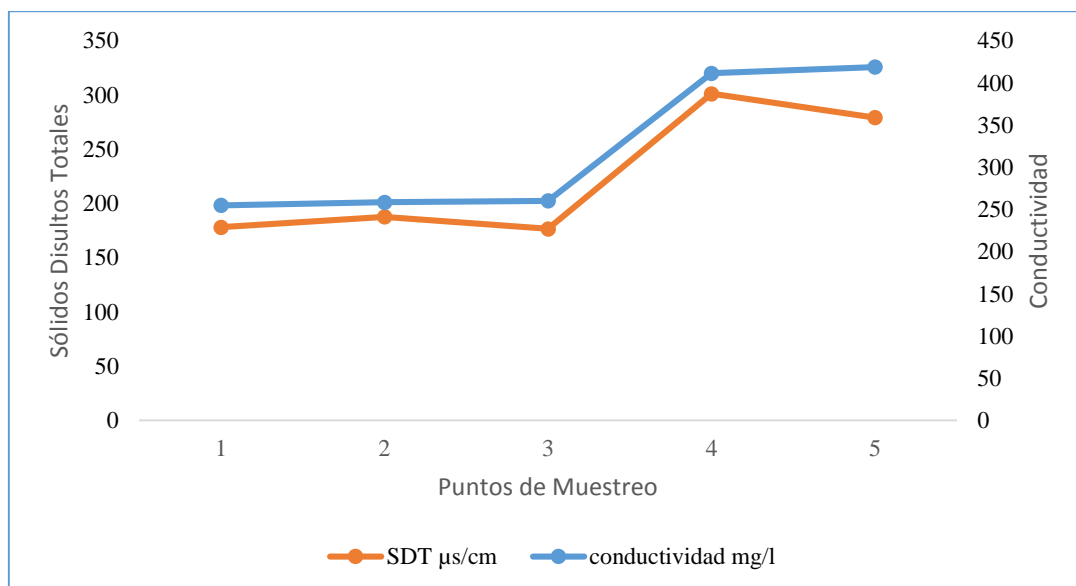


Figura 7. Conductividad y solidos totales disueltos

En soluciones acuosas la conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$), es directamente proporcional a la concentración de sólidos totales disueltos (mg/L); en tanto que cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica (Figura 7).

5.6.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO_5 y Oxígeno Disuelto (OD)

La DBO_5 y el OD han sido hasta ahora los dos parámetros de rutina para evaluar el consumo de oxígeno, carga orgánica y los posibles efectos potenciales de algunos agentes contaminantes. Es por ello que, conocer la relación que existe entre estos dos parámetros nos da una idea clara de calidad de agua de la microcuenca objeto de estudio.

En la figura 8 se presentan los valores de DBO_5 y OD, en donde se pueden apreciar que el DBO_5 siempre superan al OD; esto no quiere decir que los valores estén fuera de lo normal, por lo contrario podemos ver que los dos parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles, cumpliendo con la normativa ambiental vigente (MAE, 2015).

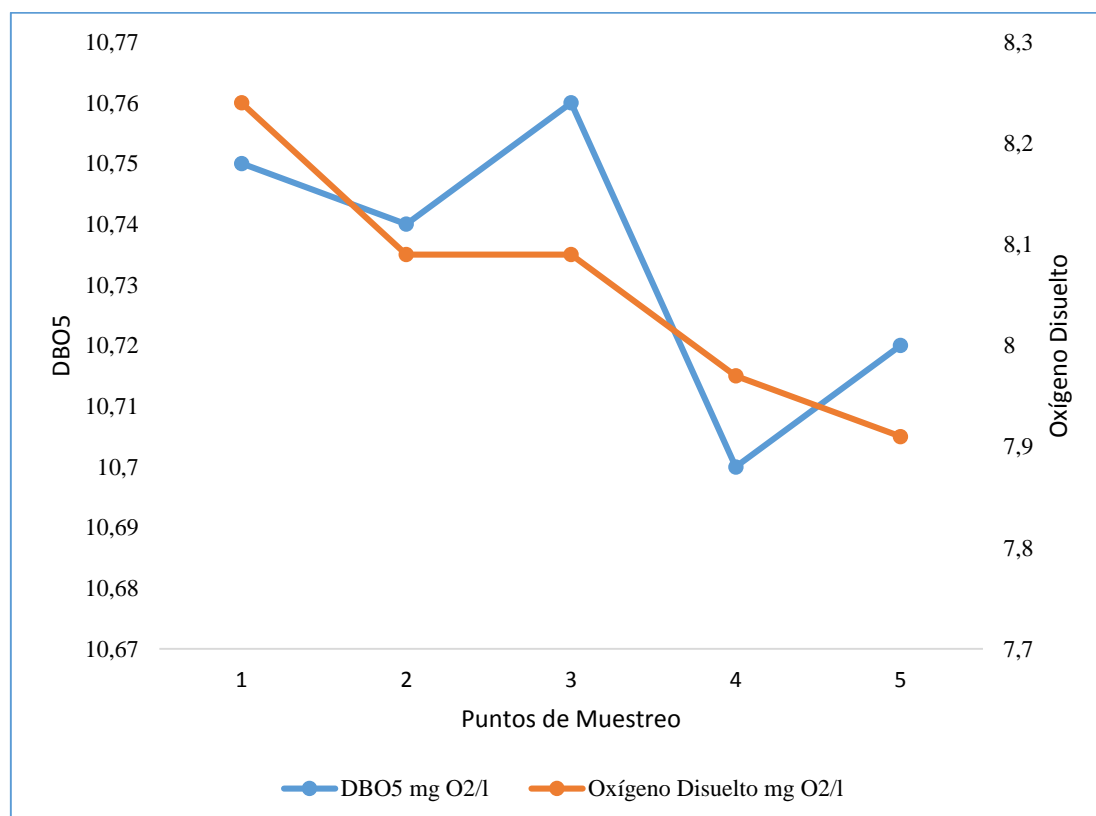


Figura 8. DBO_5 y OD

De ahí que concentraciones que superen los límites máximos permisibles se convierten en aguas peligrosas para la vida acuática. Uno de los principales factores que contribuyen al

cambio en los niveles de OD es el incremento de residuos orgánicos, puesto que su presencia genera un consumo excesivo de este elemento (Pérez, et al., 2012). Con lo expuesto anteriormente damos a conocer que una aproximación cuantitativa de la biodegradabilidad de un efluente va a estar dada por la relación de la DBO₅ y el OD (Pérez, et al., 2015).

5.6.4. Nitratos y Fosfatos

Los nitratos se encuentran en mayor concentración con relación a los fosfatos, los valores promedios de concentración (mg/L) que se reflejan en la figura 9, fueron obtenidos de las 8 salidas de campo. Por ello es importante dar a conocer que una alta concentración de nitratos puede originar el llamado fenómeno de eutrofización, acompañado de una posterior aparición de algas, convirtiéndole al agua en una amenaza para consumo humano (Villanueva & Esquivel, 2012).

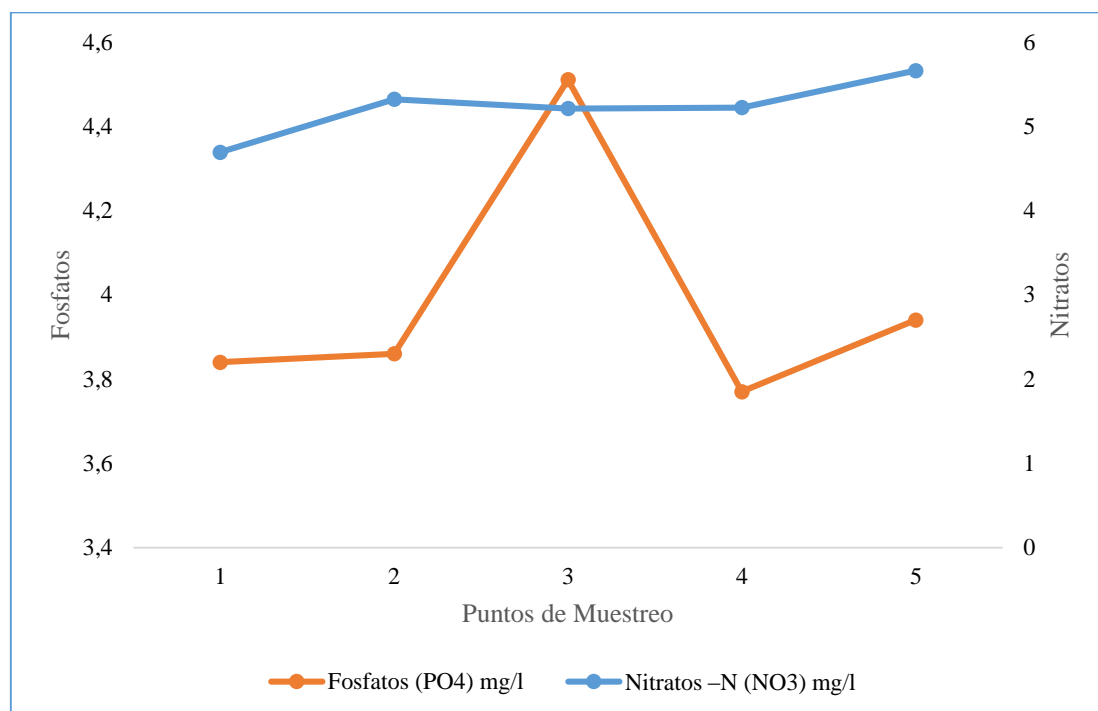


Figura 9. Nitratos y Fosfatos

5.7. Índice ICA NSF

El índice de calidad de agua toma en cuenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, es una forma de agrupación simplificada de algunos parámetros que indican el grado de contaminación de un afluente, al momento del monitoreo. En la tabla 8 se muestran

los resultados obtenidos durante 8 muestreos periódicos, durante dos meses, en donde arrojó valores de 77 y 78 %, lo cual recae en un agua de buena calidad. De ahí que la importancia de aplicar este índice es muy significativo debido a que permite evaluar y comprar valores entre dos o más puntos de muestreo a lo largo de la MCRP; además de ser una herramienta de gestión y planificación de los recursos hídricos (Aguirre, et al., 2016).

Tabla 12. Calidad de agua Río Patulú “ICA NSF”

Puntos de Muestreo	Lugar de muestreo	Valor determinado (%)	Calidad	Color
SVL-1	San Vicente	78	Buena	
LM-2	La mina	78	Buena	
LC-3	La cascada	78	Buena	
SR-4	San Rafael	77	Buena	
LD-5	La delicia	77	Buena	

5.8. Índices Biológicos

5.8.1. Índice ABI

El Índice Biológico Andino (ABI) modificado y adaptado específicamente para ríos de la región alto Andina, entre los 2000 y 4000 m.s.n.m; permite interpretar de mejor forma las comunidades de macroinvertebrados presentes en este tipo de ecosistemas acuáticos (Acosta, et al., 2009). Los resultados de calidad de agua (ABI), en los puntos de muestreo de la MCRP registran un agua de mala calidad (Tabla 13). Estos resultados son producto de los cambios de uso de suelo periódicos que ocurren al contorno de la microcuenca y también el uso de agua para riego ocasiona una reducción del caudal, lo que genera una disminución de la población de macroinvertebrados bentónicos.

Tabla 13. Calidad del Agua ABI río Patulú

Puntos de Muestreo	Lugar de muestreo	Promedio ABI	Calidad	Color
SVL-1	San Vicente de Laguinde	26	Malo	
LM-2	La Mina	22	Malo	
LC-3	La Cascada	18	Malo	
SR-4	San Rafael	26	Malo	
LD-5	La Delicia	26	Malo	

Se puede observar que hay 55 familias con 5445 individuos (figura 10). La presencia de estos organismos nos indica que hay un alto contenido de contaminación ya que el ABI toma en cuenta la sensibilidad de los organismos.

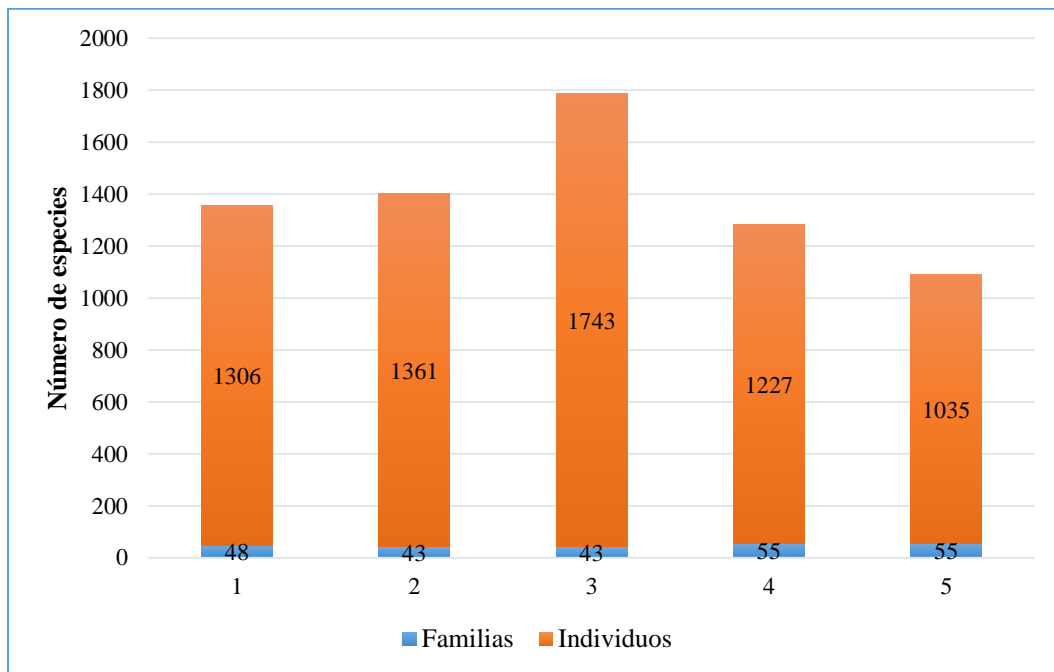


Figura 10. Variación de las familias y número de individuos en cada punto de muestreo, ABI

El análisis de la variación temporal del caudal e índice ABI, es inversamente proporcional, debido a que el bajo caudal observado a lo largo de la microcuenca durante el monitoreo se ve favorecido en la acumulación de materia orgánica, la cual se ve reflejada en un incremento en la densidad de macroinvertebrados bentónicos (Figura 11), quienes encuentran en esta condición una situación propicia para su multiplicidad dentro de la comunidad.

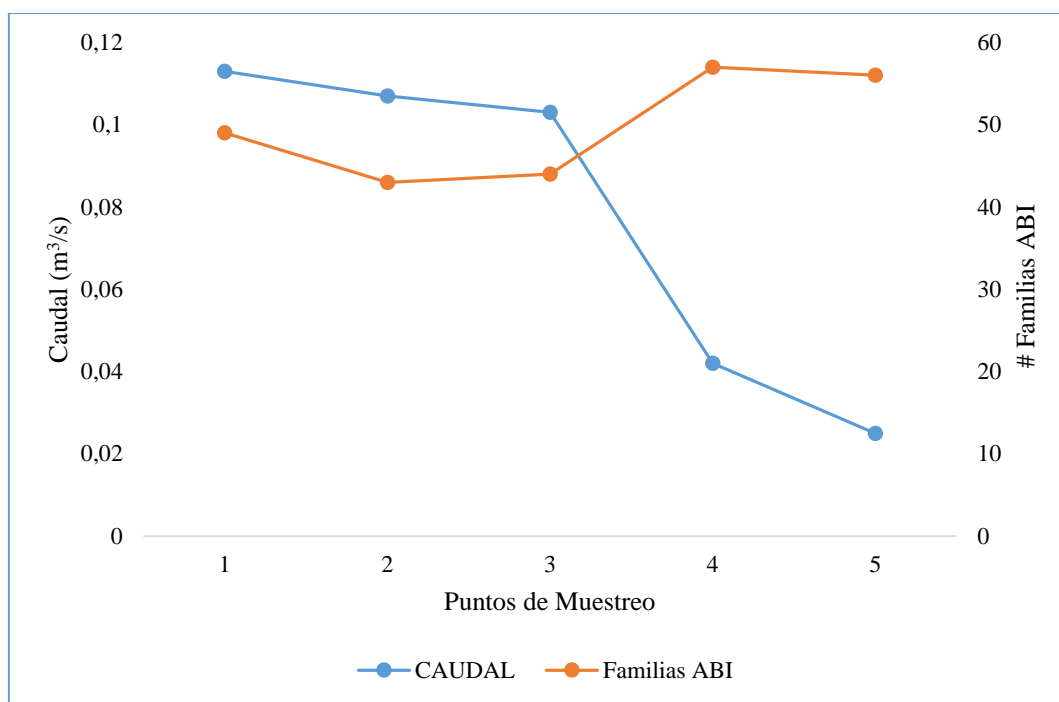


Figura 11. Variación temporal del caudal e índice ABI

5.8.2. Índice ETP

Los macroinvertebrados bentónicos, son organismos utilizados como bioindicadores de la calidad de los ecosistemas acuáticos. Este tipo de análisis presenta cierta ventaja en relación a otro tipo de estudio; debido a que analizamos los organismos presentes en el medio en que habitan, los cuales están ligados al río durante varios años. En la tabla 14 nos muestra el índice ETP, en donde los puntos P1 (77,15%), P2 (75,62%) y P3 (78,25%), presentan un agua de calidad muy buena, mientras que los P4 (65,09%) y P5 (62,46%), presentan un agua de buena calidad. Esta disminución se ve influenciado por las actividades antropogénicas y el asentamiento de comunidades en los flancos de la microcuenca.

Tabla 14. Índice ETP del río Patulú

Punto de muestreo	Sector	Promedio ETP	Calidad	Color
SVL-1	San Vicente de Laguinde	77,15%	Muy buena	Blue
LM-2	La Mina	75,62%	Muy buena	
LC-3	La Cascada	78,25%	Muy buena	
SR-4	San Rafael	65,09%	Buena	Green
LD-5	La Delicia	62,46%	Buena	

En el presente estudio, se encontraron 8 órdenes, distribuidos en 57 familias con un total de 5295 individuos, registrados en los cinco puntos de monitoreo (figura 12). La presencia de este grupo de organismos (ETP), es más usada por cuanto responden a las alteraciones ocasionadas

por las actividades humanas. De ahí que varios organismos han reaccionado a diferentes condiciones del hábitat, es por ello que una evaluación del recurso hídrico a través de este índice es importante para conocer su calidad (Meza, et al., 2012).

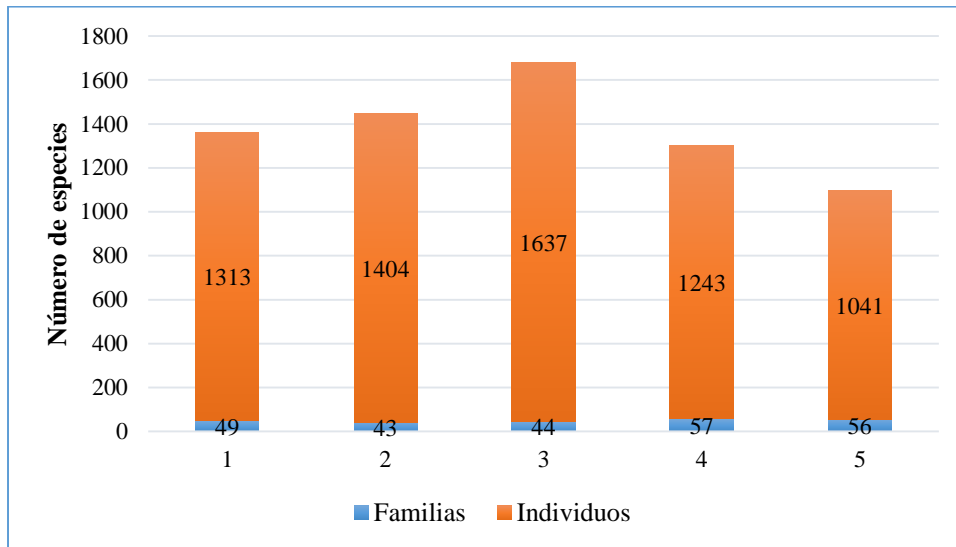


Figura 12. Variación de las familias y número de individuos en cada punto de muestreo, ETP

El análisis de la variación temporal entre el índice ETP y caudal, se ve favorecido en su disminución, lo que demuestra que a medida que el caudal se reduce el número de familias ETP se incrementa (Figura 13). Otra de las ventajas producto de esta disminución es el aumento de sedimentos, que hacen que genere en el sistema condiciones adecuadas para su establecimiento, permanencia y representatividad; además de facilitar la obtención de alimento, especialmente para aquellas especies de hábito colector recolector.

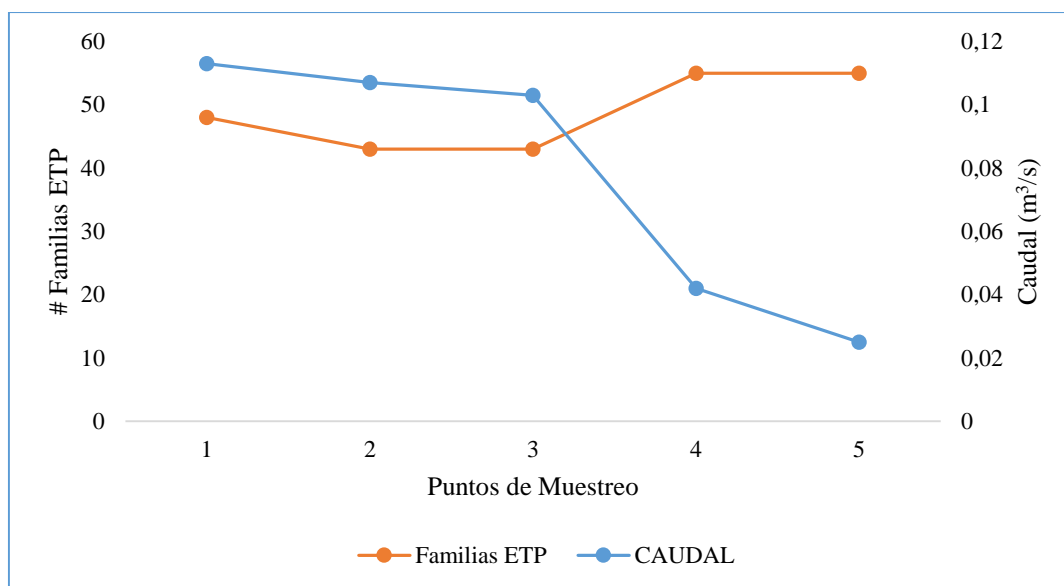


Figura 13. Variación temporal del caudal e índice ETP

5.9. Carga contaminante

La carga contaminante calculada para la MCRP, se representan en la tabla 15, mediante los resultados de los parámetros químicos analizados. Los valores obtenidos muestran una disminución cronológica a medida que el río desciende, lo que concuerda con la disminución de su caudal.

Tabla 15. Carga contaminante de la microcuenca del río Patulú

Nº	Parámetros	Unidad	San Vicente de Laguinde	La Mina	La Cascada	San Rafael	La Delicia
1	Nitratos -N (NO3)	kg/día	143,64	102,84	127,03	40,96	24,11
2	Fosfatos (PO4)	kg/día	24,17	54,12	18,37	8,80	4,811
3	STD	kg/día	1739,07	1734,55	1572,37	1092,72	602,91
4	DBO5	kg/día	5,00	4,84	4,31	2,21	1,21

Sin embargo, en la figura 14 se puede observar que la carga contaminante tiene un andamiento descendente a lo largo de los puntos de muestreo, disminuyendo su influencia en los últimos puntos, en concordancia con los caudales y contradictorio a los usos de suelo obtenidos, debido al nivel alto de autodepuración del recurso hídrico presente en la microcuenca.

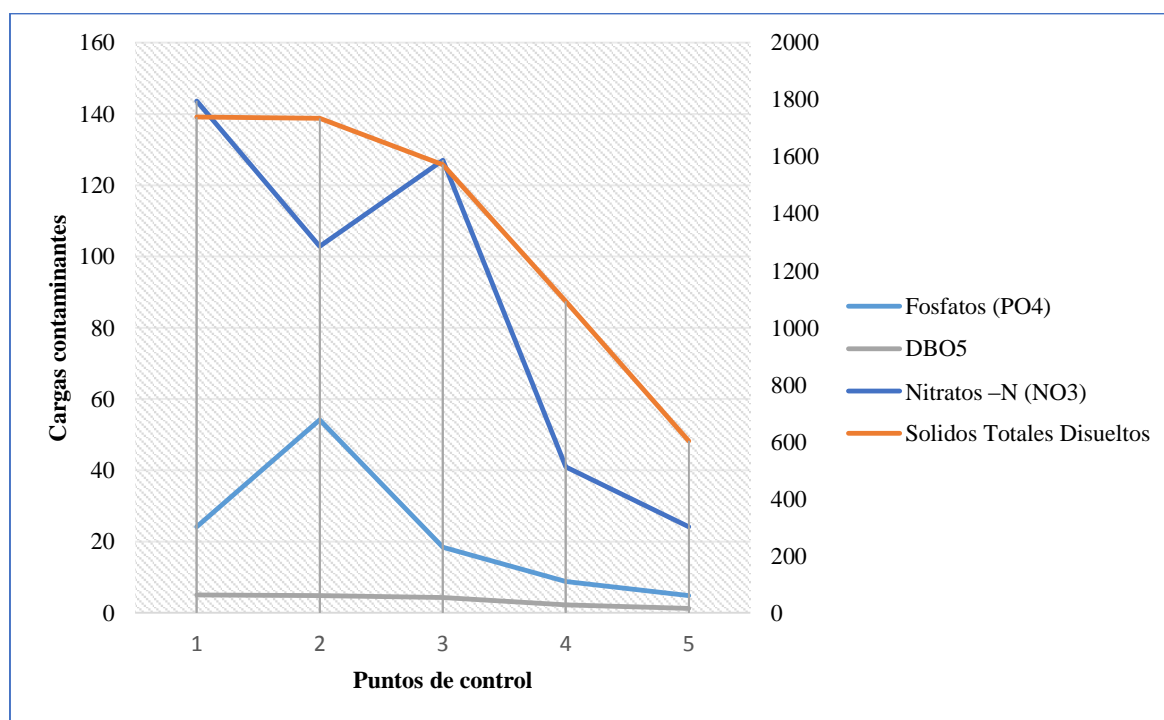


Figura 14. Carga contaminante del río Patulú

En el caso de que se presenten sólidos en suspensión por encima del límite máximo permisible, aumenta la turbidez de las aguas, afectando la fauna bentónica, en especial cuando son depositados en el fondo del río, llegan a cubrir el zooplancton y arrastran todos los bentos. También cuando existe la presencia de sólidos líquidos flotantes, en el río estos impiden el paso de luz a través del agua, afectando el crecimiento de plantas acuáticas que son el alimento de varios macroinvertebrados (Torres, et al., 2010).

Es importante también mencionar que los altos contenidos de materia orgánica provocan un consumo excesivo de oxígeno disuelto en el agua, creando olores desagradables, sobre todo cuando el río recibe descarga de aguas residuales. Esta disminución en el contenido de oxígeno es considerada como uno de los factores más importantes de contaminación, debido a que parte de la vida acuática hace un esfuerzo por obtener oxígeno para sobrevivir (Villamarín, et al., 2014).

Otro de los parámetros que afectan la calidad del agua es la conductividad, debido a que las sales endurecen el agua, lo que provocan incrustaciones en los sistemas de distribución; además de producir eutrofización, que en lo posterior pueden llevar a la ausencia de vida en el lecho del río (Guzmán, et al., 2011).

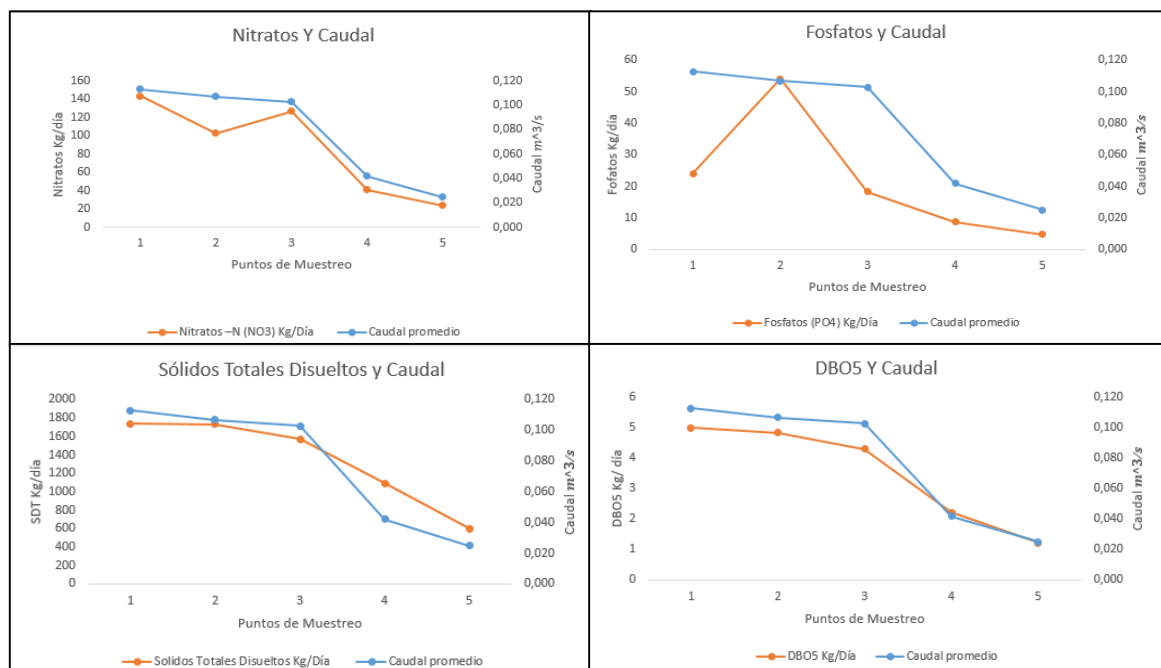


Figura 15. Carga contaminante y caudal

La figura 15 evidencia que la carga contaminante disminuye, conforme el caudal se reduce, este principio es importante tener en cuenta al momento de analizar el origen de las fuentes contaminantes y el inadecuado tratamiento que presentan las aguas residuales derivadas de la mayoría de estos procesos productivos, lo que puede contribuir al deterioro de la calidad de las aguas subterráneas. La intensidad de la carga contaminante dependerá en gran medida de la gran cantidad de actividades antrópicas que se desarrollen en los flancos de la microcuenca (Pérez, et al., 2012).

5.10. Correlación entre los parámetros físico - químicos y el índice ABI

La correlación entre parámetros físico-químicos e índice ABI, se basa en la influencia que pueden tener estas variables sobre la biota acuática (Pérez, et al., 2012). Se puede observar que el pH con el DBO₅ presenta un correlación inversamente proporcional de -0,856; mientras tanto el DBO₅ con el Cambio de Temperatura tienen una correlación inversamente proporcional de -0,850; el DBO₅ tienen una correlación fuerte de 0,859 con los SDT; los Fosfatos (PO₃) tienen una correlación inversamente proporcional fuerte de -0.863 con el ABI y el Cambio de Temperatura tiene una correlación inversamente proporcional fuerte de -0,993 con lo SDT (Tabla 16).

Tabla 16. Correlación parámetros físico – químicos e índice ABI

	OD % Saturación	pH	DBO5	Nitratos -N (NO3)	Fosfatos (PO4)	Cambio de Temperatura	SDT	Turbidez	% ABI
OD % Saturación	1								
pH	-0,117	1							
DBO5	-0,169	-0,856	1						
Nitratos -N (NO3)	0,620	-0,009	-0,356	1					
Fosfatos (PO4)	-0,200	-0,530	0,717	0,085	1				
Cambio de Temperatura	0,450	0,737	-0,850	0,643	-0,352	1			
SDT	-0,525	-0,712	0,859	-0,644	0,428	-0,993	1		
Turbidez	0,483	-0,613	0,361	-0,112	-0,285	-0,455	0,3501	1	
Porcent ABI	0,409	0,670	-0,707	-0,058	-0,863	0,551	-0,618	0,163	1

5.11. Correlación entre la carga contaminante de los parámetros ICA y el índice ABI

Se puede identificar que los SDT tiene una correlación fuerte de 0,921 con los Nitratos N (NO₃); en tanto que el DBO₅ tiene una correlación fuerte con los Nitratos N (NO₃) (0,951);

Fosfatos (PO₃) (0,751) y SDT (0,988) y los Nitratos N (NO₃) tiene una correlación moderada con los Fosfatos (PO₃) (0,529) (Tabla 17).

Tabla 17. Correlación carga contaminante e índice ABI

	Nitratos-N(NO ₃)	Fosfatos (PO ₄)	Sólidos Totales disueltos	DBO ₅	% ABI
Nitratos-N(NO ₃)	1				
Fosfatos(PO ₄)	0,529	1			
Sólidos Totales disueltos	0,921	0,745	1		
DBO ₅	0,951	0,751	0,988	1	
Porcentaje ABI	-0,497	-0,354	-0,473	-0,479	1

5.12. Correlación entre los parámetros físico – químicos y el índice ETP

La correlación entre el pH es inversamente proporcional fuerte con el DBO₅ (-0,856), el DBO₅ tiene una correlación inversamente proporcional fuerte con el cambio de temperatura (-0,850), el DBO₅, tiene una correlación fuerte con los SDT (0,859) y ETP (0,847), la correlación entre el Cambio de Temperatura con los SDT (-0,993) y el ETP (-0,983) son inversamente proporcional y los SDT tiene una correlación fuerte con el ETP (0,997) (Tabla 18).

Tabla 18. Correlación entre los parámetros físico – químicos y el índice ETP

	OD % Saturación	pH	DBO ₅	Nitratos – N (NO ₃)	Fosfatos (PO ₄)	Cambio de Temperatura	SDT	Turbidez	ETP
OD % Saturación	1								
pH	-0,117	1							
DBO ₅	-0,169	-0,856	1						
Nitratos –N (NO ₃)	0,620	-0,009	-0,356	1					
Fosfatos (PO ₄)	-0,200	-0,530	0,717	0,085	1				
Cambio de Temperatura	0,450	0,737	-0,850	0,643	-0,352	1			
SDT	-0,525	-0,712	0,859	-0,644	0,428	-0,993	1		
Turbidez	0,483	-0,613	0,361	-0,112	-0,285	-0,455	0,350	1	
ETP	-0,578	-0,681	0,847	-0,651	0,453	-0,983	0,997	0,284	1

5.13. Correlación entre la carga contaminante de los parámetros ICA y el índice ETP

Mediante el análisis de correlación se puede evidenciar que los Nitratos N (NO₃) presentan una correlación fuerte con los SDT, DBO₅ y ETP de manera directa lo que significa que si el DBO₅ crece los Nitratos N (NO₃) se incrementarán de igual manera; mientras que los Nitratos

N (NO_3) presenta una correlación moderada con los Fosfatos (PO_3). Para la variable Fosfatos (PO_3) consideramos correlaciones moderada con las variables ETP y SDT mientras que con la variable DBO_5 presenta una correlación fuerte. Para la variable SDT se presenta que existe correlación fuerte con las variables DBO_5 y ETP así mismo está correlacionadas fuertemente el DBO_5 con el ETP (Tabla 19).

Tabla 19. Correlación carga contaminante e índice ETP

	Nitratos-N(NO3)	Fosfatos (PO4)	Solidos Totales disueltos	DBO5	ETP
Nitratos-N(NO3)	1				
Fosfatos(PO4)	0,529	1			
Solidos Totales disueltos	0,921	0,745	1		
DBO5	0,951	0,751	0,988	1	
ETP	0,977	0,627	0,942	0,965	1

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- De la superficie total de 7774,00 ha que posee la microcuenca del río Patulú, se clasificó en siete clases de uso de suelo: cultivos de ciclo corto (57,66%), páramo (18,69%), área erosionada (7,21%), bosque natural (6,68%), plantación forestal (5,90%), pastos cultivados (3,00%) y la zona urbana (0,86%).
- En la MCRP se implementaron 5 puntos de muestreo, debidamente georreferenciados y ubicados de acuerdo a la topografía del lugar, la accesibilidad, fuentes de contaminación y dentro de un rango de elevación que va desde los 2801 y 4329 m.s.n.m.
- Del análisis morfométrico de la cuenca y la red de drenaje se desprende que la rapidez en la concentración de las aguas se ve favorecida especialmente por las fuertes pendientes (5-70%), más que por los índices de compacidad y elongación; la adopción de estas características es por cuanto la microcuenca se encuentra ubicada en la región alto andina, facilitando una rápida concentración de las aguas.
- Los valores de parámetros físico químicos y microbiológicos analizados durante el periodo de monitoreo oscilan entre: OD 104%; coliformes fecales presenta su valor más alto en el P5 (2,63) y el valor más bajo se registró en el P1 (0,13); pH se mantiene básico con variaciones mínimas; DBO₅ está dentro del rango de 10 el mismo que no supera el límite máximo permisible; los sólidos totales su mayor concentración se registró en el P4 (301,13) y la menor concentración en el P3 (176,69) y la Turbidez, presentó una variación en sus resultados siendo el P4(2,51) el valor más bajo y el P3(6,98) el valor más alto.
- La calidad del agua mediante el índice ETP, en los puntos P1 (77,15%), P2 (75,62%) y P3 (78,25%), es de calidad muy buena y en los puntos P4 (65,09%) y P5 (62,46%), es de buena calidad. Esta disminución se ve influenciado por las actividades antropogénicas y el asentamiento de comunidades en los flancos de la microcuenca.
- En los cinco puntos de monitoreo de la MCRP, se identificaron 8 órdenes distribuidos en 57 familias con un total de 5295 individuos de macroinvertebrados bentónicos.

- El agua en la microcuenca del río Patulú, según el índice ICA NSF es de buena calidad (77 y 78 %) en los cinco puntos de monitoreo, lo contrario se presenta con el índice ABI, el cual reporto un agua de mala calidad y el índice ETP en los puntos P1 (77,15%), P2 (75,62%) y P3 (78,25%), presentan un agua de calidad muy buena y en los P4 (65,09%) y P5 (62,46%) presentan un agua de buena calidad.
- De los resultados de la carga contaminante se concluye que estos valores van disminuyendo a medida que el río desciende, lo que concuerda con la reducción de los caudales y contradictorio a los usos de suelo obtenidos, debido al nivel alto de autodepuración del recurso hídrico presente en la microcuenca.

6.2. Recomendaciones

- Difundir los resultados del trabajo de investigación en la academia y los pobladores de estas áreas, para que conozcan los servicios que brinda la microcuenca, en especial el recurso hídrico, con la finalidad de crear conciencia ambiental y una cultura de conservación de ecosistemas frágiles.
- Se recomienda realizar monitoreos continuos de este tipo de estudios a fin de generar información tanto en épocas seca y lluviosa, para conocer el comportamiento de la calidad de agua en estos periodos.
- La protección y conservación de las microcuencas deben enfocarse en mejorar la calidad del agua debido a que este recurso es utilizado en muchos casos para riego, consumo humano y animal.
- La implementación de las prácticas de manejo de la microcuenca da mayores posibilidades de aumentar la producción agrícola, pecuaria y los ingresos económicos de las familias, aprovechando al máximo los recursos que nos proporcionan las microcuencas.

7. BIBLIOGRAFIA

- Naciones Unidas, 2014. Declaración sobre la calidad del Agua «UN Water».
- Acosta, E. & Martínez, A., 2010. *Agua un Derecho Humano Fundamental*. 1 Edición ed. Quito: Nadesha Montalvo Rueda.
- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. & Prat, N., 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28(1), pp. 35-64.
- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. & Prat, N., 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Revista Limnetica*, Volumen 28, pp. 35-64.
- Aguirre, M., 2011. La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista virtual REDESMA*, Volumen 5, p. 9.
- Aguirre, M., Vanegas, E. & García, N., 2016. Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(2), pp. 39-43.
- Altamirano, M., 2013. ESTUDIO HIDROQUÍMICO Y DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO MIRA. *Tesis de Ingeniería*. Quito: Universidad Central del Ecuador, pp. 27-30.
- Arco, I., 2005. Efecto del ancho de los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. *Tesis Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*. Turrialba, Costa Rica.
- Arroyo, D., 2007. *Evaluación de la calidad de agua de las fuentes hidrográficas del Bosque Protector Río Guajalito (BPRG) a través de la utilización de macroinvertebrados acuáticos*, Pichincha, Ecuador. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Bautista, K., 2009. *Estudio del aprovechamiento hídrico de la microcuenca del río Alao desde los usos de concesión*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Cahuana, A. & Yugar, W., 2009. *MATERIAL DE APOYO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE HIDROLOGIA CIV-233*. Bolivia: UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN.
- Calvache, M., 2014. *El suelo y la productividad agrícola en la Sierra del Ecuador*, en XIV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Esmeraldas: s.n.
- Coello, J. y otros, 2014. Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los Ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 16(31), pp. 66-71.

- Coello, J. R. y otros, 2014. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. *Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los Ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador*, 16(31), pp. 66-71.
- Déley, R. & Santillán, P., 2016. *Macroinvertebrados Bentónicos de las Microcuencas Jubal, Ozogoché y Zula Parque Nacional Sangay. Primera Ed.*. Riobamba-Ecuador: El Telegrafo EP.
- Espinosa, M. d. C., Leon, Y. & Rodríguez, X., 2013. Problemática de la determinación de especies nitrogenadas (nitrógeno total y amoniacal) en aguas residuales. *CENIC Ciencias Químicas*, 44(1).
- Giraldo, P. y otros, 2014. Impacto del uso del suelo agropecuario sobre macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la cuenca del río La Vieja (Valle del Cauca, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, Volumen 62, pp. 203-219.
- Greenberg, A., Clesceri, L. & Eaton, A., 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18a edición. En: Washington, D.C.: American Public Health Association, pp. 3-107.
- Guinard, J. & Vega, J., 2013. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del río Gariché , provincia Diversity and abundance of aquatics macroinvertebrates and water quality from high and low watersheds of Gariché river. *Chir*, 16(2), p. 61–70.
- Guzmán, G. y otros, 2011. Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), pp. 89-102.
- Hahn, C. y otros, 2009. Determinación de la Calidad del Agua mediante Indicadores Biológicos Y Físicoquímicos, En La Estación Piscícola, Universidad De Caldas, Municipio De Palestina, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 13(2), p. 89–105.
- J.P. Selecta, 2012. Método Kjeldahl. *Grupo-Selecta*.
- MAE, 2003. Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente Libro VI Anexo 1. En: *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua..* Quito: MAE.
- MAE, 2015. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua: Libro VI Anexo 1. En: *Texto Unificado De Legislación Secundaria de Medio Ambiente*. Quito: Corporación de Estudios y Publicaciones, pp. 1-80.
- Marañón, A., González, A., Rodríguez, Y. & Naranjo, C., 2015. ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE BIÓTICO BMWP-CUB Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN EL RÍO GASCÓN DE SANTIAGO DE CUBA. *Revista Cubana de Química*, 24(3), pp. 231-242.

- Meza, A., Rubio, M., Dias, L. & Walteros, J., 2012. Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná, Colombia. *Caldasia*, 34(2), pp. 443-456.
- Monge, S. A. B. B. M., 2016. Contaminación del agua. *Biocenosis*, 20(1-2).
- Moya, N., Domínguez, E., Goitia, E. & Oberdorff, T., 2011. Desarrollo de un índice multimétrico basado en macroinvertebrados acuáticos para evaluar la integridad biológica en ríos de los valles interandinos de Bolivia. *Ecología austral*, 21(2), pp. 135-147.
- Moya, N., Domínguez, E., Goitia, E. & Oberdorff, T., 2011. Desarrollo de un índice multimétrico basado en macroinvertebrados acuáticos para evaluar la integridad biológica en ríos de los valles interandinos de Bolivia. *Ecología austral*, 21(2), pp. 135-147.
- Naciones-Unidas, 2014. *Declaración sobre la calidad del Agua*. Nueva York: UN Water.
- Ordoñez, J., 2011. *Qué es cuenca hidrológica*, Lima, Perú.: Za. Novoa, Ed. (1st ed.)..
- PDOT, 2015. *Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Isidro*. Riobamba-Ecuador: s.n.
- Pérez, N. y otros, 2012. Estudio de la correlación entre el índice biótico bmwp-cub y parámetros físicoquímicos en el río Gascón de Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*, 24(3), pp. 231-242.
- Pérez, N. y otros, 2015. Estudio de la correlación entre el índice biótico BMWP-CUB y parámetros físicoquímicos en el río Gascón de Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*, 24(3), pp. 231-242.
- Pérez, P. N. & Quishpi, A. R., 2016. *Análisis de la calidad de agua de los Ríos, Nagsiche y Pumacunchi, pertenecientes a la subcuenca del Río Patate de la provincia de Cotopaxi*. Riobamba: Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/2853>.
- Quichimbo, P. y otros, 2012. Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), pp. 138-153.
- Quiroz, L., Izquierdo, E. & Menéndez, C., 2017. Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(3), pp. 41-51.
- Roldán, G., 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), p. 254.
- Romero, I. & Zúñiga, T., 2017. *Evaluación de la calidad ecológica del río Ushimana utilizando comunidades de macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua*. Bachelor's thesis: Quito.
- Rubio, H. y otros, 2014. Índice de calidad de agua (ICA) en la presa la boquilla en Chihuahua, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(2), pp. 139-150.

- Santillán, P. & Déley, R., 2016. *Macroinvertebrados Bentónicos de las Microcuencas Jubal, Ozoguche y Zula Parque Nacional Sangay - Ecuador*. s.l.:1.
- Toledo, M., 2015. *Determinación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en la Microcuenca del Río Chimborazo*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Toledo, M. & Mendoza, B., 2016. *Estudio de la calidad de agua utilizando Bio-Indicadores, en microcuenca del río Chimborazo (EC)*. Lima: XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Lima, Perú.
- Torres, P., Cruz, C. & Patiño, P., 2009. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica*, 8(15), pp. 79-94.
- Torres, P. y otros, 2010. Aplicación de índices de calidad de agua-ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), pp. 86-95.
- Vasquez, E., 2017. Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones. *EcoSiglos*, 21 Agosto.
- 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), pp. 1072-1086.
- Villanueva, M. C. & Esquivel, R. P., 2012. Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 2(2), pp. 130-137.

8. ANEXOS

Anexo 1. Área de estudio



1. Pastoreo de ganado cerca de la fuente de agua Sector San Vicente de Laguinde



2. Zona erosionada sector de la Mina.



3. Actividad ganadera en el sector San Rafael.



4. Actividad ganadera en el sector San Rafael.



5. La cascada.



6. Vegetación sector La Delicia.

Anexo 2. Toma de Muestras de agua en la microcuenca



1. Toma de muestras de macroinvertebrados.



2. Toma de muestras de macroinvertebrados.



3. Toma de parámetros In situ.



4. Toma de parámetros In situ.

Anexo 3. Análisis de muestras en laboratorio



1. Conteo de macroinvertebrados en el laboratorio.



2. Preparación de las muestras.

Anexo 4. Parámetros morfométricos de la microcuenca

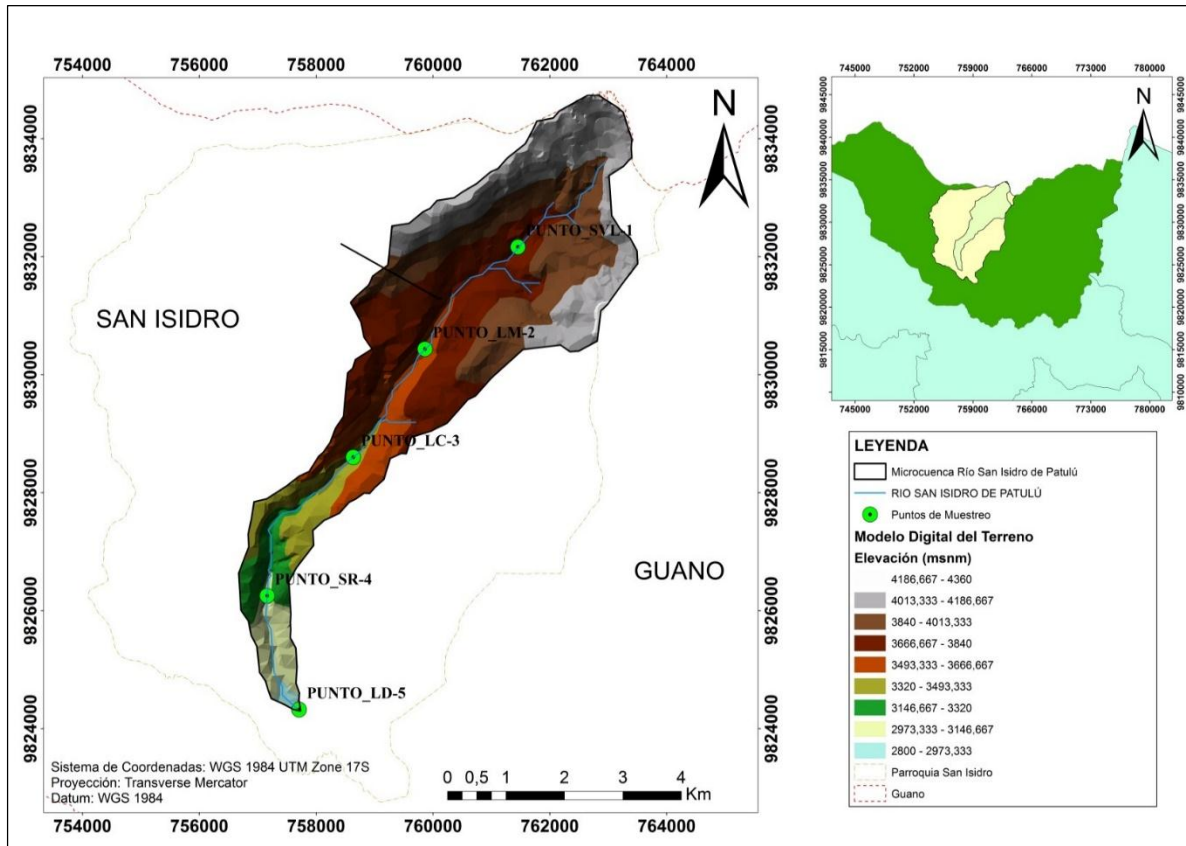


Figura 1. Morfometría de la microcuenca Patulú

Anexo 5. Índice de Calidad e Agua ICA NSF por punto de muestreo

Tabla 1. Análisis del primer muestreo del Índice de Calidad de Agua.

Fecha	20/07/2017	N # Muestreo	1	Microcuenca del Rio Patulu				
Nº	PARÁMETRO	UNIDADES	Wi	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
1	Oxígeno disuelto (OD % Saturación)	mg O2/l	0,17	16,71	16,66	16,69	16,79	16,76
2	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	0,16	16	14,56	15,84	14,56	13,76
3	Potencial Hidrogeno pH	-	0,11	7,05	6,85	7,44	7,75	6,66
4	DBO ₅	mg O2/l	0,1	10,67	10,89	10,82	10,75	10,75
5	Nitratos –N (NO3)	mg/l	0,1	5,21	4,64	1,18	2,3	2,85
6	Fosfatos (PO4)	mg/l	0,1	4,77	5,25	5,75	6,21	4,6
7	Cambio de Temperatura	°c	0,1	8,42	7,82	8,1	8,18	7,5
8	Solidos Disueltos Totales	mg/l	0,07	5,34	5,34	5,35	4,58	5,58
9	Turbidez	NTU	0,08	6,88	6,24	5,67	7,2	6,26
			Valor ICA	81,05	78,25	76,84	78,32	74,72

Buena calidad del agua rango entre 71-90

Tabla 2. Análisis del segundo muestreo del Índice de Calidad de Agua.

Fecha	03/08/2017	N # Muestreo	2	Microcuenca del Rio Patulu				
Nº	PARÁMETRO	UNIDADES	Wi	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
1	Oxígeno disuelto (OD % Saturación)	mg O2/l	0,17	16,74	16,74	16,76	16,78	16,82
2	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	0,16	16	16	15,84	14,56	14,56
3	Potencial Hidrogeno pH	-	0,11	7,09	6,38	7,09	7,6	6,03
4	DBO ₅	mg O2/l	0,1	10,94	10,93	10,89	10,87	10,81
5	Nitratos -N (NO ₃)	mg/l	0,1	5,96	4,77	4,64	6,1	9,4
6	Fosfatos (PO ₄)	mg/l	0,1	0,7	0,2	0,8	0,7	0,7
7	Cambio de Temperatura	°c	0,1	7,46	6,38	6,72	8,02	7,07
8	Solidos Disueltos Totales	mg/l	0,07	5,25	5,26	5,25	4,32	4,33
9	Turbidez	NTU	0,08	7,33	7,05	7,12	7,48	7,65
Valor ICA				77,47	73,71	75,11	76,43	77,37

Buena calidad del agua rango entre 71-90

Tabla 3. Análisis del Tercer muestreo del Índice de Calidad de Agua.

Fecha	10/08/2017	N # Muestreo	3	Microcuenca del Rio Patulu				
Nº	PARÁMETRO	UNIDADES	wi	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
1	Oxígeno disuelto (OD % Saturación)	mg O2/l	0,17	16,75	16,76	16,73	16,81	16,83
2	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	0,16	16	16	16	14,56	15,84
3	Potencial Hidrogeno pH	-	0,11	8,38	7,44	7,28	9,34	9,5
4	DBO ₅	mg O2/l	0,1	10,73	10,71	10,92	10,6	10,86
5	Nitratos -N (NO3)	mg/l	0,1	4,06	6	9,15	4,22	6,7
6	Fosfatos (PO4)	mg/l	0,1	5,05	3,82	5,45	4,13	5,3
7	Cambio de Temperatura	°c	0,1	6,72	4,99	5,97	8,18	3,69
8	Solidos Disueltos Totales	mg/l	0,07	5,26	5,36	5,26	4,44	4,47
9	Turbidez	NTU	0,08	7,46	7,48	7,79	7,84	7,44
Valor ICA				80,41	78,56	84,55	80,12	80,63

Tabla 4. Análisis del cuarto muestreo del Índice de Calidad de Agua.

Fecha	16/08/2017	N # Muestreo	4	Microcuenca del Rio Patulu				
Nº	PARÁMETRO	UNIDADES	wi	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
1	Oxígeno disuelto (OD % Saturación)	mg O2/l	0,17	16,82	16,78	16,75	16,74	16,83
2	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	0,16	16	16	16	15,84	15,84
3	Potencial Hidrogeno pH	-	0,11	7,64	7,28	7,17	8,38	7,05
4	DBO ₅	mg O2/l	0,1	10,78	10,67	10,5	10,62	10,61
5	Nitratos -N (NO3)	mg/l	0,1	2,68	6,25	5,96	5,57	5,91
6	Fosfatos (PO4)	mg/l	0,1	1,4	1,5	1,04	1,15	1,18
7	Cambio de Temperatura	°c	0,1	5,1	5,86	5,86	7,66	7,58
8	Solidos Disueltos Totales	mg/l	0,07	5,17	5,18	5,17	2,84	4,21
9	Turbidez	NTU	0,08	6,75	7,09	6,72	7,42	6,62
Valor ICA				72,34	76,61	75,17	76,22	75,83

Buena calidad del agua rango entre 71-90

Tabla 5. Análisis del quinto muestreo del Índice de Calidad de Agua.

Fecha	24/08/2017	N # Muestreo	5	Microcuenca del Rio Patulu				
Nº	PARÁMETRO	UNIDADES	wi	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
1	Oxígeno disuelto (OD % Saturación)	mg O2/l	0,17	16,73	16,76	16,76	16,73	16,83
2	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	0,16	16	16	16	15,84	15,84
3	Potencial Hidrogeno pH	-	0,11	8,07	7,64	8,3	9,54	9,16
4	DBO ₅	mg O2/l	0,1	10,97	10,93	10,86	10,71	10,79
5	Nitratos –N (NO3)	mg/l	0,1	2,42	2,16	4,2	5,84	3,2
6	Fosfatos (PO4)	mg/l	0,1	4,27	4,37	4,17	3,46	4,67
7	Cambio de Temperatura	°c	0,1	4,99	5,22	5,28	6,95	7,3
8	Solidos Disueltos Totales	mg/l	0,07	5,3	4,41	5,32	4,33	4,38
9	Turbidez	NTU	0,08	6,6	6,93	6,66	7,21	7,07
Valor ICA				75,35	74,42	77,55	80,61	79,24

Buena calidad del agua rango entre 71-90

Tabla 6. Análisis del sexto muestreo del Índice de Calidad de Agua.

Fecha	31/08/2017	N # Muestreo	6	Microcuenca del Rio Patulu				
Nº	PARÁMETRO	UNIDADES	wi	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
1	Oxígeno disuelto (OD % Saturación)	mg O2/l	0,17	16,7	16,72	16,73	16,63	16,83
2	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	0,16	16	14,56	14,56	13,12	12,8
3	Potencial Hidrogeno pH	-	0,11	8,93	8,38	6,82	10,02	10,14
4	DBO ₅	mg O2/l	0,1	10,48	10,53	10,84	10,87	10,92
5	Nitratos –N (NO3)	mg/l	0,1	5,91	5,75	3,88	6,2	5,71
6	Fosfatos (PO4)	mg/l	0,1	3,42	5,45	6	5,7	5,9
7	Cambio de Temperatura	°c	0,1	4,48	5,91	3,52	4,35	5,51
8	Solidos Disueltos Totales	mg/l	0,07	5,33	5,34	5,34	4,34	4,42
9	Turbidez	NTU	0,08	7,12	7,54	4,94	0,4	7,2
Valor ICA				78,37	80,18	72,63	71,63	79,43

Buena calidad del agua rango entre 71-90

Tabla 7. Análisis del séptimo muestreo del Índice de Calidad de Agua.

Fecha	08/09/2017	N # Muestreo	7	Microcuenca del Rio Patulu				
Nº	PARÁMETRO	UNIDADES	wi	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
1	Oxígeno disuelto (OD % Saturación)	mg O2/l	0,17	16,82	16,76	16,68	16,62	16,78
2	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	0,16	15,84	14,56	13,12	12,8	12,8
3	Potencial Hidrogeno pH	-	0,11	8,3	8,26	7,91	8,97	7,79
4	DBO ₅	mg O2/l	0,1	10,6	10,49	10,57	10,62	10,56
5	Nitratos –N (NO3)	mg/l	0,1	6,2	6,25	5,96	6,3	6,4
6	Fosfatos (PO4)	mg/l	0,1	6,85	7,39	8,13	6,11	5
7	Cambio de Temperatura	°c	0,1	3,91	5,86	5,34	3,13	7,62
8	Solidos Disueltos Totales	mg/l	0,07	5,26	5,25	5,34	6,11	4,21
9	Turbidez	NTU	0,08	7,3	7,29	6,79	6,93	6,31
Valor ICA				81,08	82,11	79,84	77,59	77,47

Buena calidad del agua rango entre 71-90

Tabla 8. Análisis del octavo muestreo del Índice de Calidad de Agua.

Fecha	14/09/2017	N # Muestreo	8	Microcuenca del Rio Patulu				
Nº	PARÁMETRO	UNIDADES	wi	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
1	Oxígeno disuelto (OD % Saturación)	mg O2/l	0,17	16,6	16,74	16,61	16,6	16,83
2	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	0,16	16	15,84	15,84	15,84	13,76
3	Potencial Hidrogeno pH	-	0,11	7,17	6,62	7,44	8,61	6,85
4	DBO ₅	mg O2/l	0,1	10,81	10,75	10,71	10,54	10,48
5	Nitratos -N (NO3)	mg/l	0,1	5,04	6,75	6,65	5,26	5,08
6	Fosfatos (PO4)	mg/l	0,1	4,27	2,91	4,8	2,66	4,2
7	Cambio de Temperatura	°c	0,1	4,76	4,52	5,74	5,74	6,03
8	Solidos Disueltos Totales	mg/l	0,07	5,28	5,37	5,28	5,59	4,3
9	Turbidez	NTU	0,08	7,34	7,45	7,47	7,28	7,27
Valor ICA				77,27	76,95	80,54	78,12	74,8

Buena calidad del agua rango entre 71-90

Anexo 6. Promedio del índice ETP NSF, y ABI

Tabla 9. Promedio del primer muestreo.

Puntos de muestreo	Valor ETP	Calidad	Color	Valor ABI	Calidad	Color
Punto 1	87,70%	Muy buena		29	Regular	
Punto 2	68,02%	Buena		27	Regular	
Punto 3	70,80%	Buena		25	Malo	
Punto 4	96%	Muy buena		10	Malo	
Punto 5	68,94%	Buena		26	Malo	

Tabla 10. Promedio del segundo muestreo.

Puntos de muestreo	Valor ETP	Calidad	Color	Valor ABI	Calidad	Color
Punto 1	72,2%	Buena		24	Malo	
Punto 2	67,7%	Buena		28	Regular	
Punto 3	88,3%	Muy buena		23	Malo	
Punto 4	37,2%	Regular		28	Regular	
Punto 5	51,4%	Buena		28	Regular	

Tabla 11. Promedio del tercer muestreo

Puntos de muestreo	Valor ETP	Calidad	Color	Valor ABI	Calidad	Color
Punto 1	92,0%	Muy buena		24	Malo	
Punto 2	89,9%	Muy buena		19	Malo	
Punto 3	93,2%	Muy buena		19	Malo	
Punto 4	55,0%	Buena		22	Malo	
Punto 5	35,4%	Regular		19	Malo	

Tabla 12. Promedio del cuarto muestreo.

Puntos de muestreo	Valor ETP	Calidad	Color	Valor ABI	Calidad	Color
Punto 1	70,0%	Buena		24	Malo	
Punto 2	74,8%	Buena		11	Malo	
Punto 3	79,2%	Muy buena		13	Malo	
Punto 4	52,6%	Buena		24	Malo	
Punto 5	69,4%	Buena		28	Regular	

Tabla 13. Promedio del quinto muestreo.

Puntos de muestreo	Valor ETP	Calidad	Color	Valor ABI	Calidad	Color
Punto 1	78,5%	Muy buena		29	Regular	
Punto 2	74,8%	Buena		30	Regular	
Punto 3	81,2%	Muy buena		18	Malo	
Punto 4	65,4%	Buena		45	Bueno	
Punto 5	71,9%	Buena		27	Regular	

Tabla 14. Promedio del sexto muestreo.

Puntos de muestreo	Valor ETP	Calidad	Color	Valor ABI	Calidad	Color
Punto 1	71,7%	Buena		24	Malo	
Punto 2	76,0%	Muy buena		12	Malo	
Punto 3	82,8%	Muy buena		16	Malo	
Punto 4	79,4%	Muy buena		28	Regular	
Punto 5	69,1%	Buena		29	Regular	

Tabla 15. Promedio del séptimo muestreo

Puntos de muestreo	Valor ETP	Calidad	Color	Valor ABI	Calidad	Color
Punto 1	73,3%	Buena		24	Malo	
Punto 2	82,9%	Muy buena		15	Malo	
Punto 3	59,5%	Buena		15	Malo	
Punto 4	79,1%	Muy buena		16	Malo	
Punto 5	89,9%	Muy buena		15	Malo	

Tabla 16. Promedio del octavo muestreo

Puntos de muestreo	Valor ETP	Calidad	Color	Valor ABI	Calidad	Color
Punto 1	71,8%	Buena		30	Regular	
Punto 2	70,8%	Buena		35	Regular	
Punto 3	71,0%	Buena		15	Malo	
Punto 4	56,0%	Buena		31	Regular	
Punto 5	43,6%	Regular		33	Regular	

Anexo 7. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Fluor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Plata	Ag	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000,0
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi.			mínimo 2,0 m
Vanadio	V	mg/l	0,1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coniformes Totales	nmp/100 ml		1 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	Cero
Zinc	Zn	mg/l	2,0

Fuente: Tulsma

Anexo 8. Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	*GRADO DE RESTRICCIÓN.			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
Salinidad (1):					
CE (2)	Milimhos/cm	0,7	0,7	3,0	>3,0
SDT (3)	mg/l	450	450	2000	>2000
Infiltración (4):					
RAS = 0 – 3 y CE		0,7	0,7	0,2	< 0,2
RAS = 3 – 6 y CE		1,2	1,2	0,3	< 0,3
RAS = 6 – 12 y CE		1,9	1,9	0,5	< 0,5
RAS = 12 – 20 y CE		2,9	2,9	1,3	<1,3
RAS = 20 – 40 y CE		5,0	5,0	2,9	<2,9
Toxicidad por ión específico (5):					
- Sodio:					
Irrigación superficial RAS (6)		3,0	3,0	9	> 9,0
Aspersión	meq/l	3,0	3,0		
- Cloruros					
Irrigación superficial	meq/l	4,0	4,0	10,0	>10,0
Aspersión	meq/l	3,0	3,0		
- Boro	mg/l	0,7	0,7	3,0	> 3,0
Efectos misceláneos (7):					
- Nitrógeno (N-NO ₃)	mg/l	5,0	5,0	30,0	>30,0
- Bicarbonato (HCO ₃)	meq/l	1,5	1,5	8,5	> 8,5
pH	Rango normal	6,5 –8,4			

*Es un grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego.

- (1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos.
- (2) Conductividad eléctrica del agua: regadío (1 milimhos/cm = 1000 micromhos/cm).
- (3) Sólidos disueltos totales.
- (4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo.
- (5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos.
- (6) RAS, relación de absorción de sodio ajustada.
- (7) Afecta a los cultivos susceptibles.

Anexo 9. Correlaciones

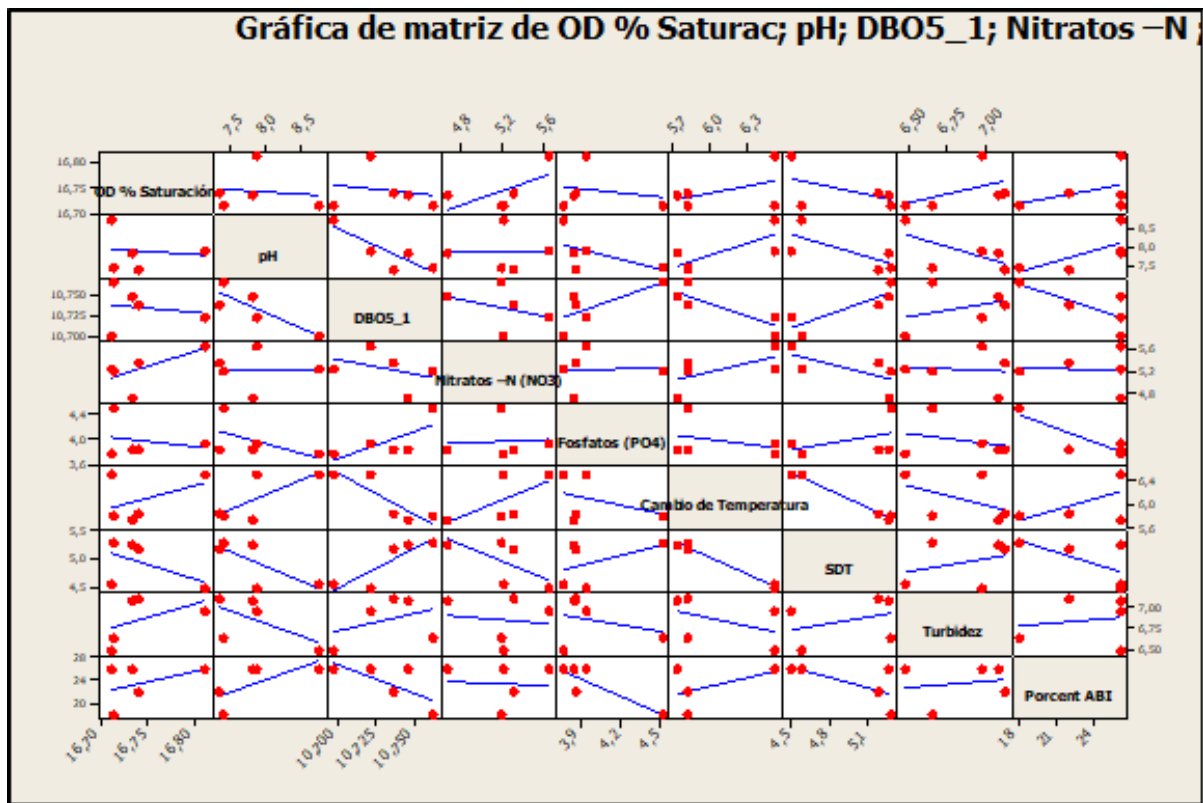


Figura 2. Correlación entre los parámetros físico – químicos y el índice ABI

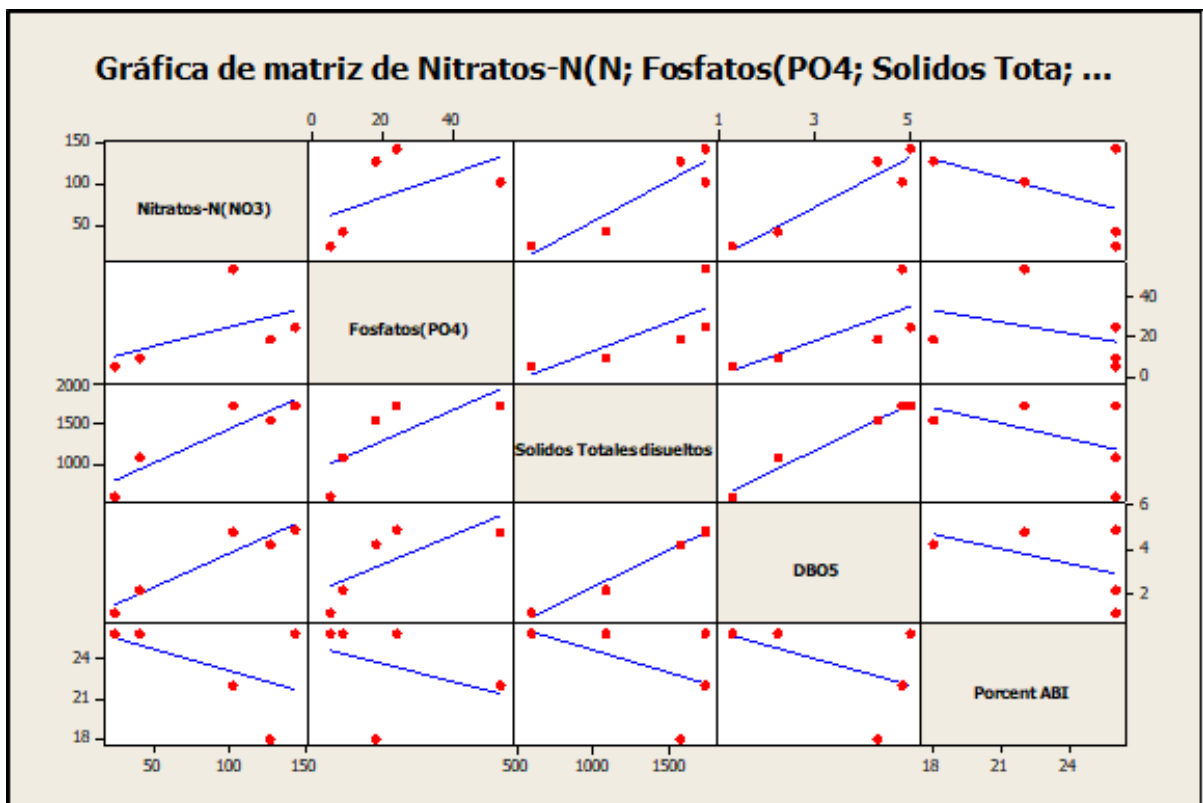


Figura 3. Correlación entre la carga contaminante de los parámetros ICA y el índice ABI

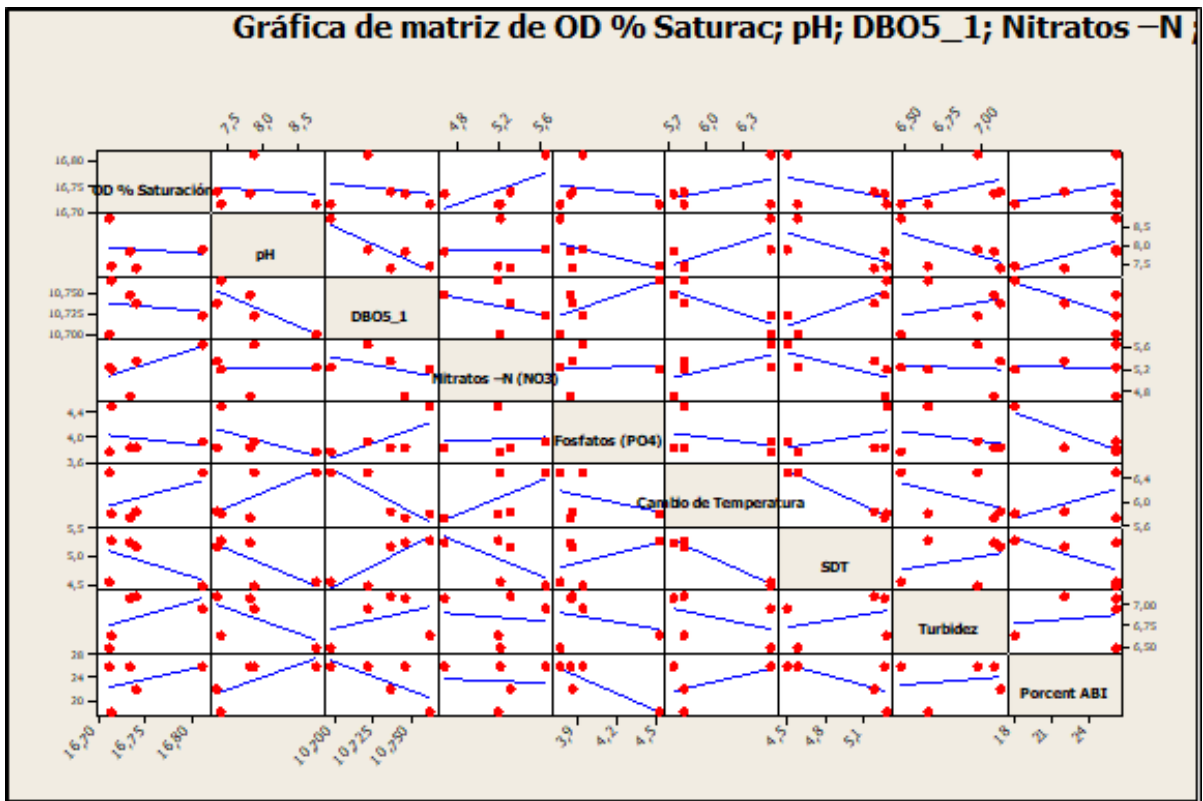


Figura 4. Correlación entre los parámetros físico – químicos y el índice ETP

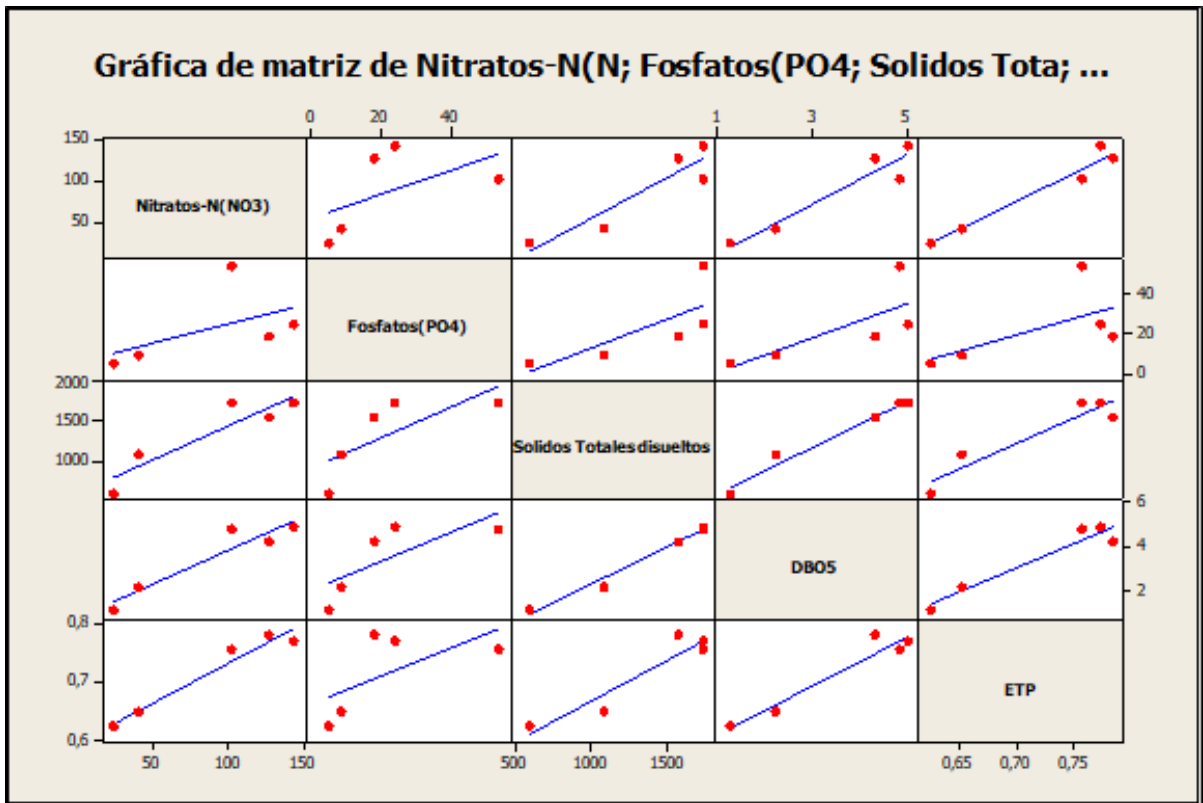


Figura 5. Correlación entre la carga contaminante de los parámetros ICA y el índice ETP