

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



\*MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES  
DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA REGADÍO DEL RÍO CUMBAZA\*

Tesis para optar el grado académico de  
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

AUTOR:

Ing. M. Sc. Mario Pezo Gonzáles

ASESOR:

Dr. Anibal Quinteros García

Tarapoto – Perú

2018



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES  
DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA REGADÍO DEL RÍO CUMBAZA”**

**Tesis para optar el grado académico de  
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**AUTOR:**

**Ing° M. Sc. Mario Pezo Gonzáles**

**ASESOR:**

**Dr. Anibal Quinteros García**

**Tarapoto – Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES  
DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA REGADÍO DEL RÍO CUMBAZA”**

**Tesis para optar el grado académico de  
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**AUTOR:**

**Ing° M.Sc. Mario Pezo Gonzáles**

**Sustentada y aprobada el 07 de junio del 2018, ante el siguiente jurado:**

A blue ink signature of Dr. Winston Franz Ríos Ruiz, consisting of a large, stylized 'W' followed by 'Ríos Ruiz'.

.....  
**Dr. WINSTON FRANZ RÍOS RUIZ**  
PRESIDENTE

A blue ink signature of Dra. Yoni Meni Rodríguez Espejo, featuring a stylized 'Y' and 'M'.

.....  
**Dra. YONI MENI RODRÍGUEZ ESPEJO**  
SECRETARIA

A blue ink signature of Dr. Victor Hugo Muñoz Delgado, with a stylized 'V' and 'M'.

.....  
**Dr. VICTOR HUGO MUÑOZ DELGADO**  
MIEMBRO

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

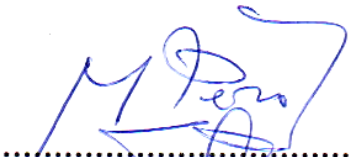
**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

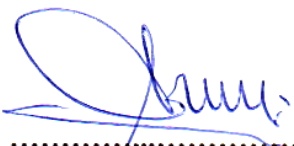
**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES  
DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA REGADÍO DEL RÍO CUMBAZA”**

**EL SUSCRITO DECLARA QUE EL PRESENTE TRABAJO DE TESIS ES  
ORIGINAL, EN SU CONTENIDO Y FORMA.**

  
.....  
**Ing° M.Sc. Mario Pezo González**  
**Ejecutor**

  
.....  
**Dr. Anibal Quinteros García**  
**Asesor**

## **Declaratoria de Autenticidad**

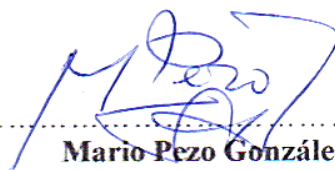
**Mario Pezo Gonzáles**, identificado con DNI N°01063640, egresado de la Sección de posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, del Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales, mención el Gestión Ambiental, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la Tesis titulada: **“MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA REGADÍO DEL RÍO CUMBAZA”**

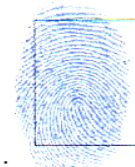
Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiado; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 07 de junio del 2018.

  
-----  
**Mario Pezo Gonzáles**  
DNI N°01063640



**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres: PEZO GONZALES, MARIO	
Código de alumno :	Teléfono: 972559772
Correo electrónico : mpezo@unsm.edu.pe	DNI: 01063640

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de: CIENCIAS AGRARIAS
Escuela Profesional de: POSGRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título: MACROINVERTEBRADOS ACUATICOS COMO BIOINDICADORES EN LA CALIDAD DEL AGUA PARA DREGADIO DEL RLO CUMPARZA
Año de publicación:

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.


## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.



Firma del Autor

## 8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento:

25 / 07 / 2018



Firma del Responsable de Repositorio  
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso  
Abierto de la UNSM - T.

\***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

\*\* **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.





## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar esta Tesis a mis padres Laizamón e Hilda María, que han dado razón a mi vida, forjando el ejemplo de superación, humildad, sencillez, sacrificio y perseverancia, por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia, han fomentado en mí, el deseo de superación y triunfo en la vida; agradecido por sus sabios consejos, mi mayor respeto y admiración a ellos.*

*A mis hermanos: Margarita, Javier, Eloy, Brudith; Walther, William, Norma y Crover que más que hermanos son verdaderos amigos.*

*A mi esposa Yovani y mis hijos Sandra Janeth y Sergio Sebastián, personas valiosas que Dios ha puesto en mi largo caminar...*

*Mario*

## AGRADECIMIENTOS

- ✓ Al Dr. Anibal Quinteros García, por haberme permitido contar con su valioso asesoramiento, en el desarrollo de mi investigación.
- ✓ Al Blgo. M.Sc. Alfredo Díaz Visitación, por su colaboración en las sugerencias prácticas y específicas sobre la investigación, lo que ha enriquecido aún más el trabajo de la tesis.
- ✓ Al Ing° Rubén Rafael Díaz Pezo, por su valioso apoyo en la colecta de los macroinvertebrados en las estaciones de muestreo de la cuenca del río Cumbaza en los dos periodos de salida de campo.
- ✓ A la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, por facilitarme realizar mis estudios de Doctorado en Ciencias Ambientales y contar con excelentes catedráticos.
- ✓ A todas aquellas personas e instituciones públicas y privadas, que de una u otra forma contribuyeron para que la presente investigación concluya en una realidad.

*Mario*

## ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTO .....	viii
ÍNDICE .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE CUADROS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	5
PROBLEMA DE LA INVESTIGACION .....	5
1.1. Formulación del problema .....	5
1.2. Objeto de la investigación .....	5
1.3. Objetivos .....	5
1.4. Campo de acción de la tesis .....	6
1.5. Hipótesis .....	6
1.6. Definición de variables .....	6
1.7. Aportes de la investigación .....	8
CAPÍTULO II .....	10
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	10
2.1. Marco de antecedentes .....	10
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	10
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	12
2.2. Bases teóricas .....	15
2.2.1. Macroinvertebrados acuáticos .....	15
2.2.2. Calidad del agua y evaluación .....	21
2.2.3. Otros aportes relacionados al estudio .....	28
2.3. Definición de términos .....	31
CAPÍTULO III .....	35

MATERIALES Y MÉTODOS .....	35
3.1. Materiales y equipos .....	35
3.1.1. Materiales .....	35
3.1.2. Equipos .....	35
3.2. Tipo y nivel de investigación .....	36
3.2.1. Tipo de investigación.....	36
3.2.1. Nivel de investigación .....	36
3.3. Diseño de la investigación .....	36
3.3.1. Diseño experimental .....	36
3.4. Población y muestra.....	36
3.4.1. Población .....	36
3.4.1. Muestra .....	36
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	36
3.5.1. Metodología.....	36
 CAPÍTULO IV .....	 51
RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	51
4.1. Resultados.....	51
4.1.1. Calidad biológica del agua río Cumbaza .....	51
4.1.2. Parámetros Físico-químicos.....	62
4.1.3. Relación entre valoración del índice biológico (BMWP) con los principales parámetros de calidad fisicoquímica del agua para riego .....	64
4.2. Discusión .....	70
4.2.1. Sobre la calidad biológica del agua del río Cumbaza.....	70
4.2.2. Sobre los principales parámetros fisicoquímico del agua del río Cumbaza .....	81
4.2.3. Correlación entre la valoración del índice biológico (BMWP) con los principales parámetros de calidad fisicoquímica del agua para riego, mediante Pearson .....	84
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	 97
Conclusiones.....	97
Recomendaciones .....	98
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	 99
 ANEXOS .....	 110

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°		Pág.
1	Índice Biológico BMWP/Col.....	39
2	Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP/Col.....	40
3	Ubicación georeferenciada y altura de los puntos de muestreo en la cuenca del río Cumbaza.....	43
4	Parámetros fisicoquímicos para riego de vegetales de tallo bajo y alto.....	49
5	Composición taxonómica de macroinvertebrados encontrados en el río Cumbaza, San Martín, Perú, Mayo y Octubre de 2015.....	52
6	Cuantificación global por familia y su porcentaje de la composición taxonómica de macroinvertebrados encontrados en el río Cumbaza, San Martín, Perú, Mayo y Octubre de 2015.....	53
7	Abundancia absoluta y riqueza específica de los macroinvertebrados encontrados en cada estación de muestreo en la cuenca del río Cumbaza, San Martín, Perú, Mayo de 2015.....	55
8	Valores de los parámetros comunitarios obtenidos mediante el muestreo de macroinvertebrados bentónicos en las 4 estaciones de muestreo, en la cuenca del río Cumbaza, San Martín, Perú, Mayo de 2015.....	56
9	Índice de diversidad biológica (BMWP) de los macroinvertebrados identificados en cada estación, adaptado al BMWP/Col en el mes de Mayo de 2015.....	57
10	Descripción y calificación de las aguas en la cuenca del río Cumbaza, San Martín, Perú, Mayo del 2015, según valores obtenidos de la aplicación del Índice BMWP, adaptado a valores de la Tabla 1.....	58
11	Abundancia absoluta y riqueza específica de los macroinvertebrados encontrados en cada estación de muestreo en la cuenca del río Cumbaza, San Martín-Perú, Octubre de 2015.....	59
12	Valores de los parámetros comunitarios obtenidos mediante el muestreo de macroinvertebrados bentónicos en las 4 estaciones de muestreo, en la Cuenca del río Cumbaza, San Martín-Perú, Octubre de 2015.....	60
13	Índice de diversidad biológica (BMWP) de los macroinvertebrados identificados en cada estación, adaptado al BMWP/Col en el mes de mes de Octubre de 2015.....	61
14	Descripción y calificación de las aguas en la cuenca del río Cumbaza, San	

	Martín, Perú, Octubre de 2015, según valores obtenidos de la aplicación del Índice BMWP adaptado a valores de la Tabla 2.....	62
15	Resultado de análisis fisicoquímico de las estaciones de muestreo en la Cuenca del río Cumbaza, San Martín - Perú, Mayo de 2015.....	63
16	Resultado de análisis fisicoquímico de las estaciones de muestreo en la Cuenca del río Cumbaza, San Martín - Perú, Octubre de 2015.....	64
17	Índice biológico (BMWP) y parámetros fisicoquímicos de las estaciones muestreadas durante los meses de Mayo y Octubre 2015, para realizar la correlación estadística.....	65
18	Correlación entre los BMWP de los dos periodos de evaluación muestreadas mes de Mayo y Octubre 2015.....	65
19	ANOVA de los datos obtenidos en las estaciones y periodos de muestreo....	69
20	Propuesta del plan de manejo para la conservación de la cuenca de río Cumbaza .....	88
21	Índice biológico BMWP obtenido en la investigación para la cuenca del río Cumbaza /San Martín/Perú.....	91
22	Calificación del agua en la cuenca del río Cumbaza, con resultados de la investigación, San Martín – Perú.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N°</b>		<b>Pág.</b>
1	Partes de un macroinvertebrado en estado larval.....	17
2	Imágenes de diversos macroinvertebrados acuáticos.....	19
3	Mapa de ubicación de la cuenca del río Cumbaza.....	41
4	Zonas de muestreo en el río Cumbaza.....	42
5	Estación I lugar donde se realizó el muestreo de colecta de macroinvertebrados (Distrito de San Roque).....	44
6	Estación II lugar donde se realizó el muestreo de colecta de macroinvertebrados (Localidad de San Pedro de Cumbaza).....	45
7	Estación III lugar donde se realizó el muestreo de colecta de macroinvertebrados (Captación del agua para el canal de riego – Bocatoma – distrito de Morales).....	46
8	Estación IV lugar donde se realizó el muestreo de colecta de macroinvertebrados (Canal de riego del río Cumbaza a 450 metros de la captación del agua - Bocatoma – distrito de Morales).....	47
9	Caudal del río Cumbaza en las estaciones de muestreo del año 2015.....	48
10	Familias más representativas colectadas en la cuenca del río Cumbaza, San Martín, Perú, Mayo y Octubre de 2015.....	54
11	Comportamiento bidimensional de la correlación entre los BMWP y la Temperatura (°C) de las estaciones de muestreo realizados.....	66
12	Comportamiento bidimensional de la correlación entre los BMWP y el Potencial de Hidrógeno (pH) de las estaciones de muestreo realizados.....	66
13	Comportamiento bidimensional de la correlación entre los BMWP y el Cloruro (mg/L) de las estaciones de muestreo realizados.....	67
14	Comportamiento bidimensional de la correlación entre los BMWP y los Nitratos (mg/L) de las estaciones de muestreo realizados.....	67
15	Comportamiento bidimensional de la correlación entre los BMWP y el Oxígeno Disuelto (mg/L) de las estaciones de muestreo realizados.....	68
16	Comportamiento bidimensional de la correlación entre los BMWP y la Conductividad (uS/cm) de las estaciones de muestreo realizados.....	68



17	Valores medios de los BMWP en diferentes periodos de muestreo.....	69
18	Valores medios de los BMWP en diferentes estaciones de muestreo, entre los dos periodos (Mayo y Octubre).....	70
19	Macroinvertebrado de la Familia Perlidae biondicador de calidad buena del agua del río cumbaza.....	93
20	Macroinvertebrado de la Familia Psephenidae biondicador de calidad buena del agua del río cumbaza.....	93
21	Macroinvertebrado de la Familia Euthyplociidae biondicador de calidad buena del agua del río cumbaza.....	93
22	Macroinvertebrado de la Familia Naucoridae biondicador de calidad aceptable del agua del río cumbaza.....	94
23	Macroinvertebrado de la Familia Baetidae biondicador de calidad aceptable del agua del río cumbaza.....	94
24	Macroinvertebrado de la Familia Coenagrionidae biondicador de calidad aceptable del agua del río cumbaza.....	94
25	Macroinvertebrado de la Familia Corydalidae biondicador de calidad dudosa del agua del río cumbaza.....	95
26	Macroinvertebrado de la Familia Elmidae biondicador de calidad dudosa del agua del río cumbaza.....	95
27	Macroinvertebrado de la Familia Libellulidae biondicador de calidad dudosa del agua del río cumbaza.....	95
28	Macroinvertebrado de la Familia Thiaridae biondicador de calidad crítica del agua del río cumbaza.....	96
29	Macroinvertebrado de la Familia Belostomatidae biondicador de calidad crítica del agua del río cumbaza.....	96
30	Macroinvertebrado de la Familia Tipulidae biondicador de calidad crítica del agua del río cumbaza.....	96

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°		Página N°
1	Propuesta metodológica general para la medición de la calidad del agua de los ríos de montaña: Índice BMWP.....	111
2	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua para riego CATEGORÍA 3: Parámetros para riego de vegetales. D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo.....	112
3	Panel fotográfico que se realizó en las zonas de muestreo durante la investigación .....	114

## LISTA DE ABREVIATURAS

**CEDISA:** Centro de Desarrollo e Investigación de la Selva Alta

**IBMWP:** *Index Biological Monitoring Working Party Score*

**ECA:** Estándares de Calidad del Agua

**IICA:** Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

**GORESAM:** Gobierno Regional de San Martín

**ACR:** Área de Conservación Regional

**GPS:** Sistema de Posicionamiento Global

**m.s.n.m.:** Metros sobre el nivel mar

**SENAMHI:** Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología

**pH:** Potencial de Hidrógeno

**MINAM:** Ministerio del Ambiente

## GLOSARIO

- **Hábitat:** Es el lugar concreto o sitio físico donde vive un organismo (animal o planta), a menudo caracterizado por una forma vegetal o por una peculiaridad física dominante (un hábitat de lagunas o un hábitat de bosque).
- **Estándares de calidad ambiental para agua:** Son indicadores de calidad ambiental, miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo.
- **Calidad del agua:** Condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano.
- **Estándares:** Modelo, criterio, regla de medida o de los requisitos mínimos aceptables para la operación de procesos específicos, con el fin asegurar la calidad en la prestación de los servicios de salud.
- **Parámetros:** Dato que se considera como imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación.
- **Factores físicos del agua:** La calidad del agua modificada por sustancias puede no ser tóxica, pero cambia el aspecto del agua, entre ellas los sólidos en suspensión, la turbidez, el color, la temperatura.
- **Factores químicos del agua:** Las actividades industriales generan contaminación al agua cuando hay presencia metales pesados tóxicos para los humanos tales como arsénico, plomo, mercurio y cromo.
- **Bioindicadores:** Es un indicador consistente en una especie vegetal, hongo o animal; o formado por un grupo de especies (grupo eco-sociológico) o agrupación vegetal cuya presencia (o estado) nos da información sobre ciertas características ecológicas, es decir, (físico-químicas, micro-climáticas, biológicas y funcionales), del medio ambiente.
- **Bentónico:** Dícese del animal o planta que vive en contacto o en dependencia directa con el fondo del mar o de los lagos continentales.
- **Macroinvertebrados:** Organismos con un tamaño superior a los 0.5mm hasta los 30 cm de longitud, es decir, son fácilmente identificables por el ojo humano.
- **Microcuenca:** Son unidades geográficas que se apoyan principalmente en el concepto hidrológico de división del suelo, asociados al recurso agua como (escorrentía, calidad,

erosión hídrica, producción de sedimentos, etc., normalmente se analizan sobre esas unidades geográficas)

- **Aguas lóaticas o corrientes**, son las masas de agua que se mueven siempre en una misma dirección como ríos, manantiales, riachuelos, arroyos.
- **Aguas lénticas**, se denominan aguas lénticas a la interiores quietas o estancadas tales como los lagos, lagunas, charcas, humedales y pantanos.
- **Néuston**: Aquellos que viven en aguas con tensión superficial en su etapa de madurez.
- **Macrofitas**: Son plantas superiores, algas, musgos y briofitas macroscópicas, adaptadas a la vida en el medio acuático.
- **Phylum**: Tronco o tipo de organización es una categoría en taxonomía situada entre el reino y la clase, y usada en los reinos animales (que contiene 35 filo), fungi (que contiene 6), protistas y dominio bacterias.
- **Ortopteroide**: Aplicase a aquellos insectos que se asemejan en algún carácter a los representantes del orden Orthoptera.
- **Abundancia**: Se refiere a la cantidad de especies animales y vegetales (seres vivos) que se encuentran en un determinado ecosistema.
- **Riqueza**: Es el número de especies que se encuentran en un hábitat, ecosistema, paisaje, área o región determinado.
- **Biodiversidad**: Es la variedad de formas de vida en el planeta, incluyendo los ecosistemas terrestres, marinos y los complejos ecológicos de los que forman parte, más allá de la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y los ecosistemas.

## RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la calidad del agua a lo largo del tramo de la cuenca del río Cumbaza, a través de la identificación de las familias de macroinvertebrados presentes y su relación con algunos parámetros físico-químico, es un estudio tipo básica con un nivel descriptivo y correlacional, se llevó a cabo en cuatro estaciones específicas del río, durante los meses de mayo y octubre de 2015. Se colectaron 678 macroinvertebrados distribuidos en 2 clases (Insecta y gastrópoda), 10 órdenes y 21 familias. El índice BMWP/col, permitió clasificar la calidad ambiental como Categoría II y III medianamente contaminada, no se encontró niveles significativos de contaminación en ninguna de las estaciones estudiados, hubo una calificación dudosa por lo que se presenta tres propuestas ambientales de conservación en el estudio. En el mes de mayo la estación con una mayor diversidad fue la (Estación II:  $H' = 2,39681$ ), la (Estación I:  $H' = 2,37276$ ) y la (Estación III:  $H' = 1,78021$ ); en octubre la estación con una mayor diversidad fue la (Estación III:  $H' = 2,15521$ ), la (Estación II:  $H' = 2,07076$ ) y la (Estación I:  $H' = 1,71241$ ). Paralelamente a la evaluación con los biondicadores, se evaluó algunos parámetros físico-químicos como: pH, Cloruros (mg/L), nitratos (mg/L), Aluminio (mg/L), Hierro (mg/L), Sulfatos (mg/L), Oxígeno disuelto (mg/L), Manganeseo (mg/L) y Conductividad (uS/cm), obteniendo como resultados que éstos cumplen con lo establecido en el D.S. No 015-2015 del MINAM, Estándares de Calidad Ambiental, categoría 3 de aguas para riego de vegetales. La Correlación de Pearson entre los BMWP y los parámetros físico-químicos se tuvo una correlación negativa y positiva que explican ciertas condiciones ambientales; al comparar el periodo y las estaciones de muestreo en cada estación, estadísticamente son significativos en ambas situaciones, esto en parte debido a los macroinvertebrados característicos de aguas de cabecera y que las condiciones ambientales de los periodos de muestreo y de las estaciones, no son los mismos dado que son evaluados tal cual se presentan en la cuenca y además el caudal, lluvias, actividades antrópicas son también factores que influyen en el comportamiento de la comunidad biológica.

Palabras claves: Macroinvertebrados, biondicación, calidad del agua

## ABSTRACT

In the present investigation, the quality of the water along the section of the Cumbaza river basin was evaluated, through the identification of the families of macroinvertebrates present and their relation with some physicochemical parameters, it is a basic type study with a descriptive level and correlational, it was carried out in four specific stations of the river, during the months of May and October of 2015. 678 macroinvertebrates distributed in 2 classes (Insecta and Gastropoda), 10 orders and 21 families were collected. The BMWP / col index, allowed to classify the environmental quality as Category II and III moderately contaminated, no significant levels of contamination were found in any of the studied stations, there was a dubious qualification for which three environmental conservation proposals are presented in the study. In the month of May, the station with the greatest diversity was the (Station II:  $H' = 2.39681$ ), the (Station I:  $H' = 2.37276$ ) and the (Station III:  $H' = 1.78021$ ); in October the season with the greatest diversity was (Station III:  $H' = 2.15521$ ), the (Station II:  $H' = 2.07076$ ) and the (Station I:  $H' = 1.71241$ ). Parallel to the evaluation with the biondicators, some physical-chemical parameters were evaluated as: pH, Chlorides (mg / L), nitrates (mg / L), Aluminum (mg / L), Iron (mg / L), Sulfates (mg / L), Dissolved Oxygen (mg / L), Manganese (mg / L) and Conductivity (uS / cm), obtaining as results that they comply with the provisions of the DS No 015-2015 of the MINAM, Environmental Quality Standards, category 3 water for vegetable irrigation. The Pearson Correlation between the BMWP and the physicochemical parameters had a negative and positive correlation that explain certain environmental conditions; when comparing the period and the sampling stations in each station, statistically they are significant in both situations, this is partly due to the characteristic macroinvertebrates of headwaters and that the environmental conditions of the sampling periods and the seasons are not same as they are evaluated as they occur in the basin and also the flow, rainfall, anthropic activities are also factors that influence the behavior of the biological community.

Keywords: Macroinvertebrates, biondication, water quality.



## INTRODUCCIÓN

Los índices biológicos que evalúan las condiciones de un ecosistema acuático, reportan información sobre el conocimiento de la estructura y composición de las comunidades bentónicas. La presencia de algunos de estos organismos por encima de ciertos valores puede hacer rechazable un tipo determinado de agua para el uso que se busca. (Walley, 2013), sin embargo, es necesario considerar que el uso de estos indicadores biológicos, facilita la interpretación de los resultados de los análisis físicos y químicos y los complementan en una mejor forma (Sperling, 2015), de igual manera (Prat *et al.* 2016, Woodiwis 2014), indican que esta situación ocurre porque estos organismos tienen tolerancias limitadas a las diferentes condiciones del medio acuático y a través de su uso se pueden calificar los cuerpos de agua por grados de calidad. De igual manera (Necchi *et al.* 2014), menciona que los indicadores biológicos son mejores que los factores físicos y químicos aislados porque estos últimos miden condiciones, en tanto que las observaciones biológicas miden efectos. Un argumento importante en favor del biomonitoreo es que los organismos tienen una respuesta integrada a su ambiente y por tanto registran mejor las fluctuaciones en la calidad de las aguas, las que pueden perderse en análisis químicos intermitentes. Es importante destacar lo manifestado por (Silva *et al.*, 2016), que el uso de macroinvertebrados acuáticos constituye hoy en día una herramienta ideal para la caracterización biológica e integral de la calidad de agua, siendo necesario para un adecuado control y conservación de un ecosistema, no todos los organismos acuáticos podrán ser tomados como bioindicadores, las adaptaciones evolutivas a diferentes condiciones ambientales y límites de tolerancia a una determinada alteración dan las características a ciertos grupos que podrán ser considerados como organismos sensibles (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) por no soportar variaciones en la calidad del agua, mientras que organismos tolerantes (Chironómidae, Oligoquetos), son característicos de agua contaminada por materia orgánica; asimismo los parámetros son críticos cuando los organismos sensibles mueren y su lugar es ocupado por los organismos tolerantes; de tal forma que los cambios de la estructura y composición de las comunidades bióticas puede ser utilizada para identificar y evaluar los grados de contaminación de un ecosistema acuático. Asimismo, los ecosistemas fluviales desde hace mucho tiempo, han sido empleados por el hombre como fuente de recursos (Alonso & Camargo, 2015). Sin embargo, a pesar de que constituyen una fuente de abastecimiento para uso doméstico, industrial y recreativo y que en las últimas décadas, el rápido crecimiento poblacional, la



industrialización y urbanización, han provocado un paulatino aumento de las presiones sobre los recursos hídricos y una degradación de los mismos (Manjarrés & Manjarrés, 2014), dichas condiciones, llevaron a los investigadores a utilizar diferentes métodos como análisis químicos y físicos, para evaluar el impacto de las perturbaciones antrópicas sobre los hábitats fluviales. Sin embargo, estos sólo ofrecen datos puntuales en la dimensión cronológica y no dejan ver la evolución (disolución) de una carga contaminante y la capacidad resiliente y amortiguadora de los ecosistemas acuáticos (Rodríguez *et al* 2012), sin embargo como una alternativa a estos procedimientos, muchos países desarrollaron técnicas de biomonitoreo para complementar los datos físico-químicos, a través de la evaluación de reacciones e índices de sensibilidad de organismos vivos ante la presencia de sustancias contaminantes en las corrientes de agua. Así también (Jaramillo, 2014), sostiene que el uso de los indicadores biológicos ha tenido una gran difusión debido a los bajos costos de uso y a la posibilidad de utilizar una amplia variedad de organismos, desde bacterias hasta peces y una de las comunidades más empleadas en bioindicación, es la de macroinvertebrados acuáticos, que reúne diversos grupos como moluscos, lombrices, sanguijuelas, platelmintos, crustáceos, ácaros y fundamentalmente los estados juveniles de varios órdenes de insectos, de igual manera ofrecen múltiples ventajas como amplia distribución, adaptación a diferentes variables físico-bióticas, simplicidad metodológica, rapidez de los resultados y una retrospectiva a los eventos de contaminación, lo que hace de ellos una herramienta idónea para la vigilancia rutinaria de la calidad del agua en los ríos. También (Meza, 2012), manifiesta que a pesar de su destacada importancia, los ecosistemas dulceacuícolas, vienen sufriendo grandes impactos por factores antropogénicos, como el represamiento y remoción de la vegetación ribereña, que ocasionan cambios drásticos en el flujo natural de la materia y la energía y modificaciones en el ciclo de nutrientes, especialmente del nitrógeno y fósforo, y en la disponibilidad de sustratos orgánicos en el agua y el cauce normal en épocas de verano, lo cual disminuye sus atributos de calidad del agua, en la actualidad, se vienen formulando proyectos y planes de desarrollo para mitigar los efectos degradantes sobre los ecosistemas dulceacuícolas, siendo un ejemplo de estas medidas los modelos de reforestación para la protección del suelo y del agua de ríos y cuencas hídricas y tener protegidos estos sistemas que se relacionan con las zonas ribereñas; sin embargo, la reforestación tiene diferentes efectos sobre el balance hídrico, pues se han demostrado pérdidas graduales en la calidad de los suelos y en los caudales de los ríos y quebradas. Por su parte (Smith, 2013), indica que la agricultura es con diferencia el mayor consumidor de agua a nivel global, el 70% del consumo de agua del mundo es para el riego

de cultivos, en varios países en vías de desarrollo, el agua destinada al riego de cultivos representa el 95% del agua consumida, y juega un papel clave dentro de la producción de alimentos y seguridad alimentaria; en la mayoría de estos países el desarrollo de estrategias futuras de agricultura pasa por el mantenimiento y mejora de la expansión de esta agricultura de regadío, por otro lado, el aumento en la presión sobre la utilización de los recursos naturales de agua en la agricultura choca con otros sectores y representa un reto para el medioambiente, el agua utilizada para la agricultura procede tanto de fuentes naturales como de recursos alternativos; los recursos naturales incluyen el agua de lluvia, agua de superficie (ríos y lagos).

Para contrarrestar el deterioro de los ecosistemas fluviales es importante fomentar a la ciudadanía en general, en especial a los habitantes asentados en las riberas; el conocimiento y los efectos de su degradación de los ríos en sí como su evaluación ecológica rápida, siendo una alternativa el uso de diferentes grupos de macroinvertebrados (del orden insecta que son sensibles a la contaminación), debido a su sensibilidad a las aguas con contaminación orgánica, que representan una alternativa rápida y barata; la cual se está proponiendo como una nueva herramienta para conocer la calidad del agua, esto no quiere decir que desplace al método tradicional de los análisis fisicoquímicos. Su uso simplifica en gran medida las actividades de campo y laboratorio, ya que su aplicación sólo requiere de la identificación de los organismos ajustados a intervalos que califican la calidad del agua. Las razones del uso amplio de los macroinvertebrados en el monitoreo biológico son muchas, ya que muchos estudios indican que los cuerpos de agua basados, en comunidades de macroinvertebrados, forman la base biológica de los estudios de la calidad del agua por razones pragmáticas: los macroinvertebrados son algo fáciles de recolectar y de identificar; los macroinvertebrados son alimento de los peces y son fáciles de explicar al público en general, la salud relativa de la comunidad (muchas o pocas especies). Sin embargo, un buen número de cualidades se pueden enumerar para explicar el uso popular relativo de macroinvertebrados en biomonitoreo, tal como: están en todas partes de la cuenca, la riqueza de los macroinvertebrados y el extenso número de especies da lugar generalmente a una amplia diversidad de los tipos de comunidad en la fuente hídrica. Es importante además indicar en el sentido que la cuenca del río Cumbaza, se origina en el lado occidental de la Cordillera Escalera, en territorios de las Comunidades Nativas de Aviación, Chiricyacu y Chunchiwi; sus aguas recorren hacia el lado suroeste de la Cordillera y desemboca en el río Mayo. En su recorrido pasa por poblados de los distritos de San Roque de Cumbaza, y

Rumizapa, de la provincia de Lamas; y en la parte media y baja por poblados de los distritos de San Antonio de Cumbaza, Cacatachi, Morales, Tarapoto, La Banda de Shilcayo y Juan Guerra de la provincia de San Martín, la cuenca está entre las cotas altitudinales 200 y 1,800 m.s.n.m. (CEDISA, 2006). Es preciso indicar que en esta parte de la región San Martín no existen estudios relacionados sobre el tema; siendo necesario por las consideraciones expuestas e importancia que poseen las cuencas hidrográficas desarrollar este trabajo nuevo e innovador y fundamental para el desarrollo de estrategias de manejo a nivel de cuencas de las diferentes fuentes hídricas para su conservación y monitoreo.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. Formulación del problema

¿De que manera las familias de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en relación a los parámetros fisicoquímicos influyen en la calidad del agua para regadío?

### 1.2. Objeto de la investigación

Constituido por los macroinvertebrados acuáticos que son los bioindicadores que se está proponiendo como una herramienta para conocer la calidad del agua del río Cumbaza para regadío.

El Plan de trabajo consistió en dos salidas de campo. La primera fue en el mes de mayo y la segunda en el mes de octubre del 2015. Para el muestreo se consideraron cuatro estaciones: estación uno, en la zona del distrito de San Roque de Cumbaza, con 600 m de altitud; estación dos en la zona San Pedro de Cumbaza, con 485 m de altitud; estación tres en la zona de la captación del agua del río para el canal de riego “La Bocatoma”, con 316 m de altitud, y la estación cuatro a 450 metros abajo de la captación del agua, con 301 m de altitud, estas estaciones previamente han sido georeferenciadas, de igual manera en cada estación se sacó una muestra de agua para los análisis fisicoquímicos.

### 1.3. Objetivos

#### ➤ **Objetivo general**

Evaluar como las familias de macroinvertebrados acuáticos en relación a los parámetros fisicoquímicos influyen en la calidad del agua para regadío

#### ➤ **Objetivos específicos**

- a) Determinar el índice de diversidad biológica (BMWP) a través de la colecta de familias taxonómicas identificadas de macroinvertebrados acuáticos.
- b) Determinar los principales parámetros fisicoquímicos de las diferentes estaciones de muestreo del río Cumbaza, estación alta, media y baja, para compararlos con los

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del agua para riego.

- c) Determinar la relación entre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de la valoración biológica (Índice BMWP) y los principales parámetros físicoquímicos sobre la calidad del agua para riego.
- d) Elaborar una propuesta de plan de manejo para la conservación de la cuenca del río Cumbaza frente a posibles contaminaciones por acciones antrópicas.

#### **1.4. Campo de acción de la tesis**

Los macroinvertebrados acuáticos de la parte alta, media y baja de la cuenca del río Cumbaza.

#### **1.5. Hipótesis**

H<sub>1</sub>: Los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en relación a los parámetros físicoquímicos influyen significativamente en la calidad del agua para regadío.

H<sub>0</sub>: Los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores en relación a los parámetros físicoquímicos no influyen significativamente en la calidad del agua para regadío.

#### **1.6. Definición de variables**

##### **Variable Independiente (X):**

X1: Macroinvertebrados y características del agua (Familias de macroinvertebrados; parámetros físicoquímicos).

Variable Dependiente (Y):

Y1: Calidad del agua

Operacionalización de Variables

**Cuadro 1***Variable, Indicadores e Índices*

<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Índice de medida</b>
<b>Independiente</b> Macroinvertebrados y características del agua	Parámetros biológicos	Número de familia de macroinvertebrados identificados
	Parámetros fisicoquímicos	Métodos establecidos según análisis.
	Parámetros biológicos	Índice Biológico BMWP/Col
<b>Dependiente</b> Calidad del agua	Parámetros físicoquímico	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua DS N° 015-2015.MINAM

Fuente: Elaboración propia

El estudio se justifica en el sentido que la contaminación de los recursos hídricos es reconocida como uno de los problemas ambientales de mayor envergadura del país, existiendo un deterioro progresivo de la calidad del agua a nivel de cuenca, principalmente por las descargas de efluentes urbanos e industriales en sus respectivos cursos de agua. La cuenca del río Cumbaza soporta una gran variedad de actividades antrópicas desarrolladas en toda su extensión tales como pequeña agricultura, crianza de animales, recreación, pesca por pobladores, turismo, etc. Todas estas actividades vierten, de manera directa o indirecta, sus desechos, tratados o no, al sistema hídrico contenido en la cuenca. La cuenca es receptora de una gran variedad de compuestos residuales que alteran no sólo la calidad de agua sino también las comunidades biológicas y muchos de los procesos ecológicos que allí ocurren, poniendo en riesgo el estado de salud de los ecosistemas acuáticos establecidos. Según (Castellón, 2013), para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos, han sido utilizadas las comunidades biológicas como indicadoras de las condiciones ambientales, pues reflejan las condiciones físicas, químicas y bióticas; además, integran y acumulan los efectos de diferentes presiones sobre los ecosistemas naturales, dichas valoraciones presentan ventajas en relación a otros tipos de medidas de calidad de agua, porque se realizan con organismos indicadores del medio en que habitan, los cuales están integrados

al recurso durante toda su vida y de esta forma pueden reflejar las fluctuaciones de contaminación; uno de los grupos que cada vez es más usado y aceptado como herramienta importante en la evaluación de la calidad del agua es el de los macroinvertebrados acuáticos, ya que responde a las alteraciones ocasionadas por actividades humanas en ecosistemas fluviales, los integrantes de esta comunidad son sensibles a la contaminación orgánica y la degradación del hábitat; por tal razón, en la evaluación ambiental del recurso hídrico es valioso su potencial como bioindicadores de la calidad de agua.

Dado el papel fundamental que desempeñan los macroinvertebrados en los sistemas de los ríos, este estudio se justifica su realización, en el sentido que cuenta como objetivo evaluar la influencia en la calidad del agua para regadío, en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos utilizándolos como bioindicadores en las diferentes estaciones de estudio que se propuso en la cuenca del río Cumbaza.

### **1.7. Aportes de la investigación**

#### **- Aporte teórico**

El principal aporte de esta investigación es que se constituye en uno de los primeros estudios de macroinvertebrados acuáticos en la cuenca del río Cumbaza, utilizando el modelo Biological Monitoring Working Party adaptado a Colombia, según el Índice BMWP/Col, los cuales son poco evaluados y/o usados en biomonitoreos ambientales, pese a que los cambios que ocurren en éstos debido a diversas actividades antrópicas, son atribuidos más a las diferencias de calidad del agua o perturbación dentro de los ecosistemas, en general, los macroinvertebrados han sido poco estudiados, es por ello la importancia de conocer la composición de los mismos en los ríos y la forma de como la actividad agrícola, turística en general en su complejidad, impacta a estos ecosistemas, especialmente en estos sustratos que albergan una alta diversidad biológica.

#### **- Aporte práctico**

Es la implantación del modelo Biological Monitoring Working Party adaptado a Colombia, según el Índice BMWP/Col, por su sencilla aplicabilidad metodológica en estudios sobre caracterización de las perturbaciones dentro de los ecosistemas de las aguas superficiales y determinar la calidad del agua mediante biomonitoreos en las cuencas amazónicas de la región San Martín.

#### **- La novedad del estudio de investigación**

El estudio de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la cuenca del río Cumbaza,

evidenció el grado de conservación que se podría realizar mediante permanentes biomonitoreos de los ríos, quebradas y otras fuentes hídricas, siendo estas fuentes los espacios ideales para albergar una adecuada diversidad biótica y que el conocimiento cada vez más sobre ellos por la comunidad y entes interesados, se podría en el futuro contar con un método sencillo, práctico y de bajo costo, con estrategias de manejo y conservación de los ríos para su sostenibilidad.

#### **- Relevancia social**

La investigación tiene una gran relevancia social, en el sentido que nos va permitir conocer en forma práctica, sencilla y de bajo costo las condiciones actuales de la calidad de las aguas de los ríos, mediante la identificación de las familias de los macroinvertebrados, especialmente para aquellas poblaciones asentadas en las riberas, quienes podrán diagnosticar in situ la calidad del agua, de igual manera servirá como parte fundamental en la formación del individuo, al permitir conocer y reconocer las interacciones entre lo que hay de natural y de social en su entorno y para actuar en ello, haciendo posible la existencia de una calidad ambiental idónea para el desarrollo de la vida humana.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. Marco de antecedentes

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Carvacho, (2012), realizó una investigación *Estudio de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice milimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile*, concluye: a) En la cuenca en estudio se colectó un total de 45 familias de invertebrados acuáticos. Registrándose en el tramo más extenso, río Grande y Limarí, un total de 53 géneros, aportando por primera vez con una identificación exhaustiva de quironómidos hasta dicho nivel taxonómico. b) La comunidad de macroinvertebrados presenta un patrón de distribución determinado principalmente por factores hidromorfológicos y fisicoquímicos, como el hábitat fluvial, la vegetación de ribera, la temperatura y la conductividad, especialmente en la zona media y baja de la cuenca donde aquellos factores están fuertemente alterados por el impacto antrópico de la agricultura, el emplazamiento de embalses y las zonas urbanas. De igual modo

Asimismo Figueroa *et al*, (2013), en la tesis *Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad de agua de ríos del sur de Chile*, llega a la siguiente conclusión: a) Se registró un total de 77 taxa, siendo los grupos más diversos Plecoptera (16 %), Trichoptera (16 %), Diptera (14 %) y Ephemeroptera (12 %).

También Eguális *et al*, (2014) en su investigación *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico*. Concluye a) En Honduras la investigación con los macroinvertebrados acuáticos no es reciente, pero aparentemente no ha sido un tema prioritario en ninguna agenda de investigación. La información generada no se ha publicado o se ha hecho solo como literatura gris o se ha publicado en medios de poca accesibilidad en el país. La riqueza de los ecosistemas sugiere una alta diversidad de los macroinvertebrados acuáticos y un campo muy fértil de investigación científica. No obstante, se necesita una capacitación acorde pues el conocimiento de la taxonomía de este grupo es prácticamente nulo en el país. b) El estado del conocimiento de los macroinvertebrados en Honduras ha progresado desde el 2006 con el apoyo institucional, particularmente el ICF que ha impulsado los estudios de investigación en tesis, proyectos y consultorías. El empleo de macroinvertebrados acuáticos

como bioindicadores de la calidad del agua es una opción muy prometedora en el país. El trabajo interinstitucional en conjunto es necesario para dar a conocer que el uso de macroinvertebrados acuáticos constituye una herramienta ideal para la caracterización biológica e integral de la calidad de agua.

Para Beita, (2008), en su trabajo de tesis *Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica*, llegó a la principal conclusión que La evaluación de la calidad del agua es un valioso instrumento que puede permitir estimar la influencia que las diferentes actividades antropogénicas tienen y han tenido sobre los recursos acuáticos y al mismo tiempo puede servir para tomar acciones pertinentes para su conservación y remediación. Además, el uso apropiado de los recursos hídricos tiene una importancia estratégica para el manejo integral de la cuenca del río Rincón; asimismo el agua como elemento integrador, juega un rol fundamental en la sostenibilidad no solo ambiental sino también económica y social, en la península de Osa.

Asimismo, Sanchez et al, (2007) en la tesis titulada *Los Macroinvertebrados Acuáticos de las Salinas de Añana (Álava, España): Biodiversidad, Vulnerabilidad y Especies Indicadores*. Obtuvo como conclusión: a) Se han encontrado un total de 84 taxones, 61 de ellos identificados hasta el nivel de especie.

Por otra parte, Guerrero *et al*, (2004) en su trabajo de investigación: *Los macroinvertebrados bentónicos de pozo azul (cuenca del río gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua*, llega a las conclusiones: a) Las familias más representativas del sector fueron Baetidae, Simullidae, Perlidae, Chironomidae e Hydropsychidae, en este mismo orden de abundancia. Perlidae y Simullidae son indicadoras de aguas limpias y bien oxigenadas. Baetidae e Hydropsychidae pueden encontrarse en aguas desde aceptable a óptima calidad. Chironomidae es indicadora de condiciones anaeróbicas y/o de alta contaminación. b) Con base en los parámetros físico-químicos medidos y el índice BMWP, el agua del sector de Pozo Azul se catalogó como muy limpia y de buena calidad.

Álvarez *et al*, (2007) en la investigación *Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras*, concluyó a) Los resultados fisicoquímicos y biológicos del estudio son de gran utilidad para la evaluación de la calidad de agua de la región del Yeguaré por el uso de bioindicadores como herramienta novedosa y aún no aprovechada en Honduras que ayuda a conocer la biodiversidad acuática a nivel de microcuencas. b) El estudio sirve para la creación de una base de datos de la biodiversidad acuática de macroinvertebrados en la región del Yeguaré.

Al mismo tiempo, se iniciara una colección de las especies recolectadas durante el estudio que servirán como base fundamental para conocer la composición de las comunidades acuáticas de macroinvertebrados. c) Los parámetros fisicoquímicos analizados en las microcuencas de la región del Yeguaré indican que la calidad del agua es buena en Santa Inés y el Chupadero, regular en el Yeguaré y mala en Pita, Salada y el Gallo. d) La riqueza de diversidad en el Chupadero y Salada es similar, aunque presenten diferencias en cuanto a calidad de agua. Santa Inés y Pita de igual manera tienen un parecido en estructura de familias y géneros, aunque en cuanto a componentes de calidad de agua ecológica descritos por los índices bióticos sean diferentes

De igual forma Alba-Tercedor, (1996), en su trabajo de investigación *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos*, llegó a las siguientes conclusiones: a) El bajo coste de la utilización de estos métodos, la rapidez de su aplicación y su fiabilidad los hace idóneos para la vigilancia de las cuencas hidrográficas. Presentan la ventaja de que reflejan las condiciones existentes tiempo atrás antes de la toma de muestras; mientras que los métodos analíticos actuales ofrecen una visión puntual del estado momentáneo de las aguas en el momento de la toma de muestras.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Bullón, (2016), en su investigación *Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en la cuenca del río Perené, Chanchamayo*, concluye: a) Existe afectación de la calidad fisicoquímica de las aguas de la cuenca del río Perené por Coliformes Termotolerantes según los ECA agua evaluados, asimismo se sobrepasa los límites de Sólidos Suspendidos Totales, esto debido a las presiones significativas que ejercen las actividades antrópicas en el área. b) Se registraron en total 456 individuos, distribuidos en tres clases, 10 órdenes y 25 familias de macroinvertebrados en la cuenca del río Perené, la clase insecta representó el 88.77% del total de la población, siendo el orden coleoptera con 109 individuos la más distintiva de la clase. c) El patrón espacial que sigue el número de familias de macroinvertebrados en las aguas del río Perené es altamente dependiente de la calidad del agua, ya que presenta una alta correlación entre la abundancia de las comunidades de macroinvertebrados y la calidad de agua registrada.

Por su parte Custodio et al, (2015), en la tesis *Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú*, analizaron el estado de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales en tres sectores de muestreo en dos épocas

contrastantes. Realizaron la valoración de las presiones antrópicas mediante la determinación de la carga de DBO5 aportada por aguas residuales y colectaron muestras de agua para la determinación de nitratos, fosfatos y coliformes termotolerantes. Los indicadores medidos in situ fueron: oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, conductividad, temperatura, pH y turbidez. Las muestras de macroinvertebrados bentónicos se colectaron utilizando una red Surber con malla de 250 µm de abertura. Se identificaron cuatro phyla, siete clases, 12 órdenes y 26 familias de macroinvertebrados bentónicos. Concluyeron que las descargas de aguas residuales de las actividades pecuarias y urbana son presiones antrópicas significativas sobre la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos. Los indicadores fisicoquímicos y bacteriológicos de la calidad del agua determinados, según sector y época de muestreo, están en el rango de los ECA para agua de ríos de la sierra.

Asimismo, Minaya, (2017), en su investigación *Parámetros físicos, químicos, microbiológicos, para determinar la calidad del agua en la Laguna Moronacocha, época de transición creciente-vacante Iquitos Perú 2017*, concluye a) Se reporta que los niveles de pH no encajan con los niveles de ECA-Agua aprobadas por la normatividad ambiental. Los Estándares de Calidad indican que el valor óptimo de este parámetro se encuentra entre 6.5 y 9.0, en contraste los resultados obtenidos es de 5.2 en ambas estaciones de muestreo, indicando niveles de acidez de moderado a fuerte en la Laguna. d) Con respecto al Oxígeno Disuelto, el valor deseable de este parámetro es de al menos 5 mg/L, encontrando en las Estaciones 1 y 2 concentraciones de 4.3 mg/L y 4.7 mg/L, por lo que este parámetro no cumple con los ECA-Agua. e) De acuerdo a los parámetros evaluados, se encontró que la Temperatura, Transparencia, Oxígeno Disuelto, Turbidez y Sólidos Totales Disueltos (TSS) mostraron un comportamiento relacionado al nivel de las aguas durante el tiempo de estudio; las variables de Temperatura y Transparencia mostraron valores decreciente conforme lo hacía el nivel de las aguas de la laguna, las variables restantes mostraron un comportamiento opuesto.

Por su parte Soto, (2013), en la tesis *Macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de agua en la sub cuenca de Achamayo, Concepcion*, teniendo como objetivo el determinar la calidad del agua de la sub cuenca hidrográfica de Achamayo a través de la utilización de macroinvertebrados como Bioindicadores, determinando la calidad del agua mediante la aplicación de los índices bióticos (EPT, IBF, BMWP) y biodiversidad (Shannon–Weaver, Simpson, riqueza) y a su vez analizó la relación de los índices biológicos y los parámetros fisicoquímicos. Obteniendo como resultados que el índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera

y Trichoptera) varia en calidad del agua de “buena” a “mala”, en la sub cuenca de Achamayo, tiene mucha similitud con índice IBF (Índice Biótico a Nivel de Familia), que fue el más efectivo en determinar la calidad del agua en el estudio. La comunidad de macroinvertebrados de la sub cuenca hidrográfica del río Achamayo, estuvo constituida por 6 clases, 12 órdenes, distribuidos en 18 familias, siendo los insectos el grupo más representativo, con un total de 7 órdenes en la totalidad de la sub cuenca, concluyó también que la relación de los índices biológicos y los parámetros fisicoquímicos es significativa según la correlación de Pearson, determinando que los macroinvertebrados acuáticos son bioindicadores de la calidad del agua en sub cuenca.

De igual manera Guevara, (2013), en su trabajo de tesis de *Evaluación de la comunidad de macroinvertebrados de bancos vegetados en quebradas contaminadas por minería aurífera. Madre de Dios-Perú*, llegó a las conclusiones a) Se identificaron un total de 20078 individuos agrupadas en 156 taxa demostrando así la alta capacidad e importancia de los bancos vegetados para albergar una gran diversidad de macroinvertebrados acuáticos inclusive en áreas medianamente perturbadas (E1 y E2). b) Algunas quebradas ubicadas en zonas conocidas por su minería demostraron estar sometidas a otros impactos como urbano (altos niveles de nitratos en la estación E3) demostrando así que la actividad minera va ligado generalmente a otros impactos. c) El estudio de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en bancos vegetados evidenció el grado de conservación de las quebradas, relacionado principalmente a la integridad física (condición de bosque) y química (OD, conductividad y STD), no pudiendo distinguirse cambios comunitarios a causa del mercurio en el sedimento.

También Guevara et al, (2012), en la investigación *Macroinvertebrados acuáticos y su relación con el estado de conservación de seis quebradas en Madre de Dios*, concluyó que el estudio de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos evidenció el grado de conservación de las quebradas, siendo el oxígeno disuelto en agua y la integridad de bosque, factores indispensables para albergar una adecuada diversidad biótica.

También (Perea, et al 2011), en su investigación “Evaluación de comunidades de macroinvertebrados asociados a tres especies de macrófitas acuáticas en la laguna de moronacocha, Iquitos” concluye: a) En las tres macrófitas evaluadas, la clase Insecta fue la más representativa en riqueza (P. stratiotes = 21, E. crassipes =18 y E. polystachya =22) y abundancia (P. stratiotes = 445, E. crassipes =368 y E. polystachya =298) de familias de macroinvertebrados acuáticos en el Lago Moronacocha. b) No se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ), en cuanto la riqueza y abundancia de

macroinvertebrados acuáticos entre las tres macrófitas evaluadas. c) Los valores promedio de T° (26.4 °C) y pH (6.7) obtenidos de los puntos de colecta de cada tipo de macrófita se encontraron dentro de los límites adecuados, mientras que el nivel promedio de O<sub>2</sub> (2.3 mg/ml) se presentó muy bajo.

De igual modo Medina, (2008), en su trabajo de investigación *El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama. La Libertad. Perú. 2008*, aborda en las siguientes conclusiones: a) El índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), modificado, adaptado y propuesto, como índice biótico de calidad del agua para ríos del norte del Perú (nPeBMWP), es un método aplicable, como un indicador de la calidad del agua, por la simplicidad del nivel taxonómico requerido (familia) y por el ahorro técnico en términos de tiempo (identificación de insectos) y costos. b) Los macroinvertebrados de las microcuencas Perejil, Caballo Moro y Chuyugual, en el Alto Chicama, en el 2008 están constituidos por 7 Clases y 13 Órdenes; distribuidos en 46 familias. Los insectos es el grupo más representativo, con 11 familias.

También Paredes, (2004), en su investigación *Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad de agua en dos ríos de Cajamarca y Amazonas*, valoró la calidad del agua según el índice BMWP, catalogándose como aguas con algunos efectos de contaminación o de calidad aceptable (67 puntos). Se obtuvo 22 taxones, con predominancia de tres órdenes de insectos: Trichoptera (40%), Plecoptera (16%) y Ephemeroptera (10%). Las familias más representadas fueron: Xiphocentronidae (15%), Odontoceridae (12%), Baetidae (10%), Perlidae (9%) y Psephenidae (8%).

Del mismo modo Paredes, (2003), en la tesis titulada, *Uso de Macroinvertebrados Bentónicos como bioindicadores de la calidad de agua en el río Rimac, Lima-Callao, Perú*, concluyó que la composición faunística, riqueza de familias y calidad del agua con base en el índice Biological Monitoring Working Party modificado (BMWP' modif.). La evaluación se realizó en seis estaciones de muestreo ubicadas a lo largo del curso del río Rímac, que cruza Lima y Callao. Se registraron 35 taxa de MIB: Hexapoda (27). Annelida (2). Mollusca (2). Arachnida (2). Platyhelminthes (1) y Chilopoda (1). De los 2.166 especímenes coleccionados. Oligochaeta (n = 597) obtuvo la mayor abundancia absoluta, seguido por Psychodidae (n = 521). Physidac (n = 442). Chironomidae (n = 300) y Dixidae (n = 168).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Macroinvertebrados acuáticos**

De Pauw *et al.* (2016), manifiesta que los macroinvertebrados acuáticos son

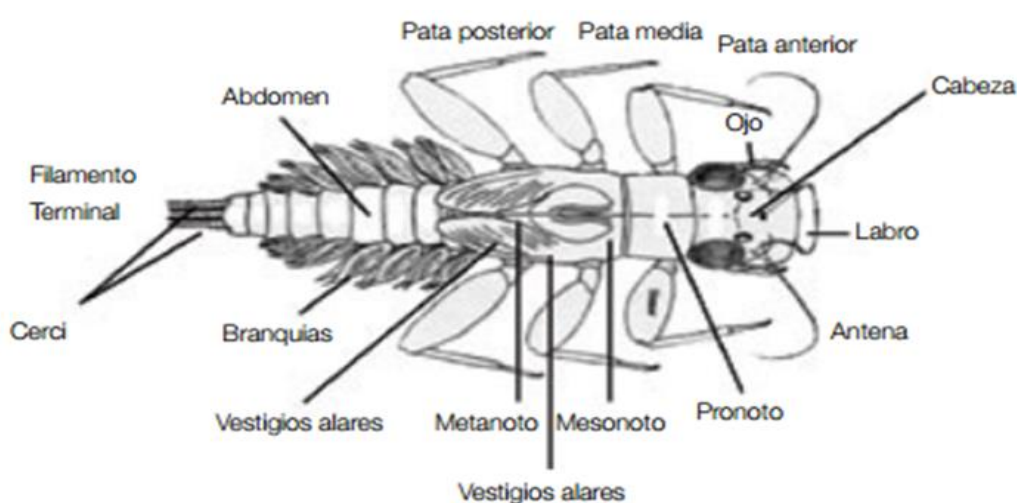
organismos ubicuos y abundantes, por lo que pueden verse afectados por perturbaciones ambientales en distintos tipos de sistemas acuáticos. Su elevado número de especies ofrece un gran número de respuestas a distintos tipos de perturbaciones, tanto físicas como químicas (contaminación orgánica, eutrofización, acidificación, alteración del hábitat, regulación de caudales, canalizaciones, etc.), también su carácter sedentario permite análisis espaciales de las perturbaciones y su largo ciclo de vida, en comparación con otros grupos, permitiendo identificar cambios temporales en dichas perturbaciones.

Para (Wetzel, 2013), el término macroinvertebrados se utiliza comúnmente para referirse a animales invertebrados tales como insectos, crustáceos, moluscos y anélidos entre otros, los cuales habitan principalmente sistemas de agua dulce y manifiesta que existen varias definiciones acerca del punto en el cuál los macroinvertebrados se separan de los microinvertebrados, pero en términos generales se acepta un tamaño de 500 $\mu$ m (0.5 mm) o superior para los macroinvertebrados, los macroinvertebrados pueden pertenecer al neuston cuando son nadadores activos, al neuston cuando habitan la superficie del agua, o al bentos si permanecen la mayor parte del tiempo en el fondo del cuerpo del agua, ya sea en sustratos orgánicos como el detrito, plantas acuáticas, hojarasca, ramas y troncos, o cualquier sustrato inorgánico, como rocas, grava, y arena.

De igual manera Mafla, (2005), manifiesta que los macroinvertebrados acuáticos son los bichos que se pueden observar a simple vista y tienen tamaños entre 2 milímetros y 30 centímetros. Se llaman invertebrados porque no tienen huesos (solo exoesqueletos), y acuáticos porque viven en los lugares con agua dulce como las quebradas, ríos, lagos y lagunas; además indica que los macroinvertebrados acuáticos viven en el fondo de lagos y ríos, enterrados en el fondo, sobre rocas, y troncos sumergidos, adheridos a vegetación flotante o enraizada, algunos nadan libremente dentro del agua o sobre la superficie. Los macroinvertebrados se pueden encontrar en dos tipos de ecosistemas de aguas dulces: ecosistemas lénticos o de aguas tranquilas y lóticos o de aguas rápidas, donde se pueden encontrar una gran cantidad de especies de artrópodos, anélidos y moluscos; estos animalitos pueden vivir en diferentes sitios como el fondo (bentos), sobre la arena, rocas, adheridos a troncos y vegetación sumergida, nadando activamente dentro del agua (nectos) o sobre la superficie (neuston); además proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua porque algunos de ellos requieren buenas calidades de agua para sobrevivir; otros, al contrario, resisten, crecen y abundan en sitios donde hay contaminación, Igualmente Roldan, (1988), indica que los macroinvertebrados acuáticos son organismos con un tamaño superior a los 0.5 mm hasta los 30 cm de longitud, es decir, son fácilmente identificables

por el ojo humano. El prefijo macro indica que esos organismos son retenidos por redes de tamaño entre 200-500mm y que se ven a simple vista. Asimismo Estos organismos además pueden habitar tanto ecosistemas lóticos como lénticos. Las formas no son uniformes, los podemos encontrar desde: redondeados, ovalados, alargados y espiralados; en cuanto a la cantidad de extremidades que tienen hay desde 10 patas hasta completamente sin patas, tales como de 10 patas, 8 patas, 6 patas y sin patas.

Las partes de un macroinvertebrado (en estado larval) se pueden observar en la Figura 1, es recomendable conocer las partes de estos animales para identificar su familia y género.



*Figura 1:* Partes de un macroinvertebrado en estado larval. (Fuente: Mafla, 2005)

Entre las familias de los macroinvertebrados tenemos:

a) Plecóptero

Insectos que pueden llegar a medir hasta 5 cm., aunque los que encontramos en España no superan los 2,5 cm. Poseen la cabeza con dos antenas filiformes y largas, y dos ojos compuestos. Su cabeza es aplanada al igual que su abdomen, este dividido en 11 segmentos, acaba en dos cercos o colas al final. Sus tres pares de patas son robustas y provistas de uñas para asirse a las piedras con fuerza. Las alas son membranosas y grandes con las venas bien marcadas y estas las pliegan sobre el abdomen. Los dos pares de alas que poseen no son de igual extensión, siendo las anteriores menos anchas que las posteriores. (Mafla, 2005).

b) Efemerópteros

El nombre de Efemeróptero hace referencia al escaso tiempo de vida que tienen los insectos adultos, ephemerous = dura un día; pteros = alas; alas que duran un día, en algunas especies



apenas llega a unas horas, emergen al caer la tarde y mueren antes de la mañana siguiente. Los Efemerópteros poseen un ciclo de vida de los llamados incompletos (huevo, ninfa y adulto), no pasando por el estadio de pupa, este dura normalmente un año. Los adultos tienen colores bastante apagados, predominando los amarillos y pardos. (Mafla, 2005).

c) Tricópteros,

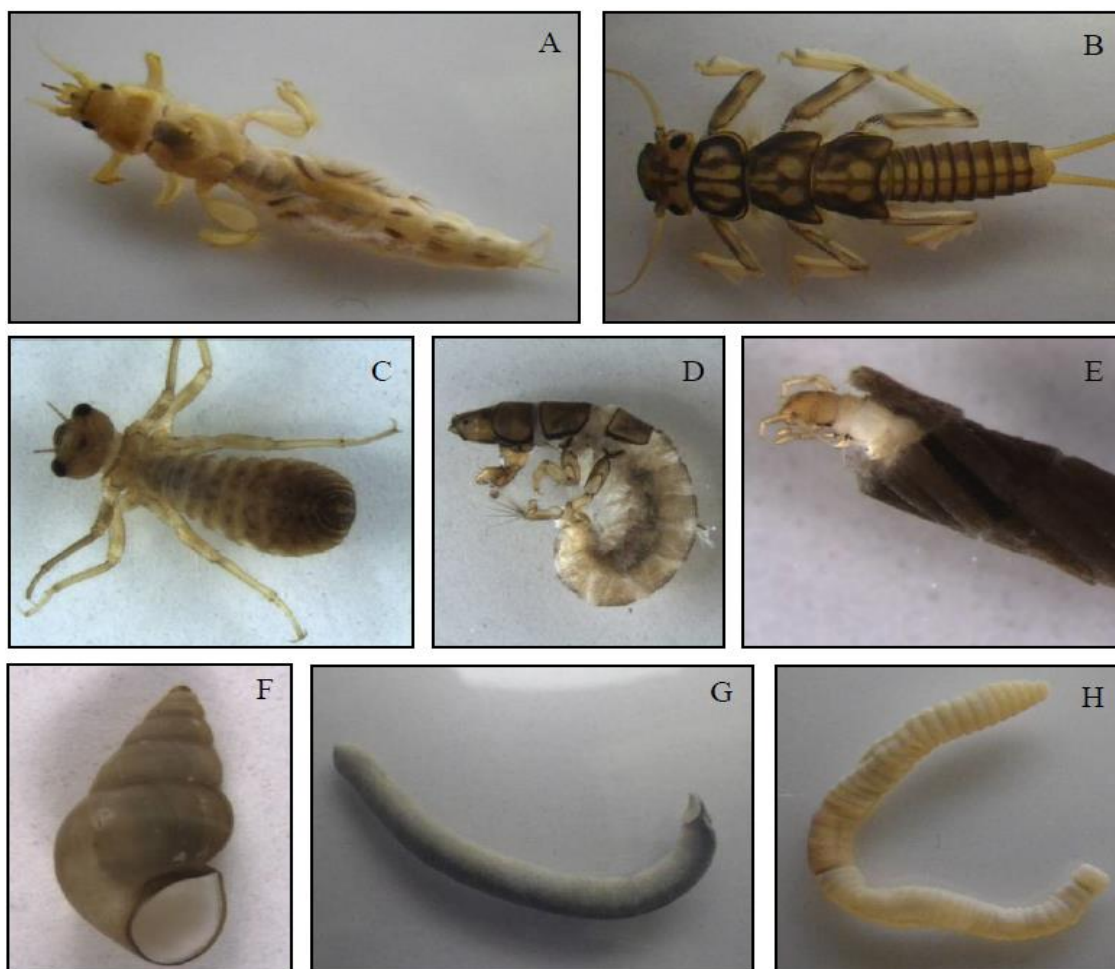
Los tricópteros son un orden de insectos pterigógenos, de metamorfosis completa, holometábolos, cuerpo blando y aparato bucal modificado en trompa para chupar o lamer líquidos, aunque los adultos de muchas especies no se alimentan nunca. Las alas son delicadas y de colores apagados, están cubiertas de escamas o de pelos, a veces muy numerosos y largos, y las posteriores se pliegan en abanico. En general, parecen pequeñas mariposas de 3 a 20 milímetros de longitud y de antenas muy finas y largas. (Mafla, 2005).

d) Dípteros

Los dípteros son un grupo de insectos, muy variado y diversificado. Su nombre científico Dipteron (Di = Dos, Pteron = Alas), nos habla de su característica principal, solo poseen un par de alas, el delantero. Las alas traseras se reducen a una estructura parecida a unos balancines (halaterios). (Mafla, 2005).

Según Prat, *et al.* (2009), los invertebrados acuáticos incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos, cómo los cangrejos, los cuales desarrollan todo su ciclo de vida en el agua, uno de los grupos de macroinvertebrados acuáticos más ampliamente distribuido en las aguas dulces es el de los insectos. Los macroinvertebrados tienen una especial importancia en los ecosistemas acuáticos, al constituir el componente de biomasa animal más importante en muchos tramos de ríos y jugar un papel fundamental en la transferencia de energía desde los recursos basales hacia los consumidores superiores de las redes tróficas. Es decir, a nivel de grupo, los macroinvertebrados acuáticos van a consumir la materia orgánica fabricada en el río por los organismos fotosintéticos, como algas o briófitos, y la materia orgánica procedente del ecosistema terrestre, fundamentalmente del bosque de ribera.

En la Figura 2, podemos observar algunos macroinvertebrados más comunes de los ríos.



**Figura 2.** Imágenes de diversos macroinvertebrados acuáticos. A: Fam. Ephemeroidea (Orden Ephemeroptera, Clase Insecta); B: Fam. Perlidae (Orden Plecoptera, Clase Insecta); C: Fam. Cordulegastridae (Orden Odonata, Clase Insecta); D: Fam. Hydropsychidae (Orden Trichoptera, Clase Insecta); E: Fam. Leptoceridae (Orden Trichoptera, Clase Insecta); F: Fam. Hydrobiidae (Clase Gastropoda); G: Fam. Erpobdellidae (Clase Hirudinea); H: Clase Oligochaeta. Fuente: Mafla, (2005).

### 2.2.1.1. Bioindicadores

Los bioindicadores son atributos de los sistemas utilizados para descifrar factores de su ambiente. En principio, se usaron especies o asociaciones de éstas como indicadores, después, comenzaron a emplearse atributos correspondientes a otros niveles de organización del ecosistema, como por ejemplo, poblaciones, comunidades, etc., hecho que resultó particularmente útil en estudios de contaminación. Los bioindicadores son organismos o restos de estos mismos, cuyo objetivo es ayudar a determinar cualquier acontecimiento relacionado con el estudio de un ambiente. Cada especie o población tiene unos determinados límites de condiciones ambientales, como por ejemplo: límites máximos donde los organismos pueden sobrevivir, límites intermedios donde crecen y límites estrechos donde se reproducen. En general, cuando más estrechos sean sus límites de tolerancia, mayor será su utilidad como indicador ecológico. Las especies

bioindicadoras, deben ser abundantes, sensibles al medio de vida, fáciles y rápidas de identificar, y con poca movilidad. (Puig, 2011).

Méndez *et al.*, (2013), manifiesta también que la bioindicación de la calidad del agua es el uso de organismos sensibles a un determinado contaminante con efectos visibles macroscópicamente o microscópicamente, a fin de evaluar la calidad del agua. Proporciona una información semi-cuantitativa sobre la contaminación del medio acuático y permite evaluar directamente el impacto ambiental de los contaminantes.

De igual modo Longo, *et al.* (2004), indica que todo organismo es indicador de las condiciones del medio en que se desarrolla, ya que de cualquier forma su existencia en un espacio y momentos determinados responden a su capacidad de adaptarse a los distintos factores ambientales.

Garrec y Van Haluwyn, (2015), sin embargo mencionan en términos más estrictos, un indicador biológico acuático se ha considerado como aquél cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita; los indicadores biológicos se han asociado directamente con la calidad del agua más que con procesos ecológicos o con su distribución geográfica, y es pertinente aclarar que más que a un organismo, el indicador biológico se refiere a la población de individuos de la especie indicadora.

También De la Nuez, (2018), publica que los organismos indicadores o bioindicadores son aquellos que son empleados para detectar cambios en la calidad del hábitat, alteraciones ambientales de diversos tipos o la existencia de concentraciones de determinados contaminantes en los sitios donde se encuentran (o se ausentan), entre otros.

Asimismo Holt, (2014), indica que los bioindicadores incluyen procesos biológicos, especies o comunidades y se utilizan para evaluar la calidad del medio ambiente y cómo cambia con el tiempo. Los cambios en el medio ambiente a menudo se atribuyen a perturbaciones antropogénicas (por ejemplo, contaminación, cambios en el uso de la tierra) o estresantes naturales (por ejemplo, sequía, congelamiento tardío de primavera), aunque los factores estresantes antropogénicos constituyen el foco principal de la investigación de bioindicadores. El desarrollo generalizado y la aplicación de bioindicadores se han producido principalmente desde la década de 1960. A lo largo de los años, hemos ampliado nuestro repertorio de bioindicadores para ayudarnos a estudiar todos los tipos de entornos (es decir, acuáticos y terrestres), utilizando todos los principales grupos taxonómicos.

Por su parte Longo *et al.* (2004), que un contaminante o cualquier otro evento particular

que perturbe las condiciones iniciales de un sistema acuático provocaran una serie de cambios en los organismos, cuya magnitud dependerá del tiempo que dure la perturbación, su intensidad y su naturaleza. La acción puede ser indirecta (cambios en el medio) o directa (ingestión o impregnación). Los efectos sobre la fauna acuática cuando es sometida a la descarga de una sustancia tóxica; a medida que transcurre el tiempo se pasa de respuestas individuales (bioquímicas y fisiológicas) a respuestas poblacionales, comunitarias y ecosistémicas. Entonces un indicador biológico será aquel que logre soportar los efectos ocasionados por el elemento perturbante, es decir, que muestre algún tipo de respuesta compensatoria o tolerante. Estas respuestas significan para la especie mantener el funcionamiento normal a expensas de un gran gasto metabólico.

Macroinvertebrados acuáticos son uno de los grupos biológicos más ampliamente usados como indicadores biológicos del agua. Estos se deben a que integran muchas de las cualidades que se esperan de un indicador. Entre esta destaca su elevada diversidad y que estén representadas por diferentes taxones, con requerimientos ecológicos diferentes relacionados con las características hidromorfológicas (velocidad del agua, sustrato), fisicoquímicas y biológicas del medio acuático. (Prat *et*, 2009).

### **2.2.2. Calidad del agua y evaluación**

Para el Ministerio de Medio Ambiente, (2014), al hablar de calidad del agua siempre conlleva a integrar el factor de su utilización para una correcta ponderación de dicha calidad, dado que sus características de composición pueden indicar que son aptas para algunos usos determinados y excluyentes para otros, de modo que se presta menos fácilmente a todas o algunas de las utilidades para las que podría servir en su estado natural.

Asimismo Henry, (2007), la calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. El concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo poblacional, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño. Sin embargo, dependiendo de otros usos que se requieran para el agua, así se puede determinar la calidad del agua para dichos usos. En este contexto, se considera que el agua es de buena calidad cuando está exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores y está exenta de sustancias que transmitan sensaciones sensoriales desagradables para el consumo, como el color, el olor, el sabor o turbiedad. La importancia de la calidad del

agua radica en que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los humanos.

Sobre la evaluación biológica de la calidad de las aguas Alba-Tercedor, (1996), menciona que los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presentan estas adaptaciones evolutivas a unas determinadas condiciones ambientales y presentan unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Estos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentran organismos “sensibles” que no soportan las nuevas condiciones impuestas, comportándose como “intolerantes”, mientras que otros, que son “tolerantes no se ven afectadas. Si la perturbación llega a un nivel letal para los intolerantes estos mueren y su lugar es ocupado por comunidades de organismos tolerantes. Del mismo modo, aun cuando la perturbación no sobrepase el umbral letal, los organismos intolerantes abandonan la zona alterada, con la cual dejan espacio libre que puede ser colonizado organismos tolerantes. De modo que, variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación.

En cuanto a la calidad del agua de riego Sela, (2018), indica que tanto la calidad del agua de riego como el manejo adecuado del riego son esenciales para la producción exitosa de cultivos, la calidad del agua de riego afecta tanto a los rendimientos de los cultivos como a las condiciones físicas del suelo, incluso si todas las demás condiciones y prácticas de producción son favorables/óptimas. Además, los distintos cultivos requieren distintas calidades de agua de riego. Por lo tanto, es muy importante realizar un análisis del agua de riego antes de seleccionar el sitio y los cultivos a producir. La calidad de algunas fuentes de agua puede variar significativamente de acuerdo a la época del año (como en una época seca / época de lluvias), así que es recomendable tomar más de una muestra, en distintos períodos de tiempo. Los parámetros que determinan la calidad del agua de riego se dividen en tres categorías: químicos, físicos y biológicos, las características químicas del agua de riego se refieren al contenido de sales en el agua, así como a los parámetros derivados de la composición de sales en el agua; parámetros tales como la Conductividad, sólidos totales disueltos), la alcalinidad y otros elementos. En consecuencia la Universidad Nacional de Colombia, (2015), reporta que la calidad del agua es comúnmente definida por sus características físicas, químicas, biológicas y estéticas (aparición y olor). La calidad del agua en un cuerpo hídrico influye en la manera en que las comunidades utilizan el agua para actividades tales como beber, nadar o fines comerciales. Más específicamente, el agua puede ser utilizada por la comunidad

para el suministro de agua potable, la recreación (natación, canotaje), el riego de cultivos y para abastecer al ganado, los procesos industriales, la navegación, la producción de peces comestibles, mariscos y crustáceos, la protección de los ecosistemas acuáticos, los hábitats silvestres, el estudio científico y la educación, etc. Por tal motivo, la determinación de la calidad de un cuerpo de agua está relacionada generalmente con el propósito del uso que se le dará.

Según la FAO, (2016), 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 se puede definir por sus contenidos de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución. La evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud.

No obstante, la calidad del agua como su aptitud para los usos beneficiosos a que se ha venido dedicando en el pasado, es decir, como medio de sustento para el ser humano y los animales, para el riego de la tierra y la recreación entre otras cosas (Correa, 2000).

Según Chapman, (2014), la calidad del ambiente acuático es definida como la composición y bienestar de la biota en un cuerpo de agua.

#### **2.2.2.1. Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua**

Los métodos fisicoquímicos ayudan a conocer con precisión el tipo de contaminante, como lo afirma (Leiva, 2014) que las principales desventajas de determinar la calidad de agua mediante el uso de métodos fisicoquímicos radican en parte en el costo elevado, al mismo tiempo que la información proporcionada por estos análisis es puntual y transitoria.

Según Roldan, (1988), los parámetros a los cuales son más sensibles los organismos son a menudo el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la temperatura.

Para Mejía, (2015), el pH o concentraciones de iones hidrógeno, es la concentración relativa de los iones hidrógeno en el agua, es la que indica si ésta actuará como un ácido débil o si se comportará como una solución alcalina. Es una medición valiosa para interpretar los rangos de solubilidad de los componentes químicos. Esta mide la acidez o la alcalinidad del agua. La actividad del ion hidrógeno puede afectar directa o indirectamente la actividad de otros constituyentes presentes en el agua, la medida del pH constituye un parámetro de importancia para la descripción de los sistemas biológicos

y químicos de las aguas naturales, también es aquel que expresa la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, en estado natural depende de la concentración de CO<sub>2</sub>, el pH de las aguas naturales se debe a la composición de los terrenos atravesados, el pH alcalino indica que los suelos son calizos y el pH ácido que son silíceos.

Según Prieto, (2014), el pH no mide el valor de la acidez o alcalinidad, sino que la determinación del pH en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o su alcalinidad. Un pH menor de 7 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un pH mayor de 7 muestra una tendencia hacia la alcalinidad. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, aunque muchas de ellas tienen un pH ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos.

En cuanto al oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno en el agua el cual es esencial para los riachuelos y lagos saludables; puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad; si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir, este indicador depende de la temperatura, puesto que el agua más fría puede guardar más oxígeno en ella, que el agua más caliente. (Stevens Institute of Technology, 2006).

Para Lopes, (2015), menciona que el oxígeno disuelto es uno de los parámetros más importantes para la vida acuática y la ecología de los ríos. Puede ser removido o agregado al agua por varios procesos fisicoquímicos o reacciones biológicas. Cuando las concentraciones de oxígeno caen abajo del nivel de saturación, el déficit se compensa por la transferencia de gas desde la atmósfera a través de la superficie y cuando las concentraciones son superiores al nivel de saturación, la sobresaturación se reduce por la transferencia desde la columna de agua al aire. Tales interacciones son controladas por la diferencia de las presiones parciales en la fase gaseosa y de las concentraciones en la fase líquida. La transferencia de oxígeno en aguas naturales depende de la mezcla interna y la turbulencia debido a los gradientes de velocidad y a las fluctuaciones, temperatura, viento, cataratas, pantanos, rápidos y películas superficiales.

Asimismo, Mitchell *et al.* (2014), indica que el oxígeno disuelto es uno de los parámetros más relevantes a la hora de evaluar la calidad del agua, porque está asociado a la contaminación orgánica, su concentración aumenta al disminuir la temperatura y la salinidad y posee una relación directa con la pendiente y la aireación del cauce. Cuando existen condiciones aeróbicas se produce una mineralización que consume oxígeno y

produce gas carbónico, nitratos y fosfatos. Una vez que se consume todo el oxígeno comienza la descomposición anaeróbica que produce metano, amonio, sulfuro de hidrógeno y mercaptanos.

El oxígeno es la cantidad disuelta de oxígeno en el agua, las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida, si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida. (Ocasio, 2016).

Los cloruros se encuentran distribuido en la naturaleza, sobre todo en forma de sales solubles en agua, como cloruros de sodio (NaCl) y potasio (KCl). Las mayores cantidades de cloruro en el ambiente se encuentran en los océanos. Los cloruros de potasio, calcio y magnesio pueden ser más tóxicos para organismos acuáticos que el de sodio, además es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua, sin embargo, en altas concentraciones puede tener un sabor salado fácilmente detectable si el anión está asociado a los cationes sodio o potasio, pero el sabor no es apreciable si la sal disuelta es cloruro de calcio o magnesio, ya que en estos casos el sabor salado no se aprecia. A partir de ciertas concentraciones, los cloruros pueden ejercer una acción corrosiva y erosionante, en especial a pH bajo. (Benoit & Stephan, 2014).

Para AENOR, (1997), la presencia de cloruros en las aguas naturales se atribuye a la disolución de depósitos de sal, contaminación proveniente de los diversos efluentes de la actividad industrial, aguas excedentarias de riego agrícolas y sobre todo de las minas de sales potásicas. A veces se puede presentar un incremento esporádico del contenido en cloruros como consecuencia de contaminantes domésticos, en particular de la orina del hombre y de los animales.

Los nitratos según Water Boards, (2013), indica que es un contaminante común que se encuentra en el agua y que puede provocar efectos nocivos si se consume en altos niveles. El nitrato es inodoro e incoloro. Bajas concentraciones de nitrato son normales, pero altas cantidades pueden contaminar nuestra fuente de agua. Fuentes comunes de nitrato son los fertilizantes, estiércol, compost y pozos sépticos. El nitrato llega fácilmente a fuentes de agua por lixiviación; asimismo las concentraciones altas de nitratos generalmente se encuentran en el agua en zonas rurales por la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes utilizados. Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos. Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, del contenido de oxígeno



disuelto y del pH del agua.

Para Nordin & Pommen, (2016), las principales fuentes naturales localizadas de nitratos son las rocas ígneas y la actividad volcánica. Los niveles de concentración en aguas naturales varían dependiendo de la productividad biológica; en lagos y arroyos oligotróficos, se espera que el nitrato sea menor que 0,1 mg/L  $\text{NO}_3^-$  (N-  $\text{NO}_3$ ). En lagos eutróficos concentraciones superiores a los 0,2 mg/L  $\text{NO}_3^-$  - N tienden a estimular el crecimiento de algas. Por otro lado, cuerpos de agua con niveles sobre 5 mg/L  $\text{NO}_3^-$  - N muestran una clara señal de contaminación.

En cuanto al Aluminio AENOR, (1997), menciona que es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza. Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de aluminio silicato. Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental en la producción de aluminio. Para (Nordin & Pommen, 2016), es un componente natural del agua, debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de la turbidez del agua. El problema mayor lo constituyen las aguas que presentan concentraciones altas de aluminio, las cuales confieren al agua un pH bajo.

Asimismo, Payeras, (2018), el hierro, por lo general, no produce trastornos en la salud en las proporciones en que se lo encuentra en las aguas naturales. La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbidez y el color del agua. Tiene gran influencia en el ciclo de los fosfatos, lo que hace que su importancia sea muy grande desde el punto de vista biológico;

El hierro es un metal extraordinariamente común y se encuentra en grandes cantidades en suelos y rocas, aunque normalmente en forma insoluble, sin embargo, debido a un número de complejas reacciones que se suceden de forma natural en el suelo, se pueden formar formas solubles de hierro que pueden contaminar cualquier agua que lo atraviese. Por lo tanto, el exceso de hierro es un fenómeno común de las aguas subterráneas, especialmente aquellas encontradas de aguas subterráneas blandas. (AENOR, 1997).

Respecto a los sulfatos, son descargados al ambiente acuático a través de las aguas residuales, la quema de combustibles fósiles es también una fuente importante de sulfuro

a la atmósfera, la mayoría de las emisiones provocadas por el hombre a la atmósfera; en aguas naturales no contaminadas, comúnmente las concentraciones de sulfato disuelto varía de 2 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L a 80 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L, aunque las fluctuaciones estacionales son muy normales en la mayoría de los ríos, no se han reportado en la literatura importantes casos de toxicidad por sulfato en organismos acuáticos, incluyendo peces y musgos acuáticos; además son un componente natural de las aguas superficiales y, en general, no se encuentran en concentraciones que puedan afectar a su calidad, pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua; también los sulfatos contribuyen a la dureza del agua, puesto que un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor amargo al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio; y por el contrario cuando el sulfato se encuentra en concentraciones excesivas le confiere propiedades corrosivas. (Ministerio del Ambiente, 2006).

Sobre el manganeso Espejo, (2012), indica que su presencia en aguas naturales bien oxigenadas no es importante, ya que los compuestos solubles del Mn corresponden al metal divalente, que en medios aireados se oxida precipitando oxihidróxidos poco solubles; en aguas profundas desoxigenadas que se encuentran durante la estratificación térmica (verano, otoño), las concentraciones se incrementan notablemente debido a la redisolución en ambiente reductor de los compuestos oxidados de Mn presentes en el lodo y sedimentos sólidos del fondo del vaso del lago. Además, al igual que les sucede al Fe, esta dinámica redox también está afectada por unos procesos mediados por microorganismos quimiotrofos.

El manganeso nunca se encuentra en la naturaleza en estado nativo, debido a su gran afinidad por el oxígeno generalmente se presenta en forma de óxidos y también en la de silicatos y carbonatos. (AENOR, 1997).

La conductividad es una medida de la capacidad del agua de conducir una corriente eléctrica, es sensible a las variaciones de sólidos disueltos, principalmente de sales minerales; para un cuerpo de agua en específico, se relaciona con los sólidos totales disueltos y con los iones mayoritarios. (ANZECC, 2013).

De igual manera Chapman, (2014). La conductividad de la mayoría de las aguas dulces naturales se encuentra entre los 10 µS/cm a los 350 µS/cm; aunque, por supuesto depende del tipo de geología, en zonas con influencia marino costera los valores pueden ir desde los 125 µS/cm hasta los 2200 µS/cm; mientras que en lagos y reservorios las conductividades son por lo general más bajas.

Para Ocasio, (2016) indica que el agua por lo general posee una conductividad eléctrica

baja, esta es mayor y proporcional a las cantidades y características de los electrolitos presentes en el agua (iones en disolución), por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos; la conductividad eléctrica puede ser afectada por la temperatura o el material de composición del lecho; sobre la temperatura se indica que es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia, este factor está relacionado al Oxígeno Disuelto, el aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales, a su vez aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción, este parámetro también interviene en el diseño de la mayoría de procesos del tratamiento del agua. (Ocasio, 2016).

### **2.2.3. Otros aportes relacionados al estudio**

#### **2.2.3.1. Sub cuenca del río Cumbaza**

La sub cuenca del río Cumbaza está localizada en la jurisdicción territorial de las provincias de San Martín y Lamas en el departamento de San Martín. Es el último tributario importante del río Mayo cerca de su desembocadura en el río Huallaga. Según la base de datos cartográfica, la sub cuenca del río Cumbaza tiene un área SIG de 57 120 has., y un perímetro de 124,72 Km. La cuenca está enmarcada dentro de las coordenadas UTM 330264 y 362868 m Este y 9269585 y 9305358 m Norte. En la sub cuenca del Río Cumbaza, particularmente se encuentra la población y la infraestructura productiva con gran importancia. Por la sub cuenca recorre el trazo de la Carretera Fernando Belaunde Terry, uniendo las dos ciudades más importantes de la sub cuenca (Lamas y Tarapoto). Hasta la década pasada el crecimiento poblacional en la sub cuenca, fue proporcionalmente mayor al crecimiento nacional. Dicho crecimiento podría deberse al auge de la actividad de narcotráfico y de la implementación de proyectos especiales y de desarrollo, los mismo que fueron promovidos en la década de los 80. Tarapoto fue la tercera ciudad con tasa de crecimiento poblacional alta con 5,7% después de Tocache con 7,3% y Mariscal Cáceres con 6,1% (Aramburú, 1982). (GORESAM, 2006), indica que la cuenca del río Cumbaza está ocupada por el territorio de nueve (09) municipios distritales y dos (02) municipios provinciales; la Provincia de Lamas abarca 03 distritos, 09 centros poblados que incluye 03 comunidades nativas; la Provincia de San Martín abarca 06 distritos y 16 centros poblados. Las provincias de Lamas y San Martín, son las que están dentro de la cuenca del Río Cumbaza; estando por la provincia de Lamas los distritos de (Lamas, San Roque de Cumbaza y Rumisapa) y por la provincia de San

Martín están los distritos de (Tarapoto, Morales, San Antonio y La Banda de Shilcayo.

#### **2.2.3.2. El escenario biofísico**

Para (Sagástegui et al, 1995), las áreas menos biodiversas corresponden a las tierras con cultivos en limpio bajo riego, los mismos que por su disponibilidad de agua son utilizados para el cultivo de arroz durante todo el año. En estos lugares solo da lugar a barbechos consistentes en especies de porte herbáceo de las familias Poaceae, Asteraceae, Solanaceae, Fabaceae, entre otras, mostrando una severa reducción en la abundancia y riqueza de especies. La mayor parte de la flora y fauna de la sub cuenca se encuentra afectada por las actividades humanas, tanto por agricultura como por la expansión urbana. Las áreas encontradas en menor estado de deterioro se encuentran dentro del Área de Conservación Regional (ACR) Cordillera Escalera y en las cabeceras de la sub cuenca, dentro de los territorios de las comunidades nativas Quechua lamistas de Chiric Yacu, Chunchiwi y Aviación. Sin embargo, es notorio el efecto de la presencia antrópica de estas comunidades sobre la vegetación y la fauna.

#### **2.2.3.3. Tributarios de río Cumbaza**

Según IICA (2004), son 27 los tributarios del río Cumbaza, según puede observarse en el Cuadro 2, los cuales fueron clasificados por su caudal en:

- 4 quebradas pequeñas con caudal entre 0 a 10 l/s, representa el 15%
- 8 quebradas medianas con caudal entre 10 a 50 l/s, representa el 29%
- 4 quebradas regulares con caudal entre 50 a 100 l/s, representa el 15%
- 7 quebradas grandes con caudal entre 100 a 500 l/s, representa el 26%
- 4 quebradas muy grandes con caudal > de 500 l/s, representa el 15%.

**Cuadro 2***Principales fuentes tributarias del río Cumbaza*

<b>Fuente</b>	<b>Margen</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Caudal (l/s)</b>	<b>Fecha</b>	<b>Observación</b>
Quebrada Pucayacu	Izquierda	228	627	24-12-03	Muy grande
Quebrada Uchpayacu	Izquierda	280	8	04-01-04	Pequeña
Quebrada Ahuashiyacu	Izquierda	252	400	11-01-04	Grande
Río Shilcayo	Izquierda	400	174	24-01-04	Grande
Quebrada Minero	Derecha	252	85	17-02-04	Regular
Quebrada Shupishiña	Derecha	255	495	17-01-04	Grande
Quebrada Atumpampa	Izquierda	269	1,32	16-02-04	Pequeña
Quebrada Sedamillo	Izquierda	320	17	07-03-04	Mediana
Quebrada Cachiyacu	Izquierda	395	1114	15-01-04	Muy grande
Quebrada Trancayacu	Derecha	381	2	12-01-04	Pequeña
Quebrada Canela Ishpa	Izquierda	520	19	12-01-04	Mediana
Quebrada Pintoyacu	Izquierdo	475	12	14-01-04	Mediana
Quebrada Huacamaillo	Izquierda	485	270	14-01-04	Grande
Quebrada Curiyacu	Izquierda	503	466	14-01-04	Grande
Quebrada Cachizapa	Derecha	450	13	14-01-04	Mediana
Quebrada Wischowaqui	Derecha	440	26	14-01-04	Mediana
Quebrada Pavorarca	Derecha	434	0,7	14-01-04	Pequeña
Quebrada Incato	Derecha	595	11	14-01-04	Mediana
Quebrada Mishquiyacu	Izquierda	605	10	14-01-04	Mediana
Quebrada Poloponta	Derecha	594	54	14-01-04	Regular
Qda. Alto Mishquiyacu	Izquierda	597	52	14-01-04	Regular
Quebrada Chunchiwi	Derecha	620	178	14-01-04	Grande
Quebrada Bombonaje	Izquierda	640	11	14-01-04	Mediana
Quebrada Atunquebrada	izquierda	645	51	14-01-04	Regular
Quebrada Yuractillo	Izquierda	687	203	14-01-04	Grande
Quebrada Shucshuyacu	Derecha	744	1530	14-01-04	Muy grande
Quebrada Añaquihui	Izquierda	560	954	15-01-04	Muy grande

Fuente: IICA (2004)

Maco, (2007), indica que en la cuenca del río Cumbaza existen lagunas pequeñas de origen tectónico, actualmente, la Laguna Andiviella es de forma redondeada, sus aguas son negras con una profundidad media de 2 m, el espejo de agua es de aproximadamente de 5,000 m<sup>2</sup> material de fondo es limoso con alto contenido de materia orgánica en descomposición. Otra laguna importante para la cuenca es la laguna Ricuricocha de forma de “ele” invertida, con una distancia de 1,600 m con un área de 24,405 m<sup>2</sup>, adjunto se encuentra otra un apéndice de la laguna con un área de 9,033 m<sup>2</sup>. Entre otras lagunas se reportan a Cuchipampa, Maronilla, Kerman, Venecia, Banda, Lagartococha, Durjan, Cuchiyacu, entre otras. Según el (IICA, 2004), los manantiales en la cuenca del Cumbaza se han identificado otras fuentes de agua provenientes de manantiales que son usados como fuente de agua de consumo por parte de la población como agua de uso doméstico, para piscigranjas, pecuaria, agricultura entre otras.

### 2.3. Definición de términos

- a) **Hábitat**, en ecología, hábitat es el lugar concreto o sitio físico donde vive un organismo (animal o planta), a menudo caracterizado por una forma vegetal o por una peculiaridad física dominante (un hábitat de lagunas o un hábitat de bosque). Puede referirse a un área tan grande como un océano o un desierto, o una tan pequeña como una roca o un tronco caído de un árbol. Los hábitats pueden dividirse en terrestres y acuáticos, y en cada uno de ellos se pueden establecer una multitud de subdivisiones. Así, en el hábitat acuático se puede distinguir entre hábitat dulceacuícolas y hábitat marinos. Sin importar su extensión, el hábitat es un área o región bien delimitada. Físicamente donde viven varios organismos.
- b) **Estándares de calidad ambiental para agua:** Son indicadores de calidad ambiental, miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, pero que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.
- c) **Calidad:** se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas que presenta el agua, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano.
- d) **Cuerpos lóticos**  
Un ecosistema lótico es el ecosistema de un río, arroyo o manantial. Incluido en el medio ambiente están las interacciones bióticas (entre plantas, animales y microorganismos) así como las interacciones abióticas (físicas y químicas).

Las aguas lóxicas pueden tener diversas formas, del venero con unos cuantos centímetros a los grandes ríos con un cauce de varios kilómetros de ancho. A pesar de tales diferencias, las siguientes características comunes hacen de la ecología de las corrientes de agua un hábitat único, distinto de otros hábitats acuáticos: a) El flujo es unidireccional. b) Presenta un estado de cambio físico continuo. c) Hay muchos grados de heterogeneidad espacial y temporal, a todas las escalas (micro-habitats). d) Gran diversidad de ecosistemas lóxicos. e) La biota está especializado para vivir en condiciones fluviales.

#### **e) Los ríos**

Los siguientes términos ayudan para entender mejor en qué consiste el sistema de un río: a) Zona de amortiguamiento: Esta zona se extiende unos 400 metros (pero varía dependiendo del tamaño del río y la forma del cauce) alrededor de la vegetación que crece en la orilla del río. Lo que ocurra en esta área afecta directamente la calidad del agua. b) Planicie de inundación: Es el área de la tierra que rodea a un río o estero y que se convierte en pantano cuando hay inundaciones. c) Orilla o ribera del río: Es la franja de vegetación que crece justo al borde de los bancos del río. d) Bancos del río: Son las paredes laterales que mantienen el flujo del agua en su curso. Los bancos evitan daños por inundaciones en las cuencas, siempre y cuando la fuerza del agua no los erosione, derrumbe o rebase su altura.

#### **f) Microcuencas**

Un área natural donde las aguas bajan a través de muchas quebradas que se juntan en un colector común que generalmente es un pequeño río. Cuando esta área natural o territorio tiene menos de 10.000 hectáreas y tiene características físicas, económicas y sociales similares se le llama microcuenca.

- En la dimensión ambiental, los elementos de la microcuenca son: Los recursos naturales como el agua, el suelo, las plantas, los animales, los minerales y los microorganismos.
- En la dimensión socio cultural: Están las personas, comunidades y pueblos con sus autoridades y organizaciones, sus costumbres, tradiciones, usos, potencialidades y conflictos.
- En la dimensión económica-productiva: Están los medios para la producción; en toda microcuenca se dispone de fuerza de trabajo, de inversiones productivas y de infraestructura e instalaciones destinadas a la producción.

- g) **Agua:** es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, pero la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en forma gaseosa denominada vapor. El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre.
- h) **Estándares:** modelo, criterio, regla de medida o de los requisitos mínimos aceptables para la operación de procesos específicos, con el fin asegurar la calidad en la prestación de los servicios de salud.
- i) **Evaluación:** proceso que tiene como finalidad determinar el grado de eficacia y eficiencia, con que han sido empleados los recursos destinados a alcanzar los objetivos previstos, posibilitando la determinación de las desviaciones y la adopción de medidas correctivas que garanticen el cumplimiento adecuado de las metas presupuestadas.
- j) **Relación:** es una correspondencia o conexión entre algo o alguien con otra cosa u otra persona. De esta forma, la noción de relación se utiliza en diversas ciencias para explicar todo tipo de fenómenos.
- k) **Análisis:** es un efecto que comprende diversos tipos de acciones con distintas características y en diferentes ámbitos, pero en suma es todo acto que se realiza con el propósito de estudiar, ponderar, valorar y concluir respecto de un objeto, persona o condición.
- l) **Parámetros:** al dato que se considera como imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación.
- m) **Factores físicos:** La calidad del agua modificada por sustancias puede no ser tóxica, pero cambia el aspecto del agua, entre ellas los sólidos en suspensión, la turbidez, el color, la temperatura.
- n) **Factores químicos:** Las actividades industriales generan contaminación al agua cuando hay presencia metales pesados tóxicos para los humanos tales como arsénico, plomo, mercurio y cromo. La actividad agrícola contamina cuando emplea fertilizantes que son arrastrados hacia las aguas, especialmente nitratos y nitritos. Además, el uso inadecuado de plaguicidas contribuye a contaminar el agua con sustancias tóxicas para los humanos.
- o) **Bioindicadores:** es un indicador consistente en una especie vegetal, hongo o animal; o formado por un grupo de especies (grupo eco-sociológico) o agrupación vegetal cuya presencia (o estado) nos da información sobre ciertas características ecológicas, es decir, (físico-químicas, micro-climáticas, biológicas y funcionales), del medio



ambiente, o sobre el impacto de ciertas prácticas en el medio. Se utilizan sobre todo para la evaluación ambiental (seguimiento del estado del medio ambiente, o de la eficacia de las medidas compensatorias, o restauradoras).

- p) **Bentónico:** dicese del animal o planta que gralte, vive en contacto o en dependencia directa con el fondo del mar o de los lagos continentales.
- q) **Macroinvertebrados:** Son los organismos que han sido utilizados con mayor frecuencia en los estudios relacionados con la contaminación de los ríos, como indicador de las condiciones ecológicas o de la calidad de las aguas.
- r) **Microcuenca:** Son unidades geográficas que se apoyan principalmente en el concepto hidrológico de división del suelo. Los procesos asociados al recurso agua tales como escorrentía, calidad, erosión hídrica, producción de sedimentos, etc., normalmente se analizan sobre esas unidades geográficas.
- s) **Macrofitas:** Son plantas superiores, algas, musgos y briofitas macroscópicas, adaptadas a la vida en el medio acuático.
- t) **Aguas lólicas o corrientes,** son las masas de agua que se mueven siempre en una misma dirección como ríos, manantiales, riachuelos, arroyos.
- u) **Aguas lélicas,** se denominan aguas lélicas a las interiores quietas o estancadas tales como los lagos, lagunas, charcas, humedales y pantanos.
- v) **Abundancia:** Se refiere a la cantidad de especies animales y vegetales (seres vivos) que se encuentran en un determinado ecosistema.
- w) **Riqueza:** Es el número de especies que se encuentran en un hábitat, ecosistema, paisaje, área o región determinado.
- x) **Biodiversidad:** Es la variedad de formas de vida en el planeta, incluyendo los ecosistemas terrestres, marinos y los complejos ecológicos de los que forman parte, más allá de la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y los ecosistemas.

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se realizó en la parte de la cuenca alta, media y baja del río Cumbaza, teniendo como referencia cuatro estaciones de muestreo dentro de la cuenca, como son: En la zona del distrito de San Roque de Cumbaza (Estación I), con 600 m de altitud, zona San Pedro de Cumbaza (Estación II), con 485 m de altitud, zona de captación del agua del río para el canal de riego “La Bocatoma” (Estación III), con 316 m de altitud y un punto a 450 metros de captación del agua (Estación IV), con 301 m de altitud, estas estaciones previamente han sido georeferenciadas, se consideró dos periodos específicos para la colecta de las muestras de los macroinvertebrados, en el mes de mayo que es la estación de Otoño y en el mes de octubre que es la estación de Primavera, para finalmente determinar la riqueza y abundancia biológica, el tipo de familias de macroinvertebrados existentes en cada estación de muestreo los que nos definen la calidad biológica del agua del río cumbaza para riego agrícola.

#### **3.1. Materiales y equipos**

##### **3.1.1. Materiales**

Se usaron para la colecta de los macroinvertebrados los siguientes:

- Mapas existentes
- Lupa de bolsillo
- Pipeta con perilla
- Pinzas
- Pincel
- Red de sùber metálico y mallas de plásticos
- Frascos de vidrio con cierre hermético
- Bolsas de nylon
- Cámara digital fotogràfica
- Libretas de campo
- Plumón permanente

##### **3.1.2. Equipos**

- GPS (Sistema de Posicionamiento Global)
- Estereoscopio con cámara

## **3.2. Tipo y nivel de investigación**

### **3.2.1. Tipo de investigación**

El estudio es una investigación básica, puesto que estuvo orientada a buscar nuevos conocimientos sobre la cuenca del río Cumbaza respecto a su aptitud de calidad de agua mediante la identificación de familias de macroinvertebrados en cuatro estaciones, así como la determinación de parámetros fisicoquímicos respectivamente.

### **3.2.2. Nivel de investigación**

La investigación es de nivel descriptivo y correlacional, ya que se obtuvo a colecta en forma transversal en un solo lugar de la cuenca y longitudinal o sea en dos periodos de evaluación; los resultados de los índices biológico BMWP fueron correlacionados con los principales parámetros fisicoquímicos determinados.

## **3.3. Diseño de la investigación**

### **3.3.1. Diseño experimental**

El diseño consistió en la colecta de los taxos de macroinvertebrados acuáticos en las estaciones de muestreo para su identificación en el Laboratorio, que luego fueron evaluados para su respectiva puntuación y determinar la calidad del agua; asimismo se determinaron en Laboratorio los parámetros fisicoquímicos del agua de cada estación y comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

## **3.4. Población y muestra**

### **3.4.1. Población**

Estuvo conformadas por las diferentes familias de macroinvertebrados colectadas en las estaciones de muestreo parte alta (San Roque – Estación 1), parte media (San Pedro – Estación 2) y parte baja (Captación del Agua Bocatoma – Estación 3) de la Cuenca del río Cumbaza, no existiendo taxa alguna en la Estación 4 por ser un punto en el canal y que solo contiene agua en curso y no existe piedras y materiales propia de una cuenca.

### **3.4.2. Muestra**

Representadas por la clasificación de las familias de macroinvertebrados colectados que posteriormente se comparó con tablas que indican los Índices de abundancia e índice de diversidad, lo que finalmente nos permite calificar la calidad del agua del río.

## **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.5.1. Metodología**

3.5.1.1. Protocolo IBMWP “Iberian Biological Monitoring Working Party

Según (Alba- Tercedor et all, 1988), el Protocolo Rápido de Evaluación de la Calidad Ecológica (PRECE) desarrollado dentro del proyecto GUADALMED incluye una síntesis de metodologías usadas para la aplicación de diversos índices de calidad. La ventaja de seguir un protocolo establecido en la aplicación de las diferentes metodologías es que los datos analíticos obtenidos puedan ser comparables entre diferentes grupos de trabajo. Estos aspectos son muy importantes en proyectos como el que se ha llevado a cabo, donde participan numerosos grupos de trabajo diferentes. Algunos índices utilizados ya existían antes de empezar este estudio, como son el índice BMWP' de calidad biológica del río. De igual manera se observa y esquematiza en la parte del Anexo 1, la metodología general como se inicia una medición de la calidad del agua para los ríos de montaña y determinan el índice biológico BMWP. Asimismo en el Anexo 3 se presenta el panel fotográfico tomadas en la cuenca para la colecta de macroinvertebrados y el agua para su análisis.

Consideraciones previas a tener en cuenta en la aplicación del índice, pautas generales:

a. Seleccionar el área de observación

El tramo de río evaluado deberá tener una longitud aproximada de 100 m. a más. Se realiza un recorrido visual a lo largo del tramo a muestrear y se identifican los diferentes hábitats para macroinvertebrados presentes: zonas lólicas o leníticas, con macrófitos o no, con raíces o con diferentes tipos de sustratos: arena, limo, etc. Una observación importante, el índice no se debe aplicar inmediatamente después de una crecida, ni inmediatamente después de un periodo en que el cauce haya estado seco. En ambos casos debe esperarse al menos un mes antes de realizar el muestreo.

b. Muestreo de los hábitats

Una vez recorrida la zona y localizados los diferentes microhábitats, antes de introducirse en el agua es importante localizar animales esquivos que viven en la superficie como Gyrinidae, Gerridae o Hydrometridae, ya que tratan de huir rápidamente y podrían pasar desapercibidos si se lleva a cabo el muestreo de inmediato. A continuación se muestrean todos los hábitats presentes con una red de mano de 300  $\mu\text{m}$  de luz de malla y una boca de entrada de unos 30 cm de diámetro. El muestreo se realiza colocando la malla a contracorriente y removiendo el sustrato aguas arriba de la manga con la mano o el pie, realizando un movimiento zigzagueante con la red para que todo el material removido entre a través de ésta. Las piedras deben limpiarse bien dentro de la red o en una batea por ambas caras, así como troncos, raíces, masas de algas, etc. El muestreo se realiza desde aguas abajo hacia aguas arriba del tramo para evitar que la perturbación haga huir a los animales. Para evitar que al

colmatarse la red la corriente ayude a los animales a escapar se debe vaciar a menudo el contenido de ésta en bateas de plástico blanco.

c. Identificación de los taxones

La colecta de los macroinvertebrados ha sido en forma homogénea en el sitio elegido asegurándose un muestreo representativo en cada estación respecto a sus microhábitats. Este procedimiento se realizó de aguas abajo a aguas arriba, utilizando una red de súper y también mallas de plásticos flexibles, sujetadas a un mango de 50 cm, la malla es de nylon, mediante la cual se realizaron barridos a lo largo de las orillas con y sin vegetación del río en cada estación. El contenido de cada colecta de los macroinvertebrados, se vació en una fuente de color blanco y luego las muestras fueron almacenadas en frascos de vidrio de tamaño adecuado, rotulados y fijados en alcohol al 75%. Estas muestras fueron enviadas al Laboratorio de Evaluación de los Recursos Naturales de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo para sus respectivas identificaciones.

d. Determinación del Índice biótico

En cuanto al índice biótico para determinar la calidad del agua de las estaciones de muestreo en cada salida de campo, tanto para el mes de mayo y de octubre, se utilizó el índice biótico para los ríos de Colombia (iBMWP/Col- Biological Monitoring Working Party Score), tanto la geografía, ecosistemas, ecología y biodiversidad de la selva de Colombia son similares a los de región, como una primera aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos de montaña, ya que en esta región es donde se ha trabajado más intensamente con los macroinvertebrados acuáticos. Roldán (2003), razón por la cual se consideró para la decisión de calcular el índice BMWP de la cuenca del río Cumbaza, para determinar la calidad del agua.

Este índice es un aditivo que va sumando puntos según el número de familias encontradas en el cuerpo de agua, cada una de las cuales tiene un valor numérico de 1 al 10, relacionado con su sensibilidad a la polución. El valor es más elevado cuanto más intolerable es la familia a la polución o contaminación de la cuenca en estudio. (Poblete, 2013). Las muestras de macroinvertebrados se colectaron en cada estación de muestreo, a una longitud de un rango de entre 50 a 200 metros río de abajo hacia arriba y una hora de esfuerzo, durante la primera salida (Mayo de 2015) y segunda salida (Octubre de 2015). En la Tabla 1 podemos observar los puntos respectivos de las familias encontradas en el cuerpo de agua. De igual manera para la calificación de las aguas en la cuenca del río Cumbaza, en ambos periodos de evaluación se utilizó el

método de aplicación del Índice BMWP adaptado a Colombia, los valores de clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP/Col, se observa en la Tabla 2.

**Tabla 1**  
*Indice Biológico BMWP/Col*

Familias	Puntajes
<i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Ptilodactylidae, Chotodidae, Gripopterygidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae</i>	10
<i>Coryphoridae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae, Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae</i>	9
<i>Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Limnephilidae, Lymnaeidae, Naucoridae, Palaemonidae, Planorbidae (cuando es dominante Biomphalaria), Pseudothelphusidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae</i>	8
<i>Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Dicteriadidae, Dixidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydropsychidae, Leptothyphidae, Lestidae, Pyralidae, Simuliidae, Veliidae</i>	7
<i>Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae, Dugesidae, Elmidae, Hyriidae, Limnichidae, Megapodagrionidae, Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae</i>	6
<i>Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Glossiphoniidae, Gyrinae, Libellulidae, Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae, Tabanidae, Thiaridae</i>	5
<i>Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephydriidae, Haliplidae, Hydridae, Muscidae, Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae</i>	4
<i>Chaoboridae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae (larvas), Physidae, Stratiomyidae, Tupiludae</i>	3
<i>Chironomidae (cuando es la familia dominante), Culicidae, Psychodidae, Syrphidae</i>	2
<i>Tubificidae</i>	1

Fuente: (Roldán, 2003).

**Tabla 2**

*Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo al índice BMWP/Col*

<b>Clase o categoría</b>	<b>Calidad</b>	<b>Valor del BMWP</b>	<b>Significado</b>	<b>Color</b>
I	Buena	> 150	Aguas muy limpias	Blue
		101-120	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	61-100	Ligeramente contaminadas; se evidencian efectos de contaminación	Green
III	Dudosa	36-60	Aguas Moderadamente contaminadas	Yellow
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Orange
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica.	Red

Fuente: (Roldán, 2003).

### 3.5.1.2. Estudio geográfico de la cuenca del río Cumbaza

Se realizaron dos salidas de campo. La primera fue en el mes de Mayo y la segunda en el mes de Octubre de 2015. En cada salida se muestrearon 4 estaciones (En la zona del distrito de San Roque de Cumbaza (Estación I), con 600 m de altitud, zona San Pedro de Cumbaza (Estación II), con 485 m de altitud y la zona de la captación del agua del río para el canal de riego “La Bocatoma” (Estación III), con 316 m de altitud, estas estaciones previamente han sido georeferenciadas, asimismo se consideró un punto dentro del canal, a 450 metros abajo de la captación del agua (Estación IV), con 301 m de altitud. En la Figura 3, podemos observar la ubicación de la cuenca del río Cumbaza, donde se aprecia que abarca a las provincias de Lamas y San Martín. Mientras que en la Figura 4, se observa los puntos de muestreo específicos con sus respectivos puntos georeferenciados, que a su vez se muestra en la Tabla 3.

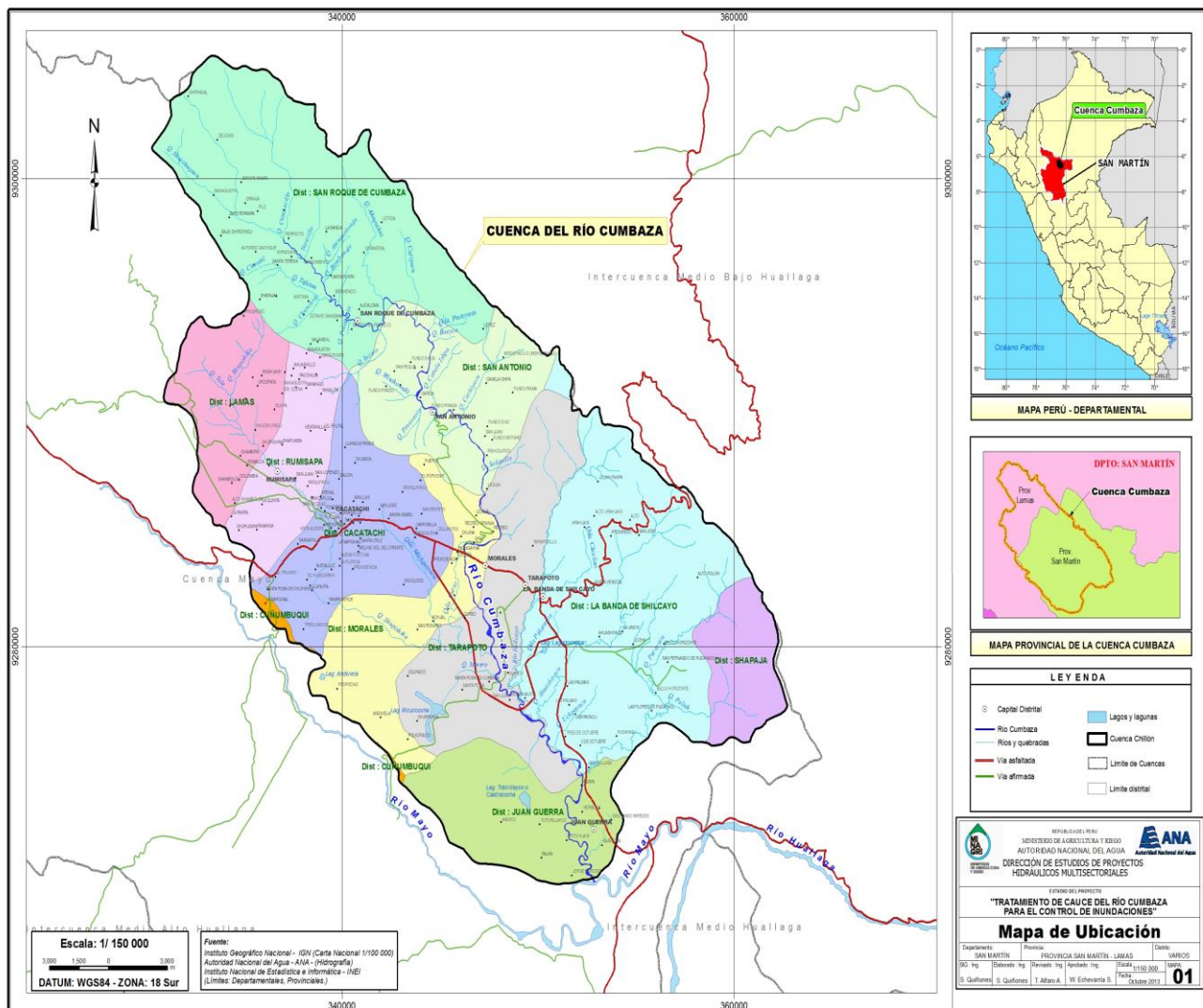


Figura 3. Mapa ubicación de la Cuenca del río Cumbaza. (Fuente: Autoridad Nacional del Agua 2013)



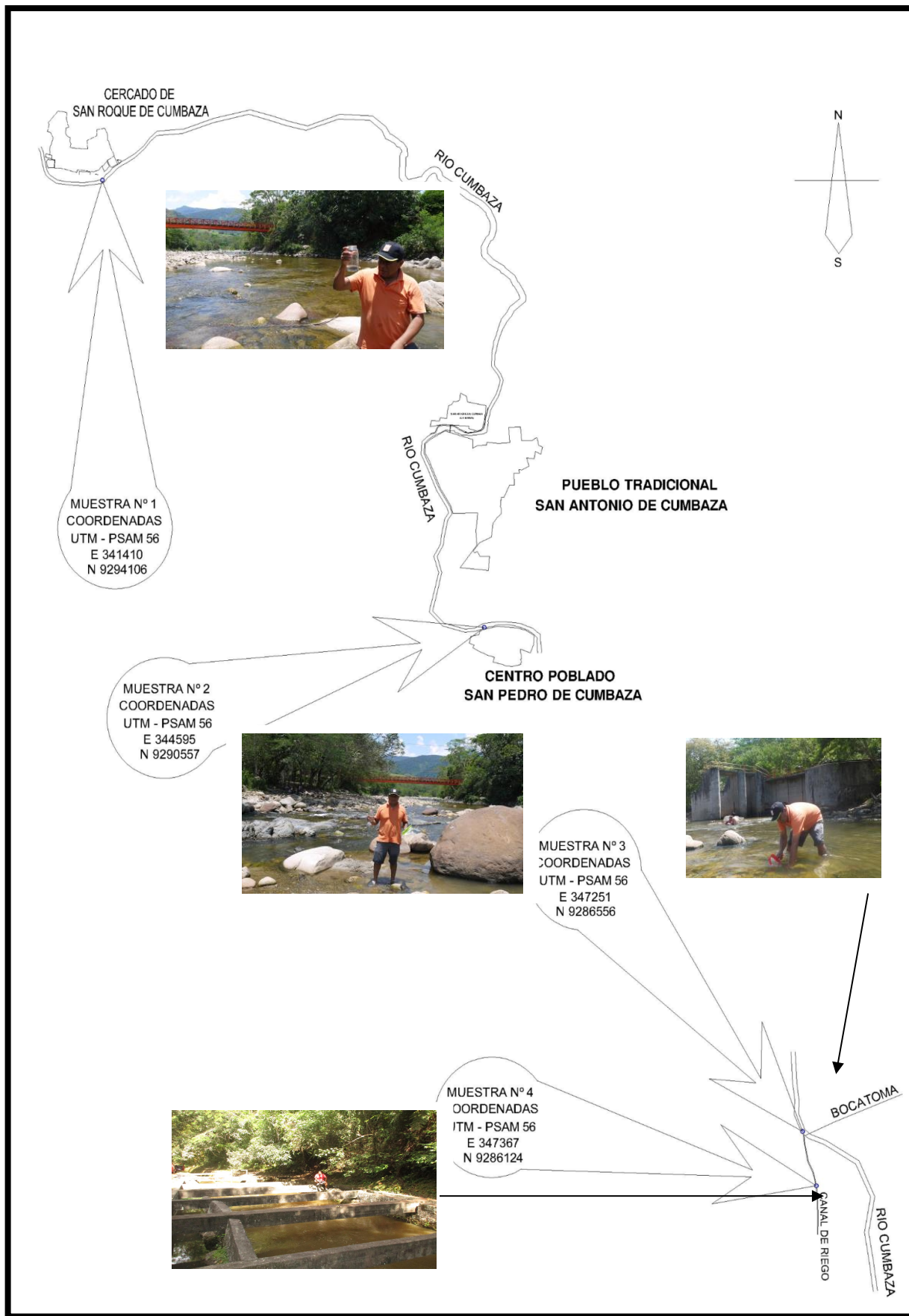


Figura 4: Zonas de muestreo en el río Cumbaza, 2015. (Fuente: Elaboración propia)

**Tabla 3***Ubicación georeferenciada y altura de los puntos de muestreo en la cuenca del río Cumbaza*

Punto por Estación	Coordenadas (UTM)	Altura (m.s.n.m.)	Ubicación
I	341410E 9294106N	600	Río Cumbaza, a 150 m. del puente viejo del Distrito de San Roque.
II	344595E 9290557N	485	Río Cumbaza, a 200 m. del puente del Centro Poblado Menor de San Pedro
III	347251E 9286556N	316	Río Cumbaza, a 50 m. de la captación de agua en la Bocatoma distrito de Morales
IV	347367E 9286124N	301	Canal de riego, a 450 m. hacia abajo de la captación de agua en la Bocatoma distrito de Morales

Fuente: Elaboración propia

La Estación I está localizada en la parte alta del río Cumbaza, a 150 metros hacia arriba del puente viejo del Distrito de San Roque de Cumbaza, a 600 m.s.n.m. donde se han identificado presencia de actividades antrópicas entre agricultura y pequeñas actividades comerciales. Esta estación arriba de la cabecera de la cuenca del río cumbaza, se ha podido observar recursos hídricos tributarios del Cumbaza. En la Figura 5, podemos observar el lugar de muestreo. Debemos indicar que el distrito de San Roque de Cumbaza, está conformada con las siguientes comunidades: Comunidad Nativa de Aviación con 50 familias y una altitud de 1100 m.s.n.m.; Comunidad Nativa de Chirikyacu con 56 familias y una altitud de 1050 m.s.n.m.; Comunidad Nativa de Chunchiwi con 24 familias y una altitud de 857 m.s.n.m. y San Roque de Cumbaza con 440 familias y una altitud de 600 m.s.n.m. Las tres comunidades nativas indicadas están en la parte alta del distrito, por lo que no tienen franja del río Cumbaza, siendo la localidad de San Roque de Cumbaza que está a orillas de la cuenca, donde se ha realizado el muestreo respectivo. (GORESAM, 2006), las quebradas tributarias del río Cumbaza por arriba de la Estación I, se encuentran las quebradas de: Quebrada Mishquiyacu con una altura de 605 m.s.n.m.; Quebrada

Chunchiwi con una altura de 620 m.s.n.m.; Quebrada Bombonaje con una altura de 640 m.s.n.m.; Quebrada Atunquebrada con una altura de 645 m.s.n.m.; Quebrada Yuractillo con una altura de 687 m.s.n.m. y Quebrada Shucshuyacu con una altura de 744 m.s.n.m. respectivamente.



*Figura 5:* Estación I lugar donde se realizó el muestreo de colecta de macroinvertebrados, Distrito de San Roque. (Fuente: Elaboración propia)

La Estación II está localizada en la parte media del río Cumbaza, a 200 metros hacia arriba del puente que queda en la localidad de San Pedro de Cumbaza, a 485 m.s.n.m. donde la presencia de poblaciones son más resaltantes, ya sea por visitantes y lugareños, la actividad agrícola básicamente se mueve en función a los sembríos de uva de la variedad borgoña, hay también actividades comerciales y turísticas, esta actividad antrópica en la zona evidencia mayor acción humana en la cuenca del río, por eso se ha elegido esta zona para el muestreo sobre la colecta de los macroinvertebrados acuáticos y su posterior identificación familiar, en esta estación de la cuenca del río cumbaza, se ha podido observar recursos hídricos tributarios del Cumbaza. En la Figura 6, podemos observar el lugar de muestreo.

Debemos indicar que la localidad de San Pedro de Cumbaza, está conformada con 160 familias y una altitud de 485 m.s.n.m. (GORESAM, 2006). Las quebradas tributarias del río Cumbaza por arriba de la Estación II, se encuentran las quebradas de: Quebrada Canela Ishpa con una altitud de 520 m.s.n.m.; Quebrada Huacamaillo con una altitud de 485 m.s.n.m.; Quebrada Curiyacu con una altitud de 503 m.s.n.m.; Quebrada Incato con una altitud de 595 m.s.n.m.; Quebrada Poloponta con una altitud de 594 m.s.n.m.; Quebrada Alto Mishquiyacu con una altitud de 597 y Quebrada Añaquihui con una altitud de 560 m.s.n.m. respectivamente.

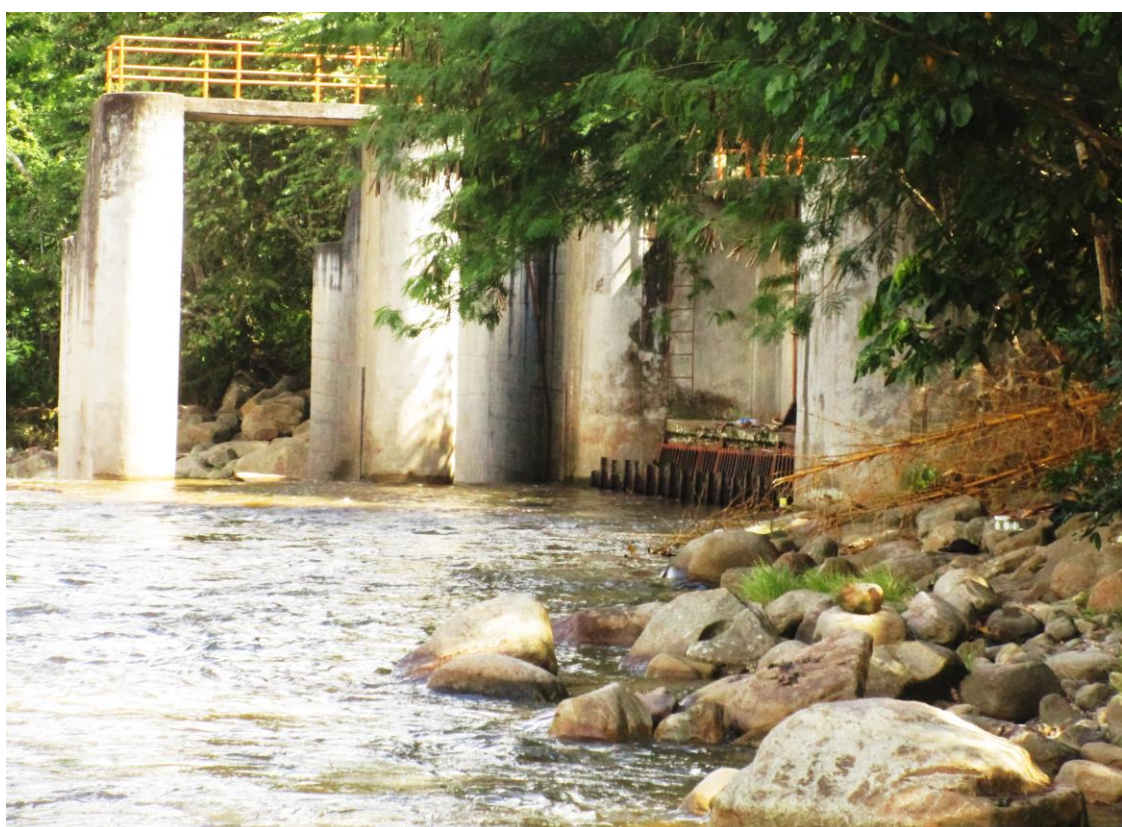


*Figura 6:* Estación II lugar donde se realizó el muestreo de colecta de macroinvertebrados, Localidad de San Pedro de Cumbaza. (Fuente: Elaboración propia).

La Estación III está localizada en la parte baja del río Cumbaza, a 50 metros hacia arriba de la captación del agua del río Cumbaza en la Bocatoma, que tiene una altitud de 316 m.s.n.m., en este sector la actividad agrícola básicamente se mueve en función a los sembríos de cacao, plátano, maní, hortalizas, las actividades comerciales se basa principalmente en aspectos turísticos, por lo que se evidencia la mayor afluencia humana en la cuenca del río, se da los fines de semana, este punto de muestreo ha sido seleccionado teniendo en cuenta que de aquí el agua entra al canal de irrigación Cumbaza, que es distribuido a las diferentes áreas agrícolas que se practica en el valle, especialmente para sembríos de arroz, es

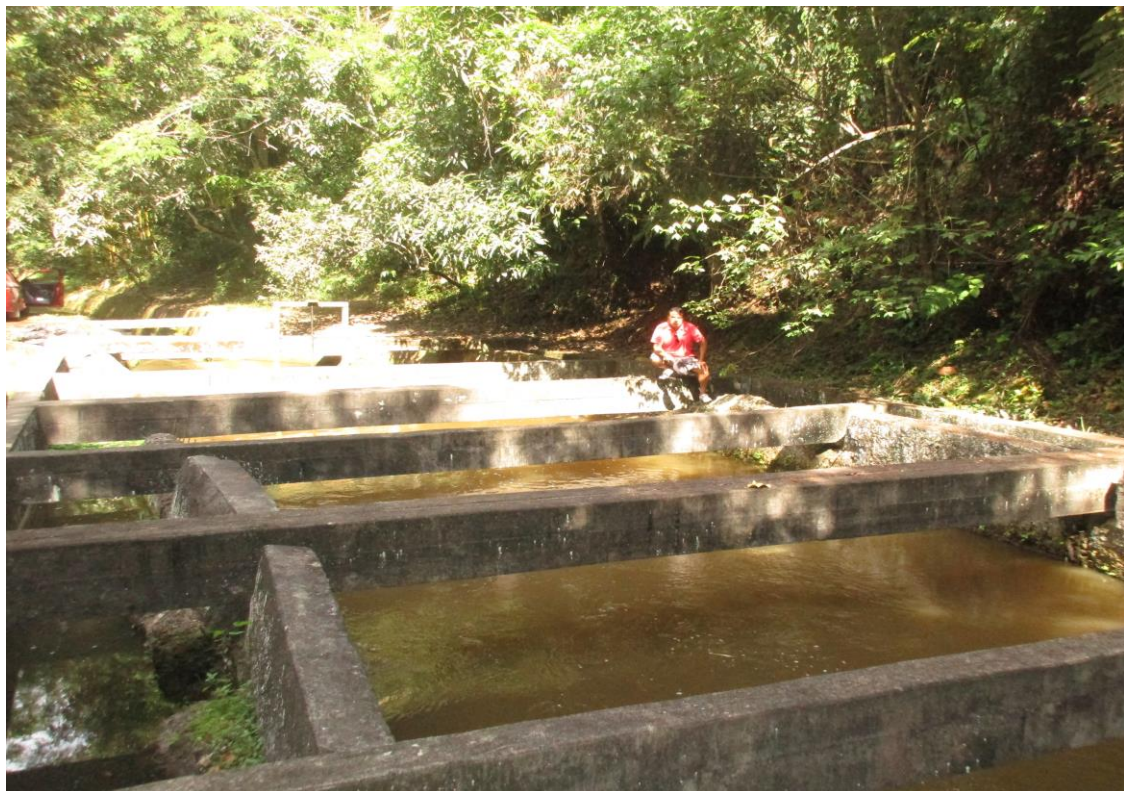
importante la colecta de los macroinvertebrados acuáticos y su posterior identificación familiar en este punto. Esta estación de la cuenca del río Cumbaza, se ha podido observar recursos hídricos tributarios del Cumbaza. En la Figura 7 podemos observar el lugar de muestreo. Es poca la presencia en forma permanente de poblaciones, solamente existe agricultores propietarios de áreas agrícolas que viven en el distrito de Morales y Tarapoto, que todos los días se trasladan a sus predios para practicar pequeña agricultura.

Las quebradas tributarias del río Cumbaza por arriba de la Estación III, se encuentran las quebradas de: Quebrada Sedamillo con una altitud de 320 m.s.n.m.; Quebrada Cachiyacu con una altitud de 395 m.s.n.m.; Quebrada Trancayacu con una altitud de 381 m.s.n.m.; Quebrada Pintoyacu con una altitud de 475 m.s.n.m.; Quebrada Cachizapa con una altitud de 450 m.s.n.m.; Quebrada Wischowaqui con una altitud de 440 y Quebrada Pavorarca con una altitud de 434 m.s.n.m. respectivamente. (GORESAM, 2006).



*Figura 7:* Estación III lugar donde se realizó el muestreo de colecta de macroinvertebrados, Captación del agua para el canal de riego, Bocatoma – distrito de Morales. (Fuente: Elaboración propia)

La Estación IV está localizada en la parte baja del río Cumbaza, a 450 metros hacia abajo de la captación del agua del río Cumbaza en la Bocatoma en el mismo canal de riego, que tiene una altitud de 301 m.s.n.m., las características son similares que la Estación III. En la Figura 8 podemos observar el lugar de muestreo.



*Figura 8:* Estación IV lugar donde se realizó el muestreo de colecta de macroinvertebrados, Canal de riego del río Cumbaza a 450 metros de la captación del agua - Bocatoma – distrito de Morales. (Fuente: Elaboración propia)

En el mes de Mayo 2015, el ancho medido del río Cumbaza fue de 14 metros en la Estación I; 12 metros en la Estación II y 11 metros en la Estación III. La temperatura en cada uno de las estaciones de muestreo fue: Estación I de 24,6°C; Estación II de 25°C; Estación III de 24°C y Estación IV de 24,4°C respectivamente.

En el mes de Octubre 2015, el ancho medido del río Cumbaza fue de 9,5 metros en la Estación I; 8,2 metros en la Estación II y 6,8 metros en la Estación III. La temperatura en cada uno de las estaciones de muestreo fue: Estación I de 26,5°C; Estación II de 24,5°C; Estación III de 26°C y Estación IV de 25°C respectivamente, temperaturas muy cercana a la media reportado por SENAMHI según datos en la Estación San Antonio de Cumbaza de los últimos ocho años.

Para datos del caudal del río Cumbaza del año 2015 se consideró la información de SENAMHI, para el mes de Mayo fue de 8,056 m<sup>3</sup>/seg con una precipitación de 133.7 mm, para el mes de Octubre el caudal fue de 0,52 m<sup>3</sup>/seg con una precipitación de 79.6 mm. en la Figura 9, se observa el comportamiento del caudal en los dos periodos de evaluación.

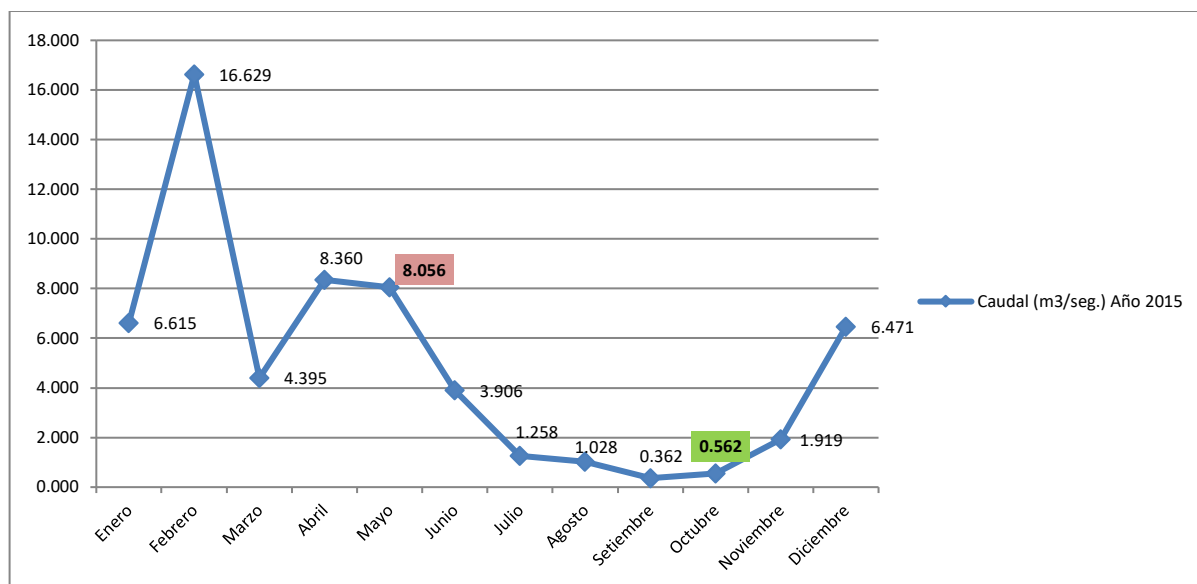


Figura 9: Caudal del río Cumbaza en las estaciones de muestreo del año 2015. (Fuente: SENAMHI 2015).

### 3.5.1.3. Índices de biodiversidad de macroinvertebrados

Para la evaluación de los parámetros comunitarios en cada estación de muestreo, se tuvo en cuenta el enfoque de la diversidad, donde usa tres componentes, riqueza, uniformidad y abundancia para describir la respuesta de la comunidad a la calidad ambiental.

- Riqueza de especies:** (Species richness) abreviado como “S”. El cálculo más simple de diversidad: Número total de especies obtenido por un censo de la comunidad.
- Shannon-Weaver (1994),** generalmente se usa en la ecología para determinar la biodiversidad específica de un ecosistema, es decir, se basa en la probabilidad de encontrar un determinado individuo en un ecosistema. En gran parte de los ecosistemas el índice da valores entre los 0,5 y los 5, sin embargo, el rango normal está entre 2 y 5, la ecuación es la siguiente:

$$H' = -\sum_{i=1}^S (n_i / n) \ln (n_i / n)$$

Dónde: H': Índice de diversidad,  $n_i$  = número de individuos de cada familia; n: número total de individuos; ln Logaritmo natural.

- Uniformidad de Pielou** Es posible calcular las medidas de uniformidad (también llamada en algunos libros equitatividad) de una comunidad mediante una ecuación sencilla usando el índice de Pielou:

$$\text{Pielou}' J = H/\ln(S)$$

Donde H = índice de diversidad de Shannon y; S = número de especies (o riqueza).

Al igual que con la diversidad el índice de uniformidad considera que todas las especies de la comunidad están representadas en la muestra. Pielou adopta valores entre 0 y 1, el número 1 indica que todas las especies son igualmente abundantes y el 0 señala la ausencia de uniformidad.

#### 3.5.1.4. Para los análisis físico-químicos del agua en las estaciones de muestreo

Para la determinación de los parámetros físico-químicos se realizaron muestreos in situ de cada estación, siendo dichas muestras derivadas al Laboratorio de ENVIROLAB PERU S.A.C., donde se determinaron: Potencial de Hidrógeno (pH), Cloruros, Nitratos, Aluminio, Hierro, Sulfatos, Oxígeno Disuelto, Manganeseo y Conductividad, según pueden apreciarse en la Tabla 4 los parámetros determinados.

Los resultados de los parámetros obtenidos se compararon con los Estándares Nacionales de Calidad de Ambiental para Agua para la Categoría 3 de aguas para riego de vegetales, el mismo que puede observar en la parte del Anexo 2: D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo, según los Estándares nacionales de calidad Ambiental para Agua (ECA) del D.S. No 015-2015 del MINAM. (MINAM, 2015).

**Tabla 4**

*Parámetros físico químicos para riego de vegetales de tallo bajo y alto*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>*ECA (Para riego)</b>
Potencial de hidrógeno	pH	6,5 – 8,5
Cloruros	mg/L	500
Nitratos	mg/L	100
Aluminio	mg/L	5
Hierro	mg/L	5
Sulfatos	mg/L	1000
Oxígeno disuelto (Valor mínimo)	mg/L	4
Manganeseo	mg/L	0,2
Conductividad	uS/cm	2500

Fuente: Elaboración propia

\* ECA = Estándar de Calidad de Agua – D.S. No 015-2015 del MINAM.



3.5.1.5. Para la determinación de la relación entre la valoración biológica y los parámetros físico-químicos del agua en las estaciones de muestreo

**a) Correlación de Pearson**

Según (Gómez, 2005), la correlación es la forma numérica en la que la estadística ha podido evaluar la relación de dos o más variables, es decir, mide la dependencia de una variable con respecto de otra variable independiente. El coeficiente de correlación lineal de Pearson viene definido por la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sigma_{x,y}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Donde:

$r(x), (y)$  = Coeficiente de correlación

$\sigma_{x,y}$  = Covarianza

$\sigma_x$  = Desviación típica de (x)

$\sigma_y$  = Desviación típica de (y)

Las principales propiedades, de la correlación de Pearson tenemos:

- ✓ El **coeficiente de correlación** no varía al hacerlo la escala de medición. Es decir, si expresamos la altura en metros o en centímetros el coeficiente de correlación no varía.
- ✓ El signo del **coeficiente de correlación** es el mismo que el de la **covarianza**.
- ✓ Si la covarianza es positiva, la correlación es directa.
- ✓ Si la covarianza es negativa, la correlación es inversa.
- ✓ Si la covarianza es nula, no existe correlación.
- ✓ El coeficiente de correlación lineal es un número real comprendido entre menos  $-1$  y  $1$ . Así también  $-1 \leq r \leq 1$
- ✓ Si el coeficiente de correlación lineal toma valores cercanos a  $-1$  la correlación es fuerte e inversa, y será tanto más fuerte cuanto más se aproxime  $r$  a  $-1$ .
- ✓ Si el coeficiente de correlación lineal toma valores cercanos a  $1$  la correlación es fuerte y directa, y será tanto más fuerte cuanto más se aproxime  $r$  a  $1$ .
- ✓ Si el coeficiente de correlación lineal toma valores cercanos a  $0$ , la correlación es débil.
- ✓ Si  $r = 1$  ó  $-1$ , los puntos de la nube están sobre la recta creciente o decreciente. Entre ambas variables hay dependencia funcional.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **4.1. Resultados**

Los resultados de la presente investigación, de los periodos de evaluación (mayo y octubre de 2015), están reportados en tablas y figuras, los mismos que permitió calificar la calidad biológica del agua de la cuenca del río Cumbaza.

##### **4.1.1. Calidad biológica del agua río Cumbaza**

En este aspecto se ha tenido en cuenta determinar el índice de diversidad biológica (BMWP), a través de la diversidad de familias taxonómicas de macroinvertebrados acuáticos existentes en las estaciones que han sido evaluadas en la investigación, los mismos que se observa en la Tabla 5 en forma general de los dos periodos de evaluación (Mayo y Octubre de 2015), donde se encontró los siguientes: 2 clases, 10 órdenes y 21 familias, constituidos por la clase **INSECTA**, con los órdenes: **Plecóptera** (Perlidae); **Díptera** (Tipulidae, Vellidae y Psephenidae); **Hemiptera** (Belostomatidae, Naucoridae y Mesoveliidae); **Ephemeroptera** (Leptophlebiidae, Euthyplociidae y Baetidae); **Megaloptera** (Corydalidae); **Odonata** (Coenagrionidae, Calopterygidae, Libellulidae, Aeshnidae y Gomphidae); **Trichoptera** (Hidropsychidae); **Coleóptera** (Elmidae); **Lepidóptera** (Pyralidae) y la clase **GASTROPODA**, con el orden **Mollusca** (Thiariidae y Ampullatidae).

**Tabla 5**

*Composición taxonómica de macroinvertebrados encontrados en el río Cumbaza, San Martín, Perú, Mayo y Octubre de 2015.*

<b>Periodo de evaluación</b>	<b>Clase</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>		
MES DE MAYO	INSECTA	Plecoptera	Perlidae		
		Díptera	Tipulidae Psephenidae		
		Hemiptera	Belostomatidae Mesoveliidae		
		Ephemeroptera	Leptophlebiidae Euthyplociidae Baetidae		
		Megaloptera	Corydalidae		
		Odonata	Coenagrionidae Libellulidae Aeshnidae Gomphidae		
		Trichoptera	Hidropsychidae		
		Coleóptera	Elmidae		
		Lepidóptera	Pyalidae		
		GASTRÓPODA	Mollusca	Thiaridae	
		<b>Periodo de evaluación</b>	<b>Clase</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>
		MES DE OCTUBRE	INSECTA	Plecoptera	Perlidae
				Díptera	Vellidae Psephenidae
Hemiptera	Naucoridae				
Ephemeroptera	Leptophlebiidae Baetidae				
Megaloptera	Corydalidae				
Odonata	Coenagrionidae Calopterygidae Libellulidae Gomphidae				
Coleóptera	Elmidae				
GASTRÓPODA	Mollusca			Thiaridae Ampullariidae	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6., podemos observar la cuantificación global por familia y su porcentaje respectivo, de la composición taxonómica de los macroinvertebrados encontrados en el río Cumbaza entre los dos periodos de evaluación (Mayo y Octubre de 2015), en el mes de mayo se colectó 216 taxas y en el mes de octubre 462 taxas, haciendo un total de 678 taxas, los valores porcentualizados que se muestra en la Figura 10, son los macroinvertebrados

globales de la suma de ambos periodos respectivamente, en la cual las familias perlidae, Naucoridae, Leptophlebiidae, Euthyplociidae y Libellulidae, son las que tienen predominancia en el río, además son familias sensibles a la contaminación y son típicos encontrarlos en aguas limpias.

**Tabla 6**

*Cuantificación global por familia y su porcentaje de la composición taxonómica de macroinvertebrados encontrados en el río Cumbaza, San Martín - Perú, Mayo y Octubre de 2015.*

Periodo de evaluación	Clase	Orden	Familia	Total colectado de Taxas	Porcentaje (%)
MES DE MAYO	INSECTA	Plecoptera	Perlidae	27	12,50
		Díptera	Tipulidae	12	5,56
			Psephenidae	3	1,39
		Hemiptera	Belostomatidae	12	5,56
			Mesoveliidae	3	1,39
		Ephemeroptera	Leptophlebiidae	18	8,33
			Euthyplociidae	18	8,33
			Baetidae	15	6,94
		Megaloptera	Corydalidae	24	11,11
			Coenagrionidae	24	11,11
		Odonata	Libellulidae	18	8,33
			Aeshnidae	3	1,39
			Gomphidae	12	5,56
		Trichoptera	Hidropsychidae	6	2,78
		Coleóptera	Elmidae	15	6,94
		Lepidóptera	Pyralidae	3	1,39
GASTRÓPODA	Mollusca	Thiaridae	3	1,39	
				216	
Periodo de evaluación	Clase	Orden	Familia	Total colectado de Taxas	Porcentaje (%)
MES DE OCTUBRE	INSECTA	Plecoptera	Perlidae	51	11,04
		Díptera	Vellidae	9	1,95
			Psephenidae	15	3,25
		Hemiptera	Naucoridae	84	18,18
			Leptophlebiidae	57	12,34
		Ephemeroptera	Baetidae	27	5,84
		Megaloptera	Corydalidae	21	4,55
		Odonata	Coenagrionidae	39	8,44
			Calopterygidae	60	12,99
			Libellulidae	51	11,04
		Coleóptera	Gomphidae	24	5,19
			Elmidae	12	2,60
GASTRÓPODA	Mollusca	Thiaridae	6	1,30	
		Ampullariidae	6	1,30	
				462	

Fuente: Elaboración propia

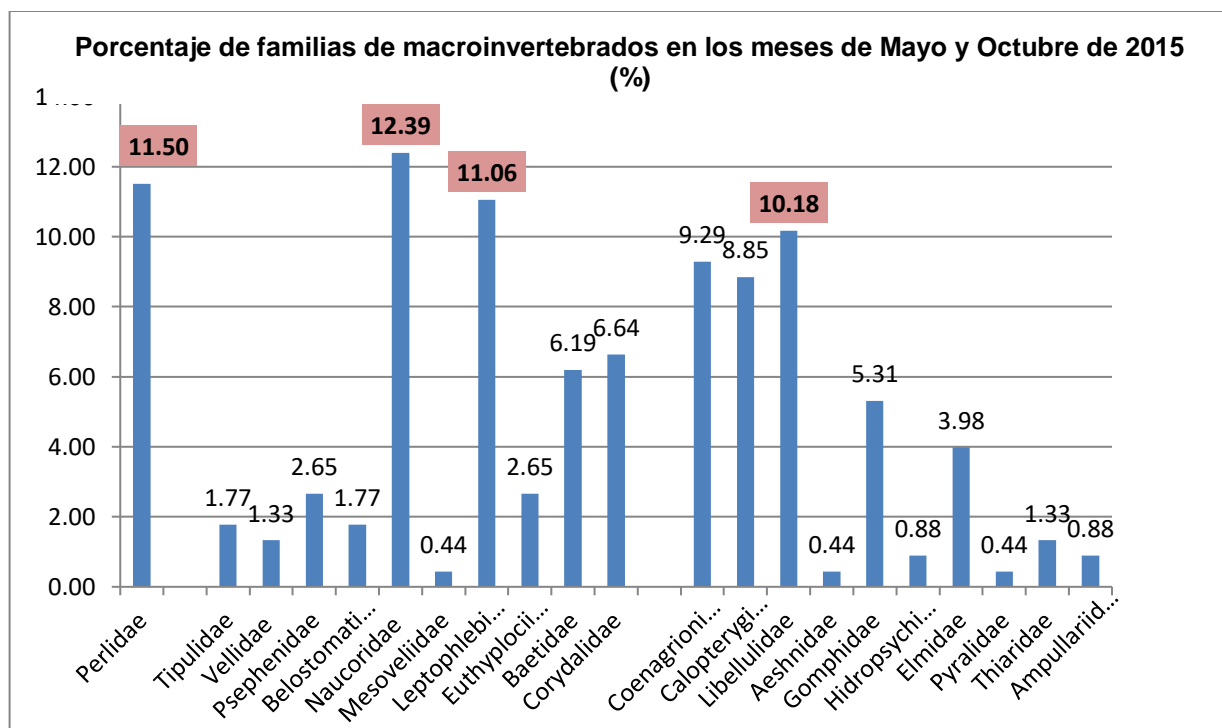


Figura 10. Familias más representativas colectadas en la cuenca del río Cumbaza, San Martín, Perú, Mayo y Octubre de 2015.

#### 4.1.1.1. Índice biológico BMWP mes de Mayo

De forma específica, como se observa en la Tabla 7, en el mes de Mayo de 2015 se encontraron en total: 2 clases, 10 órdenes y 17 familias. Según se detalla: **INSECTA**, con sus órdenes: **Plecóptera** (Perlidae); **Díptera** (Tipulidae y Psephenidae); **Hemiptera** (Belostomatidae y Mesoveliidae); **Ephemeroptera** (Leptophlebiidae, Euthyplociidae y Baetidae); **Megaloptera** (Corydalidae); **Odonata** (Coenagrionidae, Libellulidae, Aeshnidae y Gomphidae); **Trichoptera** (Hidropsychidae); **Coleóptera** (Elmidae); **Lepidóptera** (Pyralidae) y la clase **GASTROPODA**, con el orden **Mollusca** (Thiariidae). En la Tabla 7, podemos observar las abundancias absolutas de cada una de las familias en cada estación de muestreo así como sus riquezas específicas. La estación con mayor abundancia absoluta total fue: Estación I (87 ind./hora de esfuerzo), seguida de la Estación II (81 ind./hora de esfuerzo); mientras que la Estación III que presentó una menor abundancia total (48 ind./hora de esfuerzo) en la Estación IV no se encontró familia alguna de macroinvertebrado, por corresponder a un punto de muestreo dentro del canal de riego. Por otra parte, la familia con mayor abundancia de especies en la cuenca del río Cumbaza fue Perlidae (27 ind./hora de esfuerzo), en tanto que las familias con la menor abundancia fueron: Psephenidae, Mesoveliidae y Aeshnidae (3 individuos cada uno en una hora de esfuerzo respectivamente).

Respecto a la riqueza específica, como se puede observar en la Tabla 7 coincidentemente la estación con la mayor riqueza fue: La Estación I (13 Taxas), seguida de la Estación II (12 Taxas), la Estación III (7 Taxas), siendo la Estación IV donde no se encontró ninguna Taxa.

**Tabla 7**

*Abundancia absoluta y riqueza específica de los macroinvertebrados encontrados en cada estación de muestreo en la cuenca del río Cumbaza, San Martín, Perú, Mayo de 2015.*

CLASE	ORDEN	FAMILIA	Abundancia absoluta				Total (Ind./h)
			E-I	E-II	E-III	E-IV	
INSECTA	Plecoptera	Perlidae	15	6	6	0	27
	Díptera	Tipulidae	3	9	0	0	12
		Psephenidae	3	0	0	0	3
	Hemiptera	Belostomatidae	3	9	0	0	12
		Mesoveliidae	0	0	3	0	3
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	6	12	0	0	18
		Euthyplociidae	12	6	0	0	18
		Baetidae	3	0	12	0	15
	Megaloptera	Corydalidae	12	9	3	0	24
		Coenagrionidae	6	6	12	0	24
	Odonata	Libellulidae	12	6	0	0	18
		Aeshnidae	0	3	0	0	3
		Gomphidae	0	3	9	0	12
	Trichoptera	Hidropsychidae	3	3	0	0	6
	Coleóptera	Elmidae	6	9	0	0	15
Lepidóptera	Pyralidae	3	0	0	0	3	
GASTROPODA	Mollusca	Thiaridae	0	0	3	0	3
Abundancia absoluta total (N° de individuos/hora esfuerzo)			87	81	48	0	216
Riqueza específica			13	12	7	0	

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros comunitarios correspondientes al mes de Mayo son presentados en la Tabla 8, en la cual se incluyen datos de riqueza específica, densidad, uniformidad (E) y diversidad (H'), obtenidos por el programa biológico respectivo. Los datos indican que en general, en todas las estaciones de muestreo existe un bajo Índice de Diversidad de Shannon (H'). Aun así, dentro de estas, la estación con una mayor diversidad fue la (Estación II:  $H' = 2,39681$ ), seguida por la (Estación I:  $H' = 2,37276$ ) y mientras que la (Estación III:  $H' = 1,78021$ ) presentó la menor diversidad, en la (Estación IV:  $H' = 0$ ) no se encontró macroinvertebrados alguno, debido a que el agua estaba en el mismo canal y no habría la posibilidad de

existencia de macroinvertebrados, sin embargo se encontró algunos patinadores (arañas, zancudos y otros) que no indican referencias sobre la calidad de las aguas.

**Tabla 8**

*Valores de los parámetros comunitarios obtenidos mediante el muestreo de macroinvertebrados en las 4 estaciones de muestreo, en la cuenca del río Cumbaza, San Martín, Perú, Mayo de 2015.*

Estación de muestreo	Riqueza específica (N° de Taxas)	Densidad (N° Ind./hr)	Uniformidad (E)	Índice de diversidad de Shanon (H')
I	13	87	0,92570	2,37276
II	12	81	0,96455	2,39681
III	7	48	0,91824	1,78021
IV	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la calidad del agua de la cuenca empleando el índice biológico BMWP durante el mes de Mayo de 2015, para la puntuación respectiva, se realizó adaptando a la puntuación asignada a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del índice biológico BMWP/Colombia mostrado en la parte de la metodología Tabla 1 , planteado por Roldán (2003) que propone la aplicación del índice BMWP para Colombia bajo el nombre de BMWP/Col. como una primera aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos de montaña, ya que en esta región es donde se ha trabajado más intensamente con los macroinvertebrados acuáticos, además por ser un hábitat con características ecológicas y ambientales similares al de la Región San Martín, descartándose referencias tales como de España, Portugal, Costa Rica, Estados Unidos y Canadá, pero debido a que la fauna acuática allí existente es diferente a la nuestra, no pueden aplicarse en el trópico sin antes conocer qué tipo de organismos viven aquí, cuáles son sus exigencias ecológicas y su distribución geográfica, así también tienen índices biológicos ya establecidos y además sus factores ambientales son diferentes a las de nuestro país especialmente en la selva, en la Tabla 9 se observa las respectivas puntuaciones de familia de macroinvertebrados encontrados en cada estación, adaptado al índice BMWP para Colombia bajo el nombre de BMWP/Col.

**Tabla 9**

*Índice de diversidad biológica (BMWP) de los macroinvertebrados identificados en cada estación, adaptado al BMWP/Col en el mes de Mayo del 2015*

CLASE	ORDEN	FAMILIA	ESTACIÓN		
			I	II	III
			BMWP	BMWP	BMWP
INSECTA	Plecoptera	Perlidae	10	10	10
	Díptera	Tipulidae	3	3	0
		Psephenidae	10	0	0
	Hemiptera	Belostomatidae	4	4	0
		Mesoveliidae	0	0	5
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	9	9	0
		Euthyplociidae	9	9	0
		Baetidae	7	0	7
	Megaloptera	Corydalidae	6	6	6
		Coenagrionidae	7	7	7
	Odonata	Libellulidae	5	5	0
		Aeshnidae	0	6	0
		Gomphidae	0	9	9
	Trichoptera	Hidropsychidae	7	7	0
	Coleóptera	Elmidae	6	6	0
Lepidóptera	Pyralidae	7	0	0	
<b>GASTROPODA</b>	Mollusca	Thiaridae	0	0	5
<b>BMWP</b>			<b>90</b>	<b>81</b>	<b>49</b>




*Fuente: Elaboración propia*

Con los BMWP totales de la Tabla 9, se realiza la descripción y calificación del agua, de acuerdo a mostrado en la parte de la metodología Tabla 2, planteado por (Roldán, 2003), observando los resultados en la Tabla 10, la Estación 1 y la Estación 2, son las que tuvieron mejor calidad de agua (Ligeramente contaminadas, se evidencian efectos de contaminación), pero de **Calidad Aceptable**; en comparación con la Estación 3 (Aguas ligeramente contaminadas) de **Calidad Dudosa**.



**Tabla 10**

*Descripción y calificación de las aguas en la cuenca del río Cumbaza, San Martín, Perú, Mayo del 2015, según valores obtenidos de la aplicación del Índice BMWP, adaptado a valores de la Tabla 2*

Clase o categoría	Estación de muestreo	Índice	Color	Descripción del agua	Calificación del agua
III	I	90		Ligeramente contaminada, se evidencian efectos de contaminación.	Aceptable
III	II	81		Ligeramente contaminada, se evidencian efectos de contaminación.	Aceptable
II	III	49		Moderadamente contaminada	Dudosa

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1.2. Índice biológico BMWP mes de Octubre

En el mes de Octubre, la composición taxonómica fue de la siguiente manera: 2 clases, 8 órdenes y 14 familias, tal como se observa en la Tabla 11, teniéndose así, las clases de Insecta y Gastropoda, con sus órdenes y familias correspondientes según el siguiente detalle: **INSECTA**, con sus órdenes **Plecoptera** (Perlidae); **Díptera** (Veliidae y Psephenidae); **Hemiptera** (Naucoridae); **Ephemeroptera** (Leptophlebiidae, Baetidae); **Megaloptera** (Corydalidae); **Odonata** (Coenagrionidae, Calopterygidae, Libellulidae, Gomphidae) y **Coleóptera** (Elmidae). **GASTROPODA**, **Mollusca** (Thiaridae, Ampullariidae).

Asimismo en la Tabla 11, se observa también la abundancia absoluta total (N° ind./hora de esfuerzo) de cada una de las estaciones de muestreo evaluadas en el mismo mes; donde se registraron así, la mayor abundancia en la Estación II (183 ind./hora de esfuerzo), seguida de la Estación III (168 ind./hora de esfuerzo) y la Estación I (111 ind./hora de esfuerzo). La familia más abundante en la cuenca del río Cumbaza en el mes de Octubre fue Naucoridae (84 ind./hora de esfuerzo), mientras que Thiaridae y Ampullariidae fueron las familias menos abundantes (6 ind./Hora de esfuerzo) respectivamente.

La riqueza específica en el mes de Octubre, tal cual observamos en la Tabla 11, se obtuvo un mayor valor en la Estación II y III (ambas con 9 taxas respectivamente), seguida de la Estación I (6 taxas), no encontrándose taxa alguna en la Estación IV muestra que corresponde a un punto dentro del canal de riego.

**Tabla 11**

*Abundancia absoluta y riqueza específica de los macroinvertebrados encontrados en cada estación de muestreo en la cuenca del río Cumbaza, San Martín, Perú, Octubre de 2015*

Clase	Orden	Familia	Abundancia absoluta				Total	
			E-I	E-II	E-III	E-IV		
<b>INSECTA</b>	Plecoptera	Perlidae	24	0	27	0	51	
	Díptera	Veliidae	9	0	0	0	9	
		Psephenidae	0	0	15	0	15	
	Hemiptera	Naucoridae	21	36	27	0	84	
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	27	15	15	0	57	
		Baetidae	9	18	0	0	27	
	Megaloptera	Corydalidae	0	0	21	0	21	
	Odonata	Coenagrionidae	0	27	12	0	39	
		Calopterygidae	21	21	18	0	60	
		Libellulidae	0	30	21	0	51	
		Gomphidae	0	24	0	0	24	
	Coleóptera	Elmidae	0	0	12	0	12	
	<b>GASTROPODA</b>	Mollusca	Thiaridae	0	6	0	0	6
			Ampullariidae	0	6	0	0	6
Abundancia absoluta total (N° de individuos/hora esfuerzo)			111	183	168	0	462	
Riqueza específica			6	9	9	0		

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros comunitarios correspondientes al mes de Octubre son presentados en la Tabla 12, donde están considerados datos de riqueza específica, densidad, uniformidad (E) y diversidad ( $H'$ ). Los datos indican que en general, en todas las estaciones de muestreo existe un bajo Índice de Diversidad de Shanon ( $H'$ ). Aun así, dentro de estas, la estación con una mayor diversidad fue la (Estación III:  $H' = 2,15521$ ), seguida por la (Estación II:  $H' = 2,07076$ ) y mientras que la (Estación I:  $H' = 1,71241$ ) presentó la menor diversidad, en la (Estación IV:  $H' = 0$ ) no se encontró macroinvertebrados alguno, debido a que el agua estaba en el mismo canal y no habría la posibilidad de existencia de macroinvertebrados, sin embargo se encontró algunos patinadores (arañas, zancudos y otros) que no indican referencias sobre la calidad de las aguas.

**Tabla 12**

*Valores de los parámetros comunitarios obtenidos mediante el muestreo de macroinvertebrados bentónicos en las 4 estaciones de muestreo, en la Cuenca del río Cumbaza, San Martín, Perú, Octubre de 2015.*

Estación de muestreo	Riqueza específica (N° de Taxas)	Densidad (N° Ind./hr)	Uniformidad (E)	Índice de diversidad de Shanon (H')
I	6	111	0,95571	1,71241
II	9	183	0,94244	2,07076
III	9	168	0,98088	2,15521
IV	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la calidad del agua de la cuenca en el mes de Octubre de 2015, para la puntuación respectiva, se realizó adaptando a la puntuación asignada a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del índice biológico BMWP/Colombia mostrado en la parte de la metodología Tabla 1 , planteado por Roldán (2003) que propone la aplicación del índice BMWP para Colombia bajo el nombre de BMWP/Col, como una primera aproximación para evaluar los ecosistemas acuáticos de montaña, ya que en esta región es donde se ha trabajado más intensamente con los macroinvertebrados acuáticos, además por ser un hábitat con características ecológicas y ambientales similares al de la Región San Martín, descartándose referencias tales como de España, Portugal, Costa Rica, Estados Unidos y Canadá, pero debido a que la fauna acuática allí existente es diferente a la nuestra, no pueden aplicarse en el trópico sin antes conocer qué tipo de organismos viven aquí, cuáles son sus exigencias ecológicas y su distribución geográfica, así también tienen índices biológicos ya establecidos y además sus factores ambientales son diferentes a las de nuestro país especialmente en la selva, el mismo que se observa en la Tabla 13, las respectivas puntuaciones de familia de macroinvertebrados encontrados en cada estación.

**Tabla 13**

*Índice de diversidad biológica (BMWP) de los macroinvertebrados identificados en cada estación, adaptado al BMWP/Col en el mes de mes de Octubre de 2015*




CLASE	ORDEN	FAMILIA	ESTACIÓN			
			I	II	III	
			BMWP	BMWP	BMWP	
INSECTA	Plecoptera	Perlidae	10	0	10	
	Díptera	Veliidae	7	0	0	
		Psephenidae	0	0	10	
	Hemiptera	Naucoridae	8	8	8	
	Ephemeroptera	Leptophlebiidae	9	9	9	
		Baetidae	7	7	0	
	Megaloptera	Corydalidae	0	0	6	
	Odonata	Coenagrionidae	0	7	7	
		Calopterygidae	7	7	7	
		Libellulidae	0	5	5	
		Gomphidae	0	9	0	
	Coleóptera	Elmidae	0	0	6	
	GASTROPODA	Mollusca	Thiaridae	0	5	0
			Ampullariidae	0	6	0
<b>BMWP</b>			<b>48</b>	<b>63</b>	<b>68</b>	

Fuente: Elaboración propia

Con los BMWP totales de la Tabla 13, se realiza la descripción y calificación del agua, observando los resultados en la Tabla 14, siendo las estaciones Estación III y la Estación II, las que tuvieron mejor calidad de agua (Ligeramente contaminadas, se evidencian efectos de contaminación), pero de **Calidad Aceptable**; en comparación con la Estación I (Aguas ligeramente contaminadas) de **Calidad Dudosa**.

**Tabla 14**

*Descripción y calificación de las aguas en la cuenca del río Cumbaza, San Martín, Perú, Octubre de 2015, según valores obtenidos de la aplicación del Índice BMWP adaptado a valores de la Tabla 2*

Clase o categoría	Estación de muestreo	Índice	Color	Descripción del agua	Calificación del agua
II	I	48		Moderadamente contaminada	Dudosa
III	II	63		Ligeramente contaminada, se evidencian efectos de contaminación.	Aceptable
III	III	68		Ligeramente contaminada; se evidencian efectos de contaminación	Aceptable

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2. Parámetros Físico-químicos

Los valores de los parámetros físico-químicos evaluados en el mes de Mayo de 2015 en las cuatro estaciones de muestreo de la cuenca del río Cumbaza, se observa en la Tabla 15 que son los siguientes: Potencial de Hidrógeno (unidades de pH), con un valor máximo de 6,98 (Estación IV) y un valor mínimo de 6,50 (Estación II); Cloruros (mg/L) con un valor máximo de 9,14 (Estación IV) y con valor mínimo de 6,87 (Estación I); Nitratos (mg/L) con un valor máximo de 3,66 (Estación IV) y con valor mínimo de 2,78 (Estaciones I y III respectivamente); Aluminio (mg/L) no se encontró en ninguna estación de muestreo; Hierro (mg/L) no se encontró en ninguna estación de muestreo; Sulfatos (mg/L) no se encontró en ninguna estación de muestreo; Oxígeno disuelto (mg/L) con un valor máximo de 95 (Estación I) y un valor mínimo de 90 (Estación III); Manganeso (mg/l) no se encontró en ninguna estación de muestreo; Conductividad (uS/cm) con un valor máximo de 44 (Estaciones II y III respectivamente) y con un valor mínimo 40 (Estación I). Según lo observado en la Tabla 15, los valores encontrados no superan a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para la categoría 3 de aguas para riego de vegetales del Anexo 4: D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo según los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA) del **D.S. No 015-2015 del MINAM**, como se muestra en el Anexo 2

**Tabla 15**

*Resultado de análisis fisicoquímico de las estaciones de muestreo en la Cuenca del río Cumbaza, San Martín - Perú, Mayo de 2015*

Parámetro	Unidad	*ECA (Para riego)	Estación			
			I	II	III	IV
Potencial de hidrógeno	pH	6,5 – 8,5	6,89	6,50	6,92	6,98
Cloruros	mg/L	500	6,87	8,12	8,1	9,14
Nitratos	mg/L	100	2,78	2,95	2,78	3,66
Aluminio	mg/L	5	0	0	0	0
Hierro	mg/L	5	0	0	0	0
Sulfatos	mg/L	1000	0	0	0	0
Oxígeno disuelto (Valor mínimo)	mg/L	4	95	92	90	94
Manganeso	mg/L	0,2	0	0	0	0
Conductividad	uS/cm	2500	40	44	44	42,5

Fuente: Elaboración propia

\* ECA = Estándar de Calidad de Agua – D.S. No 015-2015 del MINAM.

Respecto a los resultados del análisis de los parámetros físico-químicos evaluados en el Mes de Octubre de 2015, en las cuatro estaciones de muestreo de la cuenca del río Cumbaza que se observa en la Tabla 16, son los siguientes: Potencial de Hidrógeno (unidades de pH), con un valor máximo de 7,28 (Estación IV) y un valor mínimo de 6,97 (Estación II); Cloruros (mg/L) con un valor máximo de 7,12 (Estación IV) y con valor mínimo de 6,86 (Estación I); Nitratos (mg/L) con un valor máximo de 2,88 (Estación II) y con valor mínimo de 2,44 (Estaciones I); Aluminio (mg/L) no se encontró en ninguna estación de muestreo; Hierro (mg/l) no se encontró en ninguna estación de muestreo; Sulfatos (mg/L) no se encontró en ninguna estación de muestreo; Oxígeno disuelto (mg/L) con un valor máximo de 104 (Estación IV) y un valor mínimo de 88 (Estación I); Manganeso (mg/l) no se encontró en ninguna estación de muestreo; Conductividad (uS/cm) con un valor máximo de 58.80 (Estaciones I) y con un valor mínimo 50,50 (Estación IV). Según lo observado en la Tabla 16, los valores encontrados no superan a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para la categoría 3 de aguas para riego de vegetales del Anexo 4: D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo según los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA) del **D.S. No 015-2015 del MINAM**, como se muestra en el Anexo 2.

**Tabla 16**

*Resultado de análisis fisicoquímico de las estaciones de muestreo en la Cuenca del río Cumbaza, San Martín, Perú, Octubre del 2015.*

Parámetro	Unidad	*ECA (Para riego)	Estación			
			I	II	III	IV
Potencial de hidrógeno pH	Unid.	6,5 – 8,5	7,0	6,97	7,08	7,28
Cloruros	mg/L	500	6,86	7,1	6,98	7,12
Nitratos	mg/L	100	2,44	2,88	2,6	2,64
Aluminio	mg/L	5	0	0	0	0
Hierro	mg/L	5	0	0	0	0
Sulfatos	mg/L	1000	0	0	0	0
Oxígeno disuelto (Valor mínimo)	mg/L	4	88	92	96	104
Manganeso	mg/L	0,2	0	0	0	0
Conductividad	uS/cm	2500	58,8	50,8	52,4	50,5

Fuente: Elaboración propia

\* ECA = Estándar de Calidad de Agua – D.S. No 015-2015 del MINAM.

#### **4.1.3. Relación entre valoración del índice biológico (BMWP) con los principales parámetros de calidad fisicoquímica del agua para riego**

Los resultados de la valoración biológica BMWP encontrados en las estaciones de muestreo, tanto en el mes de Mayo como en el mes de Octubre de 2015 respectivamente, con los parámetros físico-químicos determinados también en cada estación de muestreo en el mismo periodo, al analizar mediante el programa estadístico STATISTICA versión 10, la correlación estadística de Pearson, que calcula la relación o dependencia que existe entre las dos variables que intervienen en una distribución bidimensional, en este caso los índice biológico (BMWP) de los macroinvertebrados encontrados con los principales parámetros fisicoquímicos analizados; se determinó que los cambios en una de las variables influyen en los cambios de la otra, los datos analizados podemos observar en la Tabla 17.

**Tabla 17**

*Índice biológico (BMWP) y parámetros fisicoquímicos de las estaciones muestreadas durante los meses de Mayo y Octubre 2015, para realizar la correlación estadística*

MESES	Estaciones	BMWP	Temperatura (°C)	pH	Cloruros (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Conductividad (uS/cm)
MAYO	I	92	24,6	6,89	6.87	2.78	95	40
	II	74	25	6,5	8.12	2.95	92	44
	III	49	24	6,92	8.1	2.78	90	44
	IV	0	24,4	6,98	9.14	3.66	94	42.5
OCTUBRE	I	48	26,5	7,00	6.86	2.44	88	58.80
	II	61	24,5	6,97	7.10	2.88	92	50.80
	III	68	26	7,08	6.98	2.60	96	52.40
	IV	0	25	7,28	7.12	2.64	104	50.50

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 18, podemos observar los resultados de las correlaciones en el Índice biológico BMWP o clasificación del agua frente a cada uno de los principales parámetros fisicoquímicos determinados, asimismo se muestra el comportamiento en forma gráfica de cada uno de estas correlaciones, en las Figuras 11, 12, 13, 14, 15 y 16. Mientras que en la Tabla 19 podemos observar la correlación entre los macroinvertebrados encontrados en cada punto de muestreo de las estaciones evaluadas entre el mes Mayo ver sus mes de Octubre respectivamente.

**Tabla 18**

*Correlación entre los índice BMWP y los resultados físico químicos de las estaciones muestreadas mes de Mayo y Octubre de 2015.*

Variable	Clasificación de agua (BMWP)	Temperatura (°C)	Potencial Hidrógeno (pH)	Cloruro (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad (uS/cm)
Clasificación de agua (BMWP)	1,000000	0,11990	-0,562954	-	-	-	-
Temperatura (°C)	0,119909	1,00000	0,177720	0,45183	0,39398	0,42111	0,13003
Potencial Hidrógeno (pH)	-0,562954	0,17772	1,000000	0,53184	0,58037	0,08342	2
Cloruro (mg/L)	-0,451835	-	-0,348941	1,00000	0,86795	-	-
Nitratos (mg/L)	-0,393968	0,53184	-0,240276	0,86795	1,00000	0,15752	0,55157
Oxígeno disuelto (mg/L)	-0,421110	0,58036	0,561479	-	0	0,01587	0,61659
Conductividad (uS/cm)	-0,130003	0,08342	0,438776	0,15752	0,01587	0	0,09711
		2		0,55157	0,61659	0,09711	0

Fuente: Elaboración propia



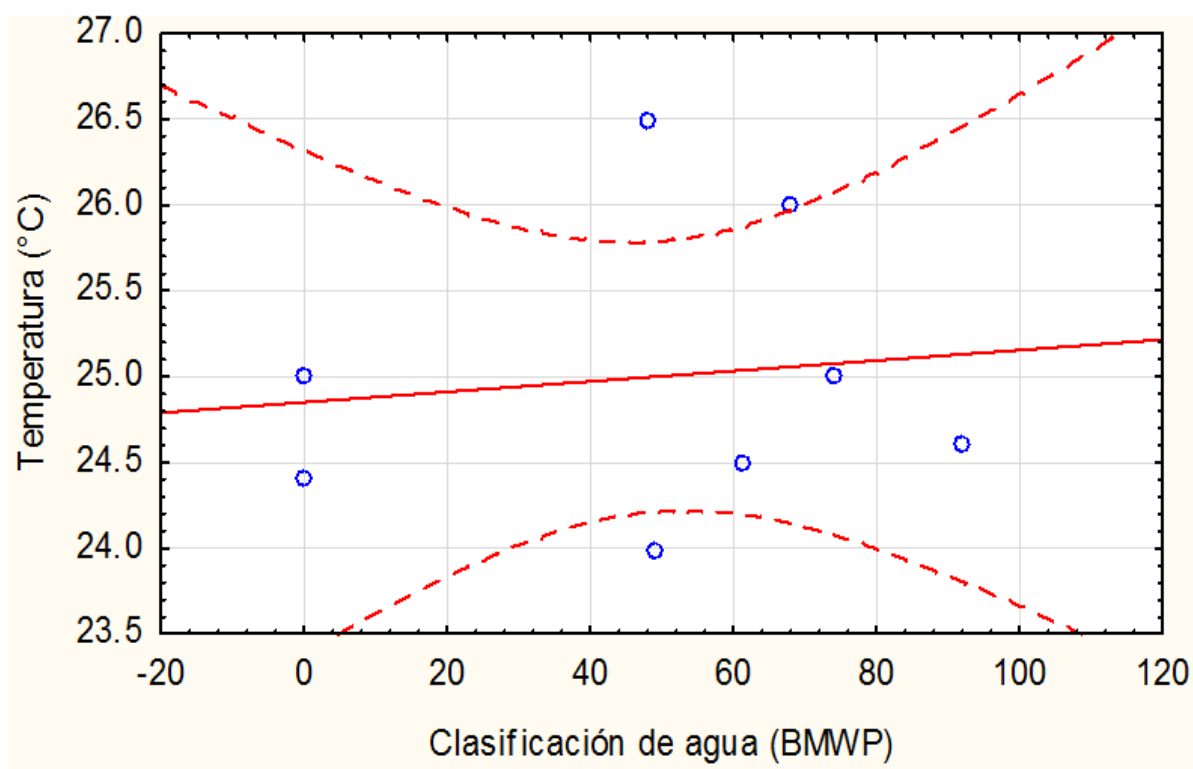


Figura 11: Comportamiento bidimensional de la correlación entre los BMWP y la Temperatura °C de las estaciones de muestreo realizados

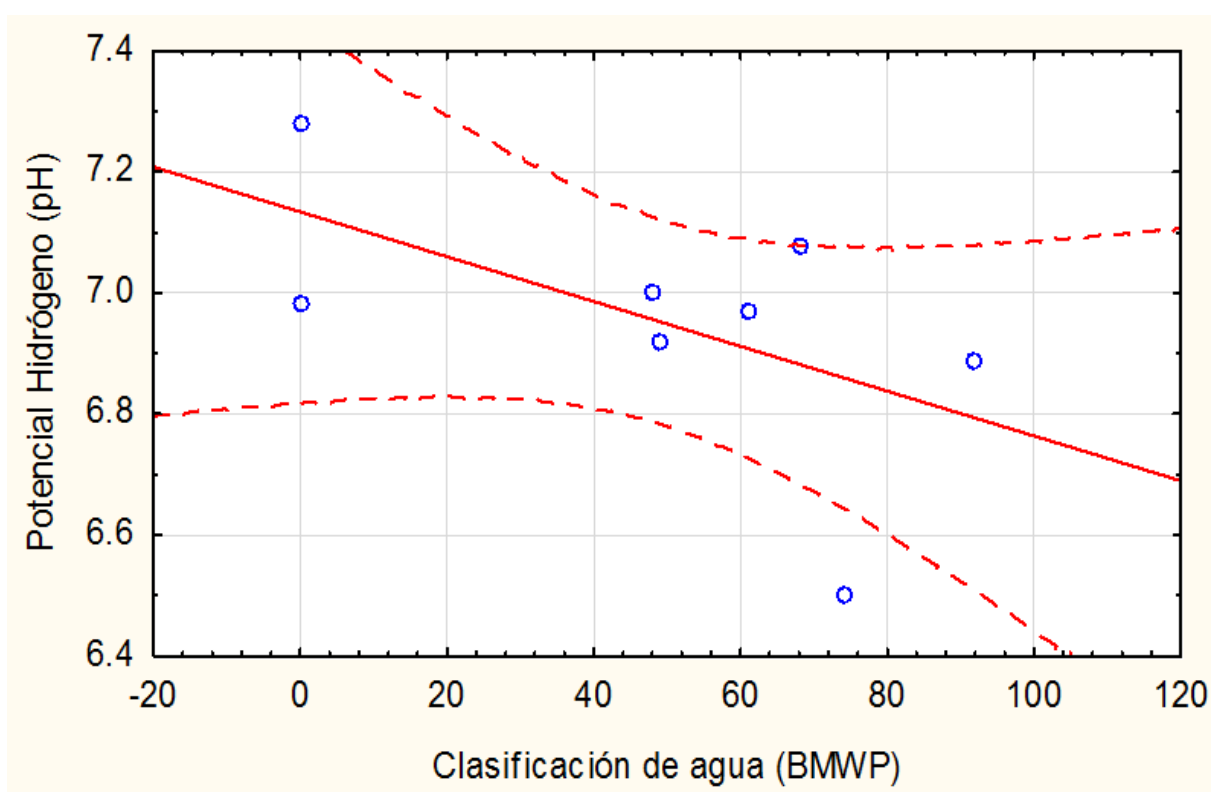


Figura 12: Comportamiento bidimensional de la correlación entre los BMWP y el Potencial de Hidrógeno (pH) de las estaciones de muestreo realizados

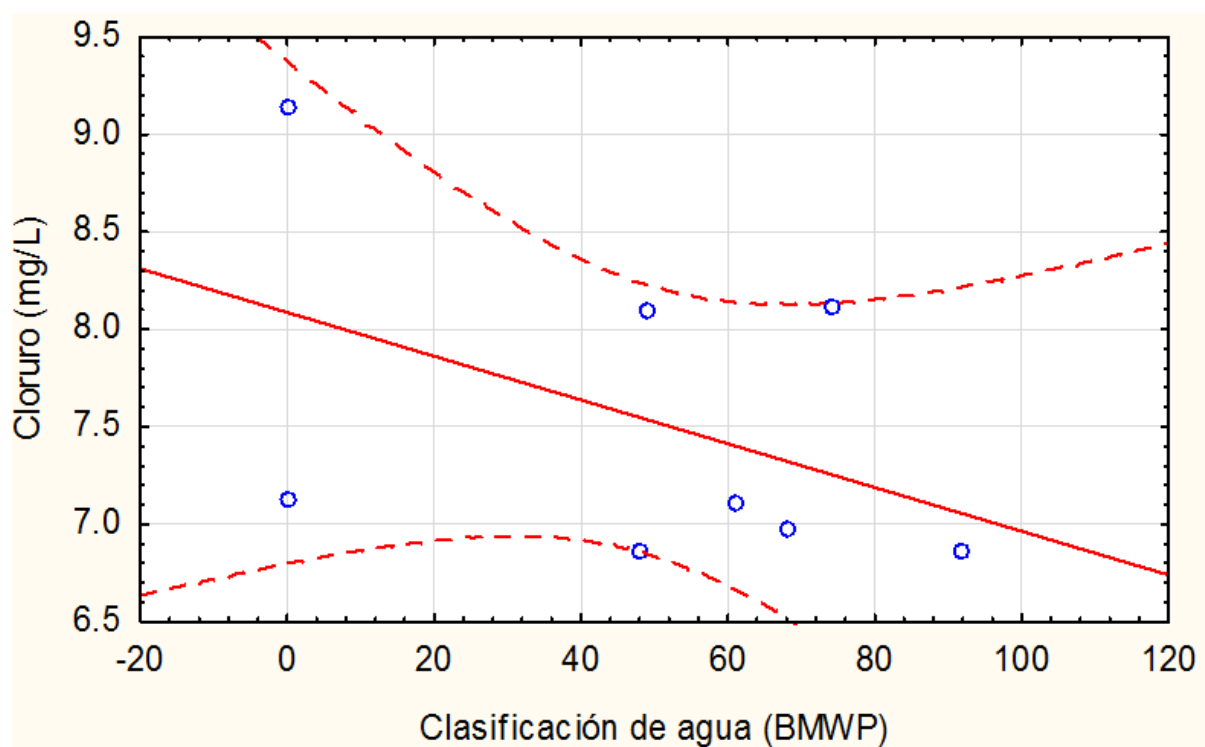


Figura 13: Comportamiento bidimensional de la correlación entre los BMWP y el Cloruro (mg/L) de las estaciones de muestreo realizados

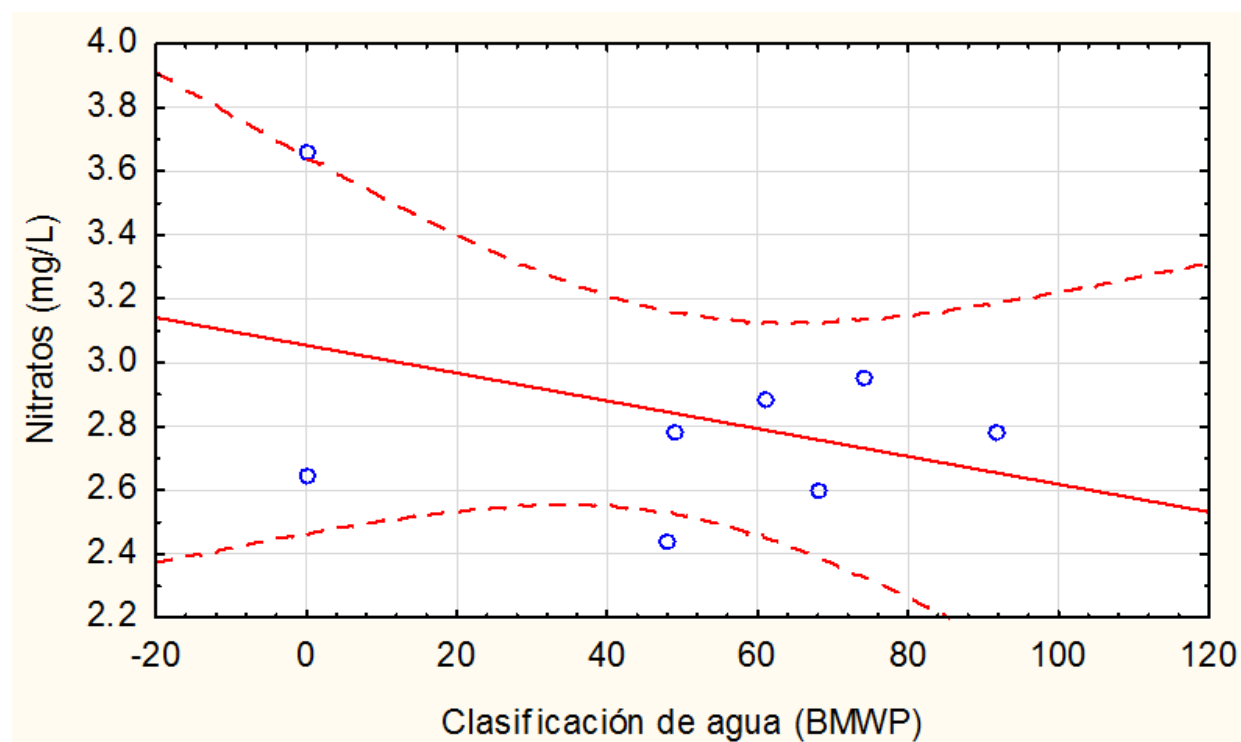


Figura 14: Comportamiento bidimensional de la correlación entre los BMWP y los Nitratos (mg/L) de las estaciones de muestreo realizados

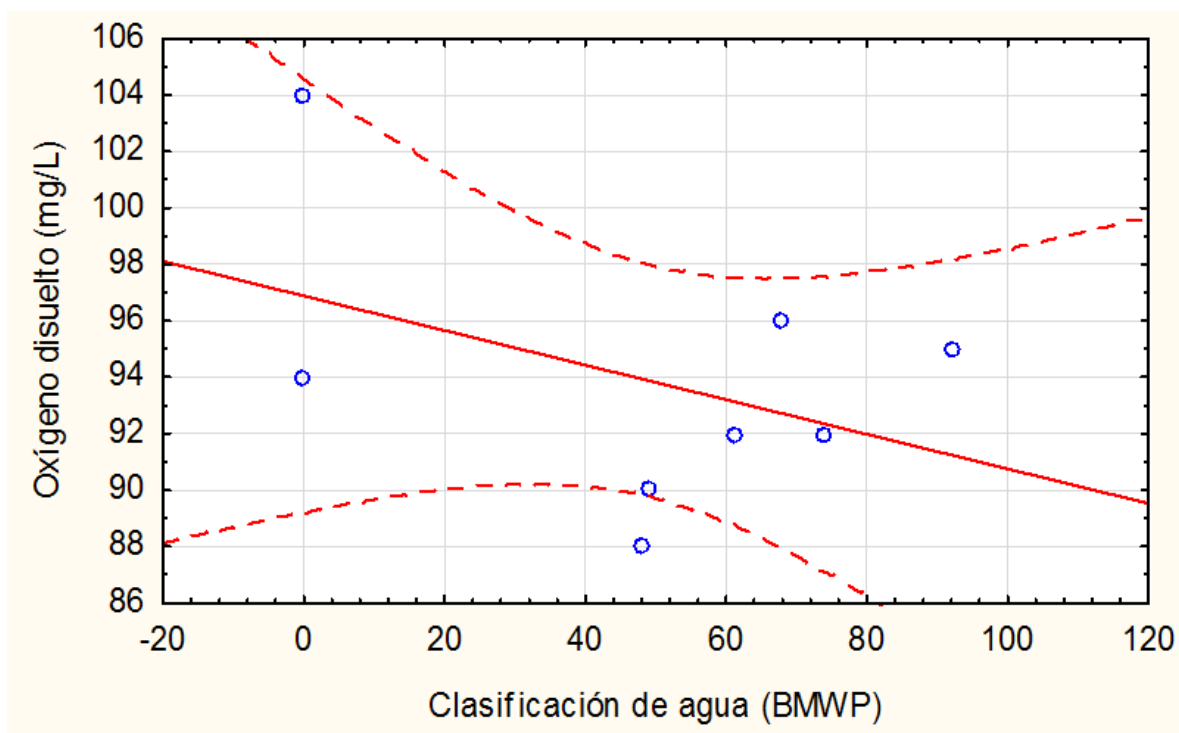


Figura 15: Comportamiento bidimensional de la correlación entre los BMWP y el Oxígeno Disuelto (mg/L) de las estaciones de muestreo realizados

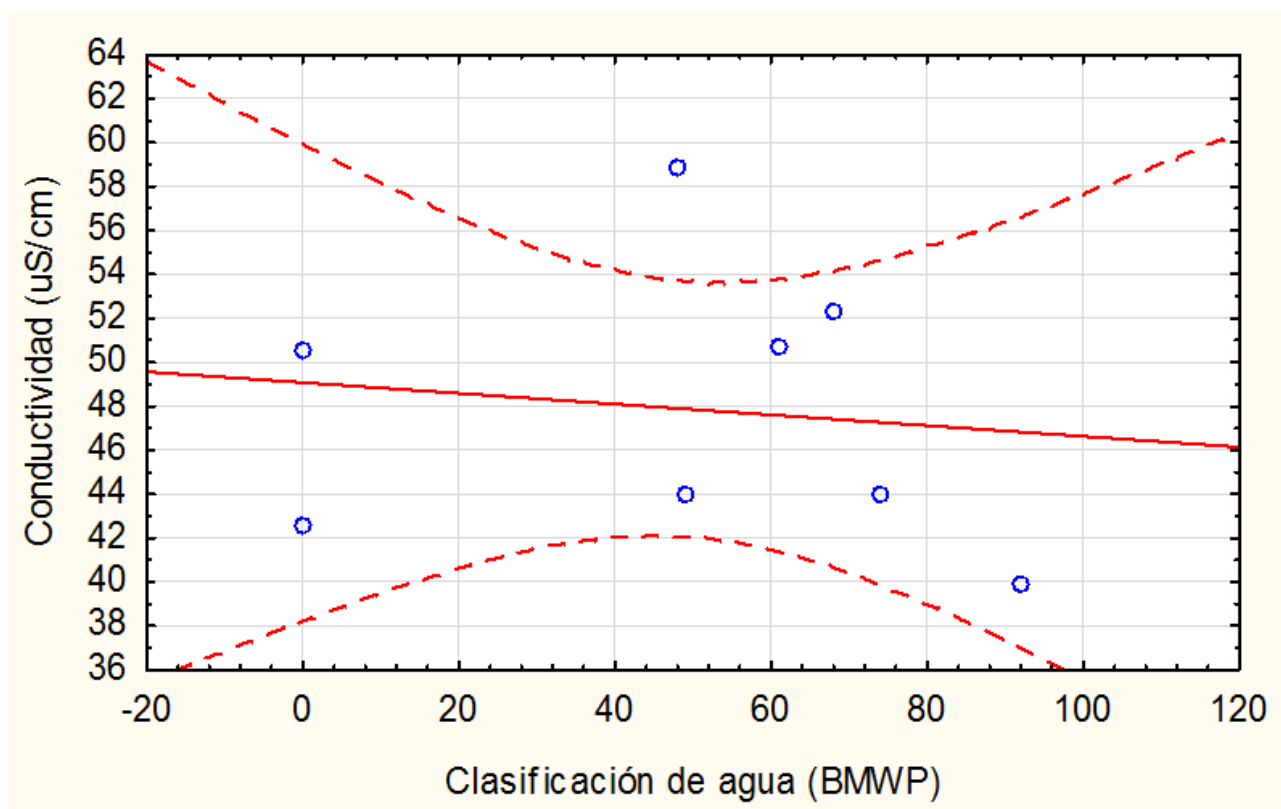


Figura 16: Comportamiento bidimensional de la correlación entre los BMWP y la Conductividad (uS/cm) de las estaciones de muestreo realizados.

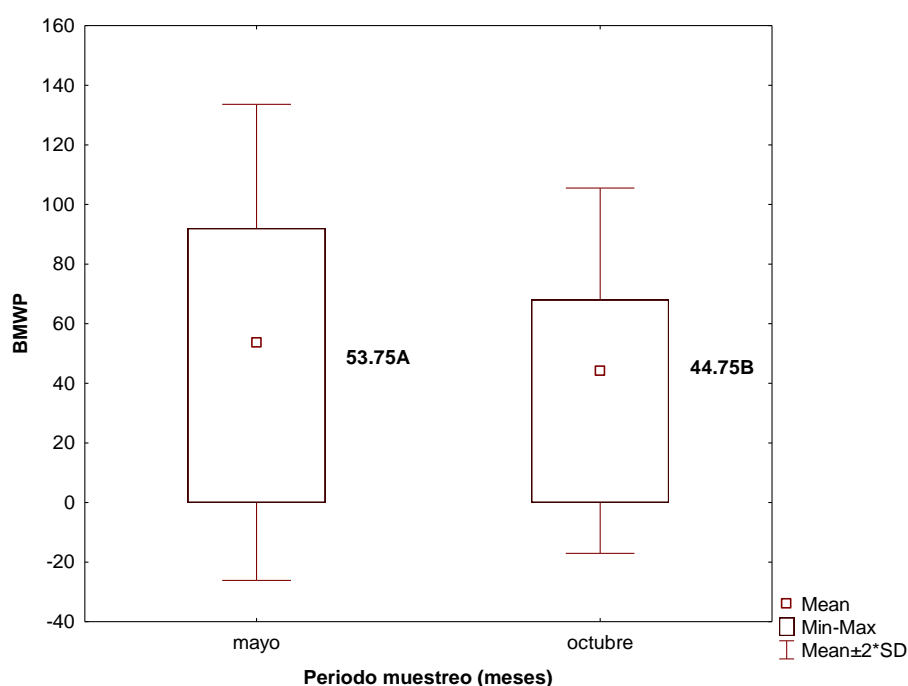
Del mismo modo se realizó la prueba estadística con el programa SAS V9.1, para determinar el análisis de varianza entre las estaciones de muestreo (Mayo y Octubre) y las estaciones en cada periodo, si son significativos o no estadísticamente y se observa en la Tabla 19. Además se calculó que el  $R^2 = 0.9982$ ;  $CV = 3.2897$  y la media fue de 49.25 respectivamente.

**Tabla 19**

*ANOVA de los datos obtenidos en las estaciones y periodos de muestreo*

Fuente	Grados libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado de la media	F-valor	Pr>F
Periodo muestreo (meses)	1	486.000	486.000	185.14000	<.0001
Estaciones	3	19873.500	6624.500	2523.62000	<.0001
Periodo*estación	3	3141.000	1047.000	398.86000	<.0001
Error	16	42.000	2.625		
Total SS	23	23542.500			

Asimismo se grafico los valores medios de los BMWP en diferentes periodos de muestreo, así como los valores medios de los BMWP de las diferentes estaciones de muestreo realizados en el estudio, tal como se puede observar las figuras 17 y 18 respectivamente.



*Figura 17.* Valores medios de los BMWP en diferentes periodos de muestreo.  
Fuente: Elaboración propia

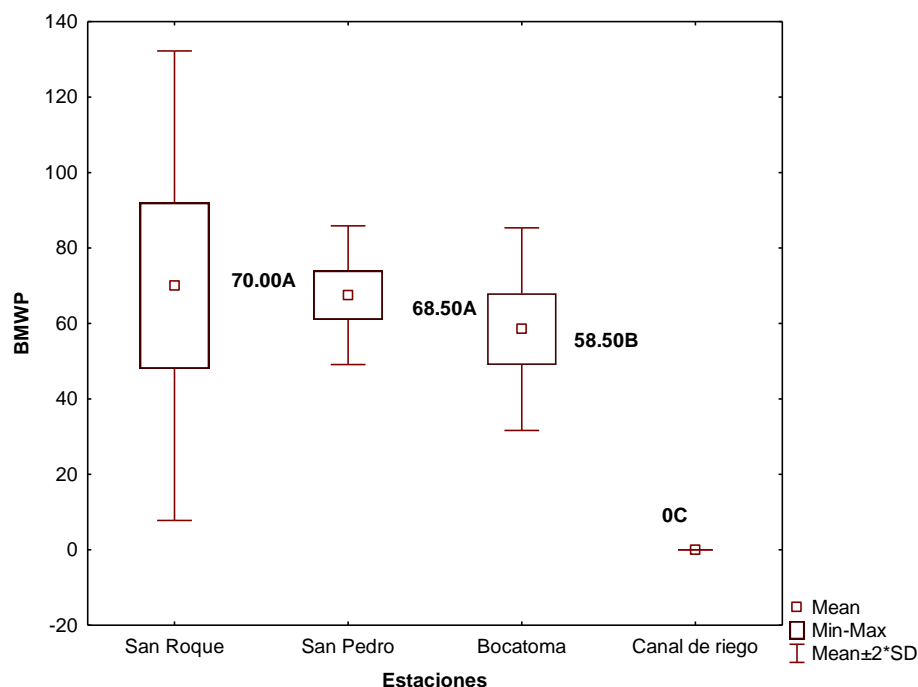


Figura 18. Valores medios de los BMWP en diferentes estaciones de muestreo, entre los dos periodos (Mayo y Octubre). (Fuente: Elaboración propia).

## 4.2. Discusión

### 4.2.1. Sobre la calidad biológica del agua del río Cumbaza

El uso de macroinvertebrados para el análisis de la calidad biológica del agua, es hoy en día utilizado en muchos países, en nuestro país solo se tiene conocimiento a través de algunas investigaciones, que se han dado en zonas del norte, costa y la selva, el río Cumbaza al tener una importancia para la población, por la dinámica de su ecosistema acuático merece un cuidado especial con fuente hídrica que es utilizado tanto para consumo y para la agricultura. En ese sentido (Gualdoni, et al 2012), indica que la aplicación de BMWP puede extenderse a la investigación aplicada porque ya está cubierta por la normativa vigente en muchos países, donde la identificación de impactos aguas arriba y aguas abajo en obras de ingeniería civil con efectos sobre los sistemas acuáticos es una prioridad. De igual forma (Domínguez *et al*, 2009), afirma que los macroinvertebrados es ampliamente reconocido a nivel mundial, gracias a sus características biológicas entre las cuales se destacan la capacidad para colonizar diferentes ambientes, los ciclos de vida largos, el escaso poder de locomoción (que permite identificar las condiciones que modifican el medio y evaluar los cambios en el sistema), la alta diversidad taxonómica y el recambio de especies. Asimismo

(MacNeil, *et al*, 2013), indica además, que el uso de los macroinvertebrados es barato, rápido y preciso, lo que refleja las condiciones que existían hace mucho tiempo, mientras que los métodos analíticos convencionales ofrecen una evaluación momentánea del sistema. La implementación de estas metodologías no implica necesariamente la eliminación de los métodos analíticos, que podrían ser útiles para un análisis posterior en secciones conflictivas, como el vertido de desechos específicos. (Slavevska-stamenkovi ´c *et al*, 2015), manifiesta que en muchas partes del mundo, hay investigadores trabajando en configuración del índice más común que utiliza macroinvertebrados acuáticos, llamado BMWP (Grupo de Monitoreo Biológico). Este índice se modifica de acuerdo con la configuración actual de la biodiversidad de los lugares. En términos generales la fauna de macroinvertebrados en la cuenca del río Cumbaza es de 2 clases, 10 órdenes y 21 familias (Tabla 5), para las tres estaciones muestreadas en los dos periodos de muestreo realizado, de los 2 Phylum o clases registrados, el más abundante y dentro de éste la clase Insecta presentó el mayor porcentaje de abundancia, corroborando lo indicado por (Roldán 2003), dentro de los macroinvertebrados acuáticos de ecosistemas lóticos, la clase Insecta constituye generalmente entre el 85 y 95% del total de organismos presentes debido a su amplia variedad de adaptaciones morfológicas y fisiológicas, que permiten su óptimo establecimiento y desarrollo en estos ambientes. Esto explica en gran parte, la alta abundancia de organismos de la clase Insecta en la cuenca del río Cumbaza, los organismos de esta clase de macroinvertebrados acuáticos, representan gran interés por su potencial uso como bioindicadores de calidad de agua, que presentan algunos de ellos. De las 10 órdenes registrados, Hemiptera (Naucoridae); Plecóptera (Perlidae), Ephemeroptera (Leptophlebiidae); Odonata (Libellulidae, Calopterygidae y Coenagrionidae) fueron los más abundantes (Tabla 7), colectados en los dos periodos de muestreo (Mayo y Octubre de 2015), la amplia distribución de estos organismos a lo largo de la cuenca se debe en parte a la variedad de sustratos presentes (hojarasca, piedras, arena, macrófitas, entre otros), poca intervención antrópica y posiblemente a la explotación independiente de los nutrientes y sus ciclos de vida diferentes, con adaptaciones morfológicas, fisiológicas y ecológicas propias para soportar condiciones adversas de su entorno. Lo que indica (Saulino, 2014), en el sentido que ningún estudio ha incluido la presencia de estos grupos en los sistemas lénticos de tierras bajas, donde las fluctuaciones en el nivel del agua son drásticas y se caracterizan de manera diferente a otros sistemas lénticos. Temporalmente y espacialmente, los macroinvertebrados se distribuyen en rangos que difieren de los establecidos para los sistemas lóticos y lénticos en las montañas altas. (Helson and Williams, 2013), en su estudio

concluyó que Panamá los sitios rodeados por un bosque, se caracteriza por un grueso el tipo de sedimento y una baja conductividad tienen una mayor calidad de agua ecológica. Asimismo (Everaert, *et al.*, 2014), al investigar una buena calidad de agua se asoció con una alta velocidad de flujo, un tipo de sedimento grueso, uso menos intensivo de la tierra (bosque) y baja conductividad; donde este es la típica condición encontrada en áreas montañosas; en las muestras, varios taxones sensibles se asociaron con estas condiciones ambientales específicas, como Ptilodactylidae, Blepharoceridae y Perlidae (todas con puntaje de tolerancia 10); mientras que taxones tolerantes como Chironomidae y Ceratopogonidae (puntajes de tolerancia 2 y 3, respectivamente) estuvieron presentes en calidad de agua buena y mala; el tolerante taxa no mostró una fuerte asociación con condiciones ambientales específicas, como se muestra por sensibilidad taxa; sin embargo, la identificación de macroinvertebrados a nivel familiar y se tiene en cuenta las diferencias de sensibilidad entre, por ejemplo, Chironomidae clásico tres países tropicales (Ecuador, Etiopía y Vietnam). Ya Roldan anteriormente, indicaba que ciertos órdenes se caracterizan por colonizar diferentes tipos de sustratos como: roca, cieno, barro, hojarasca, macrófitas etc., los cuales les brindan las condiciones necesarias para incrementar tanto su diversidad como abundancia. De igual manera (Damanik-Ambarita *et al.*, 2016), sobre su investigación realizada en Ecuador, indica que los sitios de muestreo ubicados aguas arriba con menos influencia humana generalmente tenían una mejor calidad del agua en comparación con los sitios de muestreo ubicados en los lugares río abajo donde la influencia antropogénica era alta debido, por ejemplo, a las descargas de aguas residuales. Como era de esperar, los sitios ubicados en el bosque tenían una buena calidad de agua, mientras que los sitios ubicados alrededor de las áreas residenciales tenían una calidad del agua mala o muy mala; en general, los resultados de ambos índices en los sitios ubicados a una elevación inferior a 250 m siguen un comportamiento similar a los resultados de los sitios de muestreo completos (120 sitios). Las diferencias son evidentes a partir de los resultados de los sitios ubicados en la elevación superior a 250 m. muy en el embalse. Los sitios ubicados a una altura superior a 250 m. por esas razones siendo la cuenca del río Cumbaza un importante tributario mayor de las aguas que bajan del Cerro Escalera, su importancia sobre su calidad radica, contar con estudios respecto a la garantía de su sostenibilidad ambiental, por ello los macroinvertebrados listados en la parte de resultados, solo algunas familias pertenecientes al Orden Díptera, fisiológicamente pueden resistir grados de contaminación acuática, ya sea en aguas estancadas o de corriente, estos organismos considerados como buenos indicadores de aguas de baja calidad, que en el caso del río Cumbaza no se llegó a la categoría crítica

en la evaluación. Similar estudio encontraron (Carmona-Jiménez et al. 2017) en México en la investigación “Los últimos ríos periurbanos de la cuenca de México: establecimiento de las condiciones de referencia potenciales a través de su calidad ecológica e indicadores biológicos”, donde establece una línea de base preliminar de las posibles condiciones de referencia en los ríos de montaña, en particular para las latitudes tropicales dentro de la Cuenca de México, y su relación con los indicadores biológicos y el cambio ambiental antropogénico. Sin embargo, la extracción no regulada de agua in situ es la principal amenaza para la calidad ecológica de los ecosistemas acuáticos. Evaluación del impacto del cambio de uso de la tierra en el medio ambiente la calidad, y en particular en las comunidades acuáticas, requerirá estudios basados en el concepto del umbral ecológico. El presente trabajo intenta definir las posibles condiciones de referencia fluvial que pueden usarse como guía para evaluar cualquier cuerpo de agua en condiciones similares. El conjunto de condiciones que se presentan aquí debe considerarse al buscar acuerdos regionales para establecer políticas públicas dirigidas a evitar una mayor degradación de los últimos ríos periurbanos de la Cuenca de México y de la región boscosa en general en el continente.

La menor abundancia absoluta total encontrada fue en el mes de Mayo que corresponde Estación III (Bocatoma de Captación-Morales con 48 ind/hora de esfuerzo) y coincidentemente en esa misma estación de muestreo, también se tuvo una menor riqueza específica (Tabla 7). Mientras que en el mes de Octubre que corresponde la menor abundancia absoluta se encontró en la Estación I (Distrito de San Roque con 111 ind/hora de esfuerzo) de igual manera en esa misma estación de muestreo, se tuvo la menor riqueza específica (Tabla 11). Tanto en la Estación III (Mayo) y Estación I (Octubre) se debe a las diferentes perturbaciones ambientales de origen antrópico (actividades turísticas, agropastoriles y pecuarias; estas diferencias se reflejan notoriamente en las características del hábitat fluvial y la calidad del bosque de ribera que son afectadas, las cuales se corresponden con el gradiente de disminución de la calidad biológica, sus cambios en distintos atributos de la comunidad bentónica, como riqueza, composición, abundancia o densidad de individuos, además de ciertos efluentes de la ciudad tal es el caso de la Estación I (San Roque de Cumbaza) donde los efluentes de la comunidad van directamente al río Cumbaza y en el caso de la Estación III (Bocatoma de captación) todos los días hay afluencia de personas que depositan de alguna manera residuos sólidos sin control alguno, pero estas alteraciones que existen en la Cuenca del río Cumbaza todavía son muy mínimas. En ese



sentido para (Carmona-Jiménez *et al.* 2017), los conjuntos de macroinvertebrados y las comunidades de algas asociadas con las condiciones de referencia están quizás expuestos a una perturbación intermedia, lo que explicaría su coexistencia en los ríos de montaña de la Cuenca de México y potencialmente en ríos con características similares del Cinturón Volcánico Transmexicano. La presencia continua del flujo del río fue un factor determinante para mantener la diversidad biológica. De igual manera lo manifiesta (Barbour *et al.*, 2006), desde el punto de vista de la composición y diversidad de la fauna de los macroinvertebrados acuáticos puede mostrar una gran variabilidad en condiciones naturales y esto dependerá de las características físicas, climáticas y geomorfológicas en las cuales reside. De igual modo lo planteado por (Prat *et al.*, 2009), cuando se presentan perturbaciones extremas en un ecosistema acuático, sólo se encuentran microorganismos como bacterias, algas y ciliados. En el caso particular la cuenca del río Cumbaza según la investigación desarrollada, las estaciones estudiadas hay políticas de conservación, principalmente las cabeceras de los ríos, donde existen sendas ordenanzas nacionales, regionales y municipales, en las cuales la protección de las áreas de las cuencas son consideradas áreas protegidas y de conservación en todas la zona de amortiguamiento. En contraste con lo mencionado por (Maco, 2007), el río Cumbaza es del tipo de agua clara por presentar color cristalino de sus aguas lo que le permite presentar transparencia total, observándose a simple vista el fondo del cuerpo de agua, que generalmente es pedregoso, tiene muy bajos niveles de contenido de material en suspensión. En dichos cuerpos de agua se pueden registrar temperaturas del agua con rangos muy amplio, entre 22 a 32 °C. Son aguas muy oxigenadas y con altos niveles de saturación de oxígeno, los registros de pH varían entre neutro a ligeramente básico con bajos niveles de electrolitos los cuales se reflejan en los resultados de conductividad eléctrica tanto en el sector alto como en el sector medio del río Cumbaza. De igual manera (González, 2009), indica que la abundancia y asociación de macroinvertebrados a determinados sustratos, permite reconocer rangos de importancia ecológica fundamental, pues dan cuenta de las características del mismo, incluyendo su estructura física, disponibilidad de recursos, contenido orgánico, estabilidad y condiciones de hábitat, estos organismos ejercen funciones importantes en cuanto a la descomposición de la materia orgánica, actividad que genera cambios en las propiedades físicas y químicas del sistema. Por su parte (Fierro *et al.*, 2017), en un estudio realizado sobre los efectos del uso local de la tierra sobre la vegetación ribereña, la calidad del agua y la organización funcional de los conjuntos de macroinvertebrados, donde el cambio en el uso de la tierra es un factor principal que afecta la vegetación riparia y la biodiversidad fluvial; el cambio en el uso de la tierra se ha

intensificado drásticamente durante la última década, con bosques nativos convertidos en plantaciones forestales exóticas y tierras agrícolas. Sin embargo, los efectos de los mismos en los ecosistemas acuáticos no se conocen bien. Cerrar primero esta brecha de conocimiento requiere comprender cómo las perturbaciones humanas afectan a la biota ribereña y de arroyo. Los indicadores biológicos identificados podrían aplicarse para determinar la salud de los ecosistemas fluviales. Por lo tanto, este estudio investigó los efectos del cambio en el uso del suelo sobre la salud de los ecosistemas ribereños y acuáticos mediante la evaluación de la vegetación ribereña, la calidad del agua, los conjuntos de macroinvertebrados bentónicos y los grupos funcionales de alimentación; el estudio se desarrolló en áreas de captación con diferentes usos de la tierra (es decir, bosques vírgenes, bosques nativos, plantaciones forestales exóticas y tierras agrícolas) fueron seleccionados y muestreados durante las temporadas secas, la calidad de la vegetación ribereña fue más alta en los bosques prístinos; según el Índice biótico de la familia de macroinvertebrados modificado para especies chilenas, las mejores condiciones existían en los bosques nativos y las peores en las cuencas agrícolas. La calidad del agua y los ensamblajes de macroinvertebrados variaron significativamente entre las áreas de uso de la tierra, donde las plantaciones forestales y las tierras agrícolas tenían altas concentraciones de nutrientes, conductividad, sólidos suspendidos y color aparente, asimismo la diversidad de ensamblaje de macroinvertebrados fue la más baja para las cuencas de plantaciones forestales agrícolas y exóticas, en efecto los cambios antropogénicos en el uso de la tierra fueron detectables a través de la calidad riparia, la calidad del agua y los ensamblajes de macroinvertebrados, pero no a través de grupos funcionales de alimentación, en particular los parámetros de la vegetación de ribera y el ensamblaje de macroinvertebrados, podrían aplicarse a la conservación y gestión de los ecosistemas dentro de una cuenca hídrica a través de estudios de cambio de uso de la tierra para actividades primarias básicas. Por su parte (Hunke *et al.*, 2015), manifiesta que estudios en Sudamérica indican que las prácticas agrícolas se han intensificado en áreas de captación intermedias y más bajas, a menudo extendiéndose a las riberas de los ríos, donde la calidad del agua se ve afectada negativamente.

La estación que tuvo mayor diversidad y uniformidad de familias en el mes de Mayo fue la Estación II que corresponde a San Pedro de Cumbaza de la parte media de la cuenca ( $H' = 2,39681$ ) seguida de la Estación I San Roque de Cumbaza de la parte alta de la cuenca ( $H' = 2,37276$ ); mientras que la estación que tuvo mayor diversidad y uniformidad de familias en el mes de Octubre fue la Estación III Bocatoma de Cumbaza de la parte baja de la cuenca ( $H' = 2,15521$ ) seguida de la Estación II San Pedro de Cumbaza de la parte media de la

cuenca ( $H' = 2,07076$ ), respectivamente. Sin embargo en las estaciones referidas para el análisis de conservación que se presenta como propuesta tanto en el mes de Mayo (Otoño) y del mes de Octubre (Primavera), muestran similar índice de diversidad, existiendo pequeñas diferencias entre las composiciones taxonómicas más sensibles a la contaminación encontradas (Tablas 12), (Mayorga, 2017), en su estudio de investigación en Ecuador de tres zonas en los esteros “El Limón”, “La S” y “El Guayabo” del cantón El Empalme, el índice ecológico Shannon-Wiener muestra que los sitios estudiados presentan diferencias significativas en cuanto a la diversidad de las familias por estero, lo que no ocurre entre las variables meses y estero por mes; ya que, estas no muestran diferencias entre sí; así mismo la aplicación del índice ecológico Shannon-Wiener nos indica que el estero “El Limón” (bosque) presenta diferencias significativas de diversidad de individuos de familias de macroinvertebrados entre esteros, los sitios evaluados que se encuentran intervenidos La “S” y El “Guayabo” presentaron datos diferentes y niveles bajos de diversidad evidenciando la influencia que conlleva el inadecuado uso del suelo. De igual manera (Verdi, 2014), en Uruguay, en un estudio de diversidad de macroinvertebrados acuáticos, se aplicó el índice ecológico de Shannon, en cual sus valores variaron dando resultados negativos de diversidad de individuos esto se debía gracias a la deforestación y plantaciones agroforestales, estableciendo que el índice variaba debido a la intervención antropogénica obteniendo datos negativos en cuanto su aplicación. Cuando los valores del índice de diversidad son menores del 2,4 – 2,5 son indicativos de que el ecosistema se encuentra sometido a fuerte tensión antrópica según enfatiza ya desde años anteriores (Sneath & Sokal, 1973); tales como las familias Psephenidae, Baetidae, Pyralidae, que han sido exclusivas en la Estación I, localizadas en la parte alta de la cuenca; mientras que las familias Aeshnidae, Gomphidae exclusivas de la Estación II, localizadas en la parte media de la cuenca del río Cumbaza respectivamente, las familias de macroinvertebrados encontradas en ambas estaciones son indicadores de buena calidad del agua, al tener puntajes significativos según el índice biótico BMWP de la Tabla 1, la mayor o menor puntuación asignada a un taxón está en función de su mayor o menor sensibilidad a la contaminación orgánica y al déficit de oxígeno en los ríos (Roldan, 2003); asimismo (Moreno 2001), manifiesta al respecto que un alto grado de variación ambiental lleva a un aumento de la diversidad de taxones o la complejidad funcional, como consecuencia de las variaciones en los patrones espaciales y longitudinales, la composición de macroinvertebrados puede ser diferente en las cabeceras en comparación a la corriente media; una comunidad natural se caracteriza por tener una alta diversidad o riqueza y un bajo número de individuos por especie; por el contrario, una

comunidad bajo la presión de la contaminación, se caracteriza por poseer un bajo número de especies, pero muchos individuos por especie, esto lo provocan también condiciones naturales extremas, donde la diversidad de la comunidad se toma como una medida de la calidad del agua del río, también debe tenerse en cuenta que las condiciones temporales del medio influyen en este comportamiento, en época lluviosa se obtuvo menor diversidad de taxones respecto a lo encontrado en época de primavera, argumentando el hecho de que el aumento de caudal o lámina de agua produce una mayor distribución espacial de especies lo que limita la abundancia o diversidad de las mismas.

Sin embargo analizando los dos periodos de muestreo, en el mes de Mayo en la Estación III (Bocatoma de captación) se tuvo la menor abundancia y un bajo índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H' = 1,78021$ ), esto puede deberse a que esta estación está categorizada como balneario y es muy concurrido por la población y esta presencia antrópica podría alterar las condiciones de calidad del agua. En el mes de Octubre en la Estación I (San Roque de Cumbaza), se tuvo la menor abundancia y un bajo índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H' = 1,71241$ ), probablemente tal como plantea (Alonso, 2015), esta se deba a una reducción de la vegetación ribereña por actividades antrópicas como ganadería y agricultura, por lo que se presenta una reducción de la diversidad biológica; a nivel de riqueza no existen diferencias ambientales marcadas para los dos periodos de muestreo efectuados en la cuenca del río Cumbaza, puesto que las variaciones en la diversidad para ambas épocas no son el reflejo de la riqueza de macroinvertebrados, sino que dependen de la heterogeneidad y la abundancia de los organismos, (Oscóz , *et al.*, 2006), indica que tal factor aumenta la concentración de materia orgánica, a su vez, la abundancia de algunos taxones, especialmente los Naucoridae, Perlidae, Psephenidae y Leptophlebiidae que son las familias más sensibles a la contaminación, encontrándose en las tres estaciones de muestreo. De igual modo (Fierro *et al*, 2017), indica que el cambio en el uso de la tierra de los bosques nativos a plantaciones forestales exóticas es responsable de las modificaciones de la composición taxonómica de los conjuntos de macroinvertebrados, con una mayor riqueza de especies y abundancias en las cuencas forestales nativas frente a las cuencas de plantaciones forestales exóticas; y corrobora que los impactos del cambio en el uso del suelo en conjuntos de invertebrados de macrófagos, con diferencias significativas encontradas en la composición taxonómica y la riqueza de especies entre los sitios evaluados. Las corrientes en el bosque prístino tenían mayor biodiversidad de invertebrados que las del bosque nativo; a su vez, la diversidad de macroinvertebrados fue mayor en las corrientes forestales nativas

que en arroyos de plantaciones forestales exóticas, y arroyos agrícolas tenían los niveles más bajos de biodiversidad, tal como indica (Orlinskiy et al., 2015), una consecuencia de los cambios en la vegetación ripariana es la pérdida de hábitat diversidad, con ríos en cuencas agrícolas que carecen de refugios de macroinvertebrados. Por su parte (Portilla, 2015), manifiesta que la diversidad de macroinvertebrados bentónicos en los ríos urbanos se encuentran influenciados por las fuentes de contaminación puntuales y difusas asociados a la urbanización, actividades agrícolas e industriales, lo que simplifica su estructura, repercutiendo en menor riqueza y diversidad de familias. En consecuencia (Wilhm y Dorris, 2016), indica que la diversidad de macroinvertebrados acuáticos registrado con valores con rangos entre uno a tres, son característicos de medios acuáticos moderadamente contaminados. En cuanto a la calificación de la calidad del agua en cada estación de muestreo realizado, podemos indicar que se ha obtenido diferente comportamiento en ambos periodos de evaluación (Mayo y Octubre de 2015); en el mes de Mayo la Estación III (Bocatoma de captación - Morales) tenía una calidad dudosa con aguas ligeramente contaminadas según la calificación, mientras que las Estaciones I (San Roque de Cumbaza) y Estación II (San Pedro de Cumbaza) tienen una calidad aceptable con aguas ligeramente contaminadas, con evidencias de efectos de contaminación. (Tabla 10). En el mes de Octubre la Estación I (San Roque) tenía una calidad dudosa con aguas ligeramente contaminadas según la calificación, mientras que las Estaciones II (San Pedro) y Estación III (Bocatoma de captación) tienen una calidad aceptable con aguas ligeramente contaminadas, con evidencias de efectos de contaminación (Tabla 14); según este estudio los índices BMWP mide la calidad de agua, mediante la presencia o ausencia de familias de macroinvertebrados, Alba-Tercedor, 1996 sugiere el índice BMWP es posible obtener puntuaciones para comparar situaciones entre estaciones, este índice nos permite emitir juicios sobre la situación de la calidad del agua; sin embargo investigadores como Quinn & Hickey, 1990, Roldán, 1999 y Domínguez & Fernández, 2009, se refieren a la influencia de los factores fisicoquímicos sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la cual enfatizan que la velocidad de la corriente, la temperatura del agua y la disponibilidad de oxígeno son factores determinantes en la distribución de estos organismos, en la investigación se encontró que el valor más alto de temperatura se presentó en la Estación I en el mes de Octubre (26,5°C) y la más baja en la Estación III (24°C) en el mes de Mayo, esta a su vez fue la que obtuvo menor riqueza y abundancia de macroinvertebrados; además (Rivera, 2004), manifiesta que la concentración de oxígeno generalmente es alta en ríos andinos y de montaña, por lo que éste no suele ser un factor limitante para las comunidades

acuáticas; según este estudio, las zonas de la cuenca en la parte alta del río Cumbaza que está en áreas protegidas y provistas de vegetación ribereña presentan mejor estado de calidad del agua que las zonas sin vegetación, sin embargo, es necesario avanzar en investigaciones que busquen analizar la influencia del bosque ribereños como amortiguador de impactos de la ganadería y agricultura en la región y otras actividades antrópicas como el turismo.

Sobre los macroinvertebrados que son sensibles a la contaminación, en ambos periodos de evaluación (Mayo y Octubre de 2015), fueron encontrados los órdenes Plecoptera, Díptera, Ephemeroptera, Odonata, Trichoptera, los que presentan mayor puntuación de calificación de calidad de su índice BMWP, siendo los demás órdenes de menor sensibilidad pero que dan evidencias que todavía el agua del río Cumbaza es de aceptable calidad, por lo que en las tres estaciones muestreadas, los resultados de las tasas de macroinvertebrados colectadas adaptadas según al BMWP/Col, de la Tabla 1, tienen una puntuación de familias sensibles a la contaminación, lo que se puede visionar que el agua del río Cumbaza tiene aptitudes para ser utilizado en regadío de áreas de producción agrícola; similares resultados encontró (Mayorga, 2017) en Ecuador, donde investigó tres zonas para el estudio de la calidad del agua y macroinvertebrados acuáticos realizado en los esteros “El Limón”, “La S” y “El Guayabo” del cantón El Empalme, donde aplicó una evaluación a los sustratos y microhábitat donde fueron encontradas cada una de las familias de los macroinvertebrados en función del uso de suelo. En el estero el “Limón” (bosque) el sustrato es mucho más diverso, la familia *Leptohyphidae* de la orden Ephemeroptera en los cuatros meses de monitoreo se la encontró en troncos y hojarascas siendo uno de las más representativas y con mayor abundancia, por otro lado, el microhábitat estuvo caracterizado por corrientes lentas y rápidas. En el estero La “S” (Palma africana), el sustrato que predominó fueron hojarascas, la familia *Baetidae* de la Orden Ephemeroptera es la más representativa en los cuatros meses de estudio, el microhábitat del lugar se caracterizó por corrientes lentas. Por otro lado, el estero “El Guayabo”, presentó en cuanto a sustratos evaluados que el más representativo siguen siendo las hojarascas, en este caso el macroinvertebrado que fue encontrado en este sustrato es la familia *Libellulidae* perteneciente a la orden Odonata, en este sitio el microhábitat varió a diferencias de los anteriores reflejando presencia de pozas, esto se debe al escaso fluido de curso de agua en ciertos tramos creando pozas y estanques, esta clase de macroinvertebrados se encuentran en aguas oligotrófica o contaminadas por sustancias utilizadas en los cultivos, entre otros factores, que pueden producir eutrofización, disminución de la calidad de agua y afectar el desarrollo de la vida acuática. Por su parte

(Torres, 2104), en Colombia realizó una evaluación de sustratos y microhábitat similares a este estudio, en las quebradas de las islas de Providencia en el 2014, dentro de los sustratos identificados las “hojarascas” eran las más representativas en los sitios, en este sustrato se halló mayor cantidad de macroinvertebrados, gracias a las condiciones existentes en los sitios, que presentaban presencia de vegetación cercana a las riberas, en cuanto al estudio del microhábitat se caracterizaba por corrientes rápidas, autores anteriores también argumentan según indican (García-Criado *et al*, 1999); (Ribera *et al*, 2002) y (Sánchez – Fernández *et al*, 2007), que entre los grupos más sensibles a las alteraciones del ecosistema están las larvas acuáticas de los insectos pertenecientes a los órdenes Plecoptera, Díptera, Ephemeroptera, Odonata, Trichoptera. La presencia de la familia Tipulidae en la Estación I (San Roque de Cumbaza), en el mes de Mayo, se debió al cierto grado de contaminación por presencia antrópica en el distrito, especialmente los residuos orgánicos de la ciudad van directamente al río; (Roldán, 1988), indica que esta familia se caracteriza por estar presente en aguas con cierto grado de contaminación, las larvas se caracterizan por una excrecencia carnosa radiante que les rodea el lomo externo, la mayoría viven en medios húmedos, desde el barro, arena y hasta el humus de bosques y praderas; además esta familia tiene la menor puntuación asignada a un taxón dentro de la investigación y está en función de su menor sensibilidad a la contaminación orgánica y al déficit de oxígeno en los ríos. En el mes de Octubre en la Estación II (San Pedro de Cumbaza), considerada como balneario y muy visitado por sus aguas para la recreación, se determinó la presencia de la familia Thiaridae, esta familia pertenece al grupo llamado tolerantes, adaptados a condiciones de calidad de agua deficiente, los cuales generalmente se desarrollan en medios con abundante materia orgánica y condiciones de bajos niveles de oxígeno disuelto, (Merritt & Cummins, 1996), sobre el respecto menciona que a pesar de las diferencias en la integridad ecológica de las estaciones, estas posiblemente presentan una disponibilidad de mesohábitats suficiente para la permanencia de los diferentes grupos tróficos, y puede explicarse porque los macroinvertebrados presentan flexibilidad en su modo de alimentación para todos los macroinvertebrados e insectos acuáticos. De igual manera (Forero *et al.*, 2014), indica que en Colombia se determinaron valores similares de calidad de agua que se registró en la quebrada La Marinilla influenciada por uso de suelo agrícola industrial, de la cuenca del río Negro, con una calidad “Dudosa”. En el mismo sentido (Portilla, 2015), manifiesta que identificó en estaciones de muestreo (zona urbana) de la quebrada Cascajosa, valores “Aceptables” de calidad de agua, también (Damanik- Ambarita *et al.* (2016), reporta que obtuvieron valores de calidad de agua “críticos” a “muy críticos” en sitios de monitoreo

cercanos a áreas urbanizadas. Así mismo (Restrepo, 2013), manifiesta que en el Río Frío de Colombia el índice BMWP-Col tuvo calificación “Muy crítico” por estaciones de muestreo influenciados con efluentes de aguas residuales, que evidencia el impacto del crecimiento urbano sobre los cuerpos de agua que circulan y fluyen en las ciudades. Finalmente es importante resaltar los cambios en la calidad ecológica del agua que se dan en el paso del recurso hídrico de la cuenca del río Cumbaza, siendo prácticamente todas las estaciones evaluadas zonas protegidas en forma parcial, pues si bien las estaciones evaluadas en la zona baja E-III (Bocatoma, mes de Mayo) y la zona alta E-I (San Roque de Cumbaza, mes de octubre), registraron aguas moderadamente contaminadas con calificación dudosa, mientras que en la zona alta E-I (San Roque de Cumbaza, mes de mayo) y en la zona media E-II (San Pedro de Pedro de Cumbaza, mes de mayo); así también en la zona media E-II (San Pedro de Cumbaza, mes de octubre) y en la zona baja E-III (Bocotama, mes de octubre), registraron aguas ligeramente contaminadas con calificación aceptable; de ahí la importancia del monitoreo de nuestros recursos hídricos en forma rápida y de bajo costo con la identificación de familias de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de las aguas; como manifiesta (Toro et al, 2013), que los ríos de montaña se caracterizan por ser de aguas muy transparentes y bien oxigenadas, en estos se espera encontrar poblaciones dominantes de Plechoptera, Trichoptera y Ephemeroptera y en menor proporción otros grupos. Este hecho también explica la semejanza obtenida entre las tres estaciones evaluadas y que mejor si las fuentes están en áreas protegidas, lo que se demostraría que los servicios ambientales que puede prestar este tipo de áreas para la protección del recurso, al estar por zonas de conservación con menos alteraciones antrópicas y mayor cobertura vegetal, el agua siempre va a mostrar una mejoría en su calidad, a tal punto que se encontró en su mayoría macroinvertebrados de las ordenes plecótera, hemiptera, ephereroptera, megaloptera thichoptera, díptera y más, que agrupan a familias que presentan puntaje más altos para el índice BMWP/col, que equivale a biondicadores muy sensibles a cualquier contaminación de la cuenca.

#### **4.2.2. Sobre los principales parámetros fisicoquímico del agua del río Cumbaza**

Los resultados de los elementos físicoquímicos de las estaciones de muestreo estudiados en la cuenca del río Cumbaza en el año 2015, el pH, los cloruros, los nitratos, el aluminio, el fierro, los sulfatos, el oxígeno disuelto, el manganeso y la conductividad, están en valores aceptables respecto a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) que establece



el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM mostrado en el Anexo 2, por lo que las aguas de la cuenca del río Cumbaza es poco probable que tenga riesgo de contaminación en caso de mitigar los problemas ambientales en forma permanente, tal como reporta (Roldan, 1988), que los parámetros físicoquímicos a los cuales son más sensibles los organismos a menudo el pH, el caudal, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la temperatura. Para (Castellanos *et al.*, 2017), los sistemas lénticos se caracteriza por tener altos valores de conductividad, ya que las sales de carbonato de calcio y magnesio se lixivian desde los suelos al agua por escorrentía y corrientes temporales, que describen un gradiente que aumenta en toda una cuenca; además de una alta concentración de sulfatos, así como la transparencia podría ser causada por la población de fitoplancton que produce y exige oxígeno. Asimismo (Gerth *et al.*, 2017) y (Stefanidis *et al.*, 2015), manifiestan que los ríos que drenan las cuencas agrícolas se caracterizan por altos niveles de conductividad, nutrientes y sólidos en suspensión. Por su parte (Fierro *et al.*, 2017), manifiesta que en investigaciones previas encontraron estas asociaciones en las cuencas de plantaciones forestales exóticas actualmente evaluadas; y que además los ríos que drenan las cuencas agrícolas tenían temperaturas del agua más altas que otros usos de la tierra, probablemente como resultado de una escasa cobertura vegetativa, las temperaturas del agua registradas no eran excesivamente más altas que las otras cuencas evaluadas. A pesar de que los sitios agrícolas tenían valores bajos de índice de calidad de bosque (QBR), la presencia de vegetación ribereña, y la participación asociada, probablemente explicarían el mantenimiento de un valor razonable. (Gerth *et al.*, 2017), estableció además que la alta conductividad, los nutrientes y los valores de sólidos en suspensión se asociaron con tierras agrícolas y plantaciones forestales exóticas, lo que indica que estos dos tipos de uso de la tierra pueden afectar negativamente la calidad físico-química del agua, otra característica de los ríos en cuencas agrícolas es la temperatura del agua comparativamente elevada. Asimismo la buena calidad de las aguas de montaña también se aprecia en la conductividad, puesto que los bajos valores indican aguas pobremente mineralizadas que incrementan levemente aguas abajo. Por su parte (AENOR, 1997), indica que las aguas con pH anormal pueden crear desequilibrios de nutrición o contener iones tóxicos que alterarían el crecimiento normal de las plantas; de igual manera concentraciones elevadas de cloruro en el agua de riego pueden producir problemas de toxicidad en los cultivos; en cuanto a los nitratos, los cultivos sensibles resultan afectados por concentraciones de nitrógeno superiores a 5 mg/l, mientras que la mayor parte de los otros cultivos no son afectados hasta que las concentraciones exceden de 30 mg/l; en cuanto al oxígeno disuelto el agua del río

Cumbaza no presenta estrés alguno ya que los valores de los resultados reportan valores muy superiores al mínimo exigido por la norma, hay que indicar que el oxígeno que esta disuelto en el agua se logra por la aireación y como producto de desecho de la fotosíntesis. La solubilidad del oxígeno en agua depende, además de su presión parcial, de la temperatura. La concentración de oxígeno disuelto en las aguas naturales es crucial para los animales acuáticos que lo utilizan en la respiración. Los valores de oxígeno disuelto es un gas que depende de las características del cauce, la turbulencia del agua y los procesos químicos y biológicos e influye en la riqueza y los patrones de distribución de las familias de macroinvertebrados (Guerrero-Bolaño *et al.*, 2004). En cuanto a los elementos aluminio, hierro, sulfatos y manganeso no se ha reportado valor alguno, indicando que los riesgos son cero en cuanto a su presencia en la cuenca, respecto a la conductividad, ésta dentro del valor aceptable y muy por debajo del valor indicado por el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, Anexo 2. Considerando que el caudal del río Cumbaza, es el parámetro más fluctuante en ambos periodos de evaluación (Mayo y Octubre del 2015), y teniendo en cuenta los datos del SENAMHI (2015), que reporta datos de caudal en el mes de Mayo 2015 un valor de 8,056 m<sup>3</sup>/seg, y en el mes de Octubre 2015 un valor de 0,52 m<sup>3</sup>/seg, Figura 9, además tomando como información importante lo manifestado por (Álvarez, 2007), que las variaciones de las condiciones de caudal en el medio acuático afecta a la distribución de los macroinvertebrados de forma directa, seleccionando taxones con diferentes requerimientos de caudal, e indirecta, alterando otras características del hábitat físico que a su vez también influyen en la distribución de los macroinvertebrados, como son la composición del sustrato o la distribución de los recursos tróficos, asimismo la frecuencia y magnitud de las perturbaciones ocasionadas por eventos extremos en el caudal puede considerarse como los elementos clave del régimen hidrológico a la hora de gobernar los cambios estacionales en las comunidades fluviales. El río Cumbaza al estar protegido por las normas regionales y nacionales, mediante ordenanzas sobre zonas protegidas, de amortiguamiento hace que el caudal todavía mantendrá las condiciones adecuadas para la vida acuática y la calidad del agua según los resultados biológicos y físicoquímicos lo demuestran que es apto para ser utilizado en riego para la agricultura, las perturbaciones antrópicas se podría decir que todavía es leve, teniendo en cuenta que a nivel curricular el Ministerio de Educación y el Ministerio del Ambiente, han insertado en las curriculas educativas el componente del cuidado, conservación y preservación del ambiente.

#### **4.2.3. Correlación entre la valoración del índice biológico (BMWP) con los principales parámetros de calidad fisicoquímica del agua para riego, mediante Pearson**

Las correlaciones encontradas entre el grupo de macroinvertebrados y algunas variables físico-químicas pueden sugerir que estas últimas influyen en la presencia de algunos grupos funcionales, determinando la estructura de la comunidad; un rango alto de tolerancia a este tipo de ambientes. En la Tabla 18, la correlación entre el índice biológico o clasificación de calidad del agua (BMWP) y los parámetros fisicoquímicos; tenemos con el parámetro de la Temperatura nos reporta una correlación positiva cuyo valor es de 0.119909 lo cual representa una correlación directa moderadamente débil, el mismo que puede apreciar también en la Figura 11; indicando además que tanto biológica y fisicoquímicamente el agua de la cuenca del río Cumbaza están dentro de calidad aceptable y con bajos niveles de contaminación, y también estar por debajo del valor permisibles según el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, todos los parámetros fisicoquímicos, y que por ser agua limpia hay la seguridad que las familias de las órdenes de macroinvertebrados con mayor abundancia y riqueza específica serán aquellas que son sensibles a la contaminación como las Plecoptera, Díptera, Ephemeroptera, Odonata, Trichoptera; lo que corrobora (Roldan, 1992), que indica a medida que la temperatura aumenta, aumentan también sus reacciones enzimáticas y las tasas de reproducción. En cuanto a los resultados entre el índice biológico o clasificación de calidad del agua (BMWP) y los parámetros fisicoquímicos, todas las correlaciones entre cada uno de las variables resultaron con valores negativos moderadamente fuerte y débil e inversa, tal como se indican en la Tabla 18, el potencial de hidrógeno pH (-0,562954); Cloruro (mg/L) (-0,451835); Nitratos (mg/L) (-0,393968); Oxígeno disuelto (mg/L) (-0,42110) y la Conductividad (uS/cm) (-0,130003).

La correlación inversa de los BMWP y el pH, Tabla 18 (-0,562954) y la Figura 12, manifiesta que pH cercanos a la neutralidad son los que presentan mayor calidad de agua en las estaciones I y II estudiadas en el mes de Mayo, esto se ha debido en que después de las lluvias se pasó a la estación de otoño, por lo que las aguas de toda la cuenca estaban limpias y con pocos sedimentos y presión antrópica, según manifiesta (Roldán, 1992), en que la mayoría de los ecosistemas acuáticos naturales el pH oscila entre 5,0 y 9,0, y aunque se encuentren microorganismos en hábitat dentro de límites muy amplios de pH, su pH interior se conserva alrededor del punto neutro, y más en aguas con velocidad de escorrentía si es continua; lo que se corrobora que la cuenca del río Cumbaza, la escorrentía mantiene el

caudal siempre con presencia de aguas ligeramente limpias y con algunos signos de contaminación, pero con posibilidades de conservación gubernamental mediante ordenanzas municipales, regionales y el apoyo de la población para su cuidado. Las demás correlaciones también son inversa entre el BMWP, Tabla 18 y Figuras 13; 14; 15 y 16, siendo todos los resultados de los parámetros fisicoquímicos aceptables al compararlos con los valores de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM Anexo 2, se puede decir que ante bajos contenidos de cloruros, sulfatos nitratos, es poco probable que la contaminación de la cuenca del río Cumbaza se vea afectado al menos en el mediano plazo, (Roldán, 2003), los elementos con presencia de nitratos, sulfatos y cloruros, en muchos casos proceden de la descomposición de la materia orgánica y escorrentía en caso del cloruro, que pueden ser tomados por la mayoría de plantas y algas en forma de nitrato, constituyéndose éstas en una fuente de alimento para los macroinvertebrados, para luego ser asimilado por el fitoplancton y las plantas acuáticas, éstas, a su vez, son tomadas por los peces y algunos grupos funcionales de macroinvertebrados como los raspadores-colectores presentes en una cuenca, además aguas con alta conductividad representan una limitante osmótico para la mayoría de las especies, excepto las eurihalinas aquellos seres acuáticos que son capaces de vivir en un amplio rango de concentración de sales sin que se vea afectado su metabolismo. Por su parte (Andrews et al, 1995), indica que los ríos naturalmente son contaminados por nutrientes y sedimentos que son los contaminantes más comunes, éstos son llevados por medio de la escorrentía. A ello contribuye el hombre que desde siempre ha volcado sus desechos en los cuerpos de agua. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura, afirma que las prácticas de uso de la tierra son otra causa de la contaminación que pueden tener importantes impactos en la calidad del agua. Los impactos incluyen cambios en la carga de sedimentos y en las concentraciones de sales, metales, productos agroquímicos, agentes patógenos y un cambio en el régimen térmico. (Gutierrez, et al, 2016), indica que las variables fisicoquímicas a las que los macroinvertebrados tienden a ser más sensibles son el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto y la temperatura; por esta razón, la conductividad y el pH son dos de las medidas que más aportan acerca de la estructura y funcionamiento del ecosistema acuático.

Al realizar el análisis estadístico mediante el Programa SASV9.1, entre mayo y octubre de los iBMWP con los periodos de muestreo y las estaciones de muestreo respectivamente, se obtuvo que tienen diferencias significativas, según el análisis de varianza realizado, esto es debida fundamentalmente en los taxones característicos de aguas de cabecera (Perlidae,

Helicopsychidae, Leptophlebiidae, Calopterygidae, Psephenidae y otros) y que las condiciones ambientales de los periodos de muestreo y de las estaciones, no son los mismos, como el caudal del agua, lluvias, actividades antrópicas etc, y además los juicios de calidad elaborados con el IBMWP son independientes de la estacionalidad, hecho que sugiere la simplificación de los muestreos; en nuestro caso, en dos muestreos se obtuvo una riqueza específica de 56 taxas, con la que se elaboró un juicio de calidad del río Cumbaza, (Medina et al. 2008), sugiere que, para el caso de los muestreos en el río Chicama, el mejor período de evaluación debería ser considerado entre invierno y primavera (junio-diciembre), por ello nuestra evaluación fue ejecutada entre agosto y octubre del 2008, ya que el período comprendido en verano, resulta muy dificultoso obtener muestras biológicas y elaborar juicios de calidad, debido a los elevados caudales naturales que se presentan y que convendría tener presente para la evaluación de los ríos que desembocan en el pacifico norte del Perú. En el presente trabajo se consideró la estación de otoño y de la primavera, estaciones que ha permitido evaluar adecuadamente debido a la disminución de las lluvias y en la que el río presentaba afluencia hacia sus riberas. En ese sentido (Chovarec *et al.*, 2015), una localidad de referencia se define como el estado que ha existido antes de las perturbaciones humanas que hayan alterado de manera significativa las características naturales de un río y que la mayor parte de los segmentos de la cuenca hidrológica de los ríos están afectados por perturbaciones humanas de diferente tipo, hecho que dificulta encontrar estaciones de referencia en la zona de estudio y poder discriminar las clases de la calidad biológica. Sin embargo, analizando la figuras 17 respecto a los valores medios de los BMWP en diferentes periodos de muestreo, podemos observar que la mayor cantidad de macroinvertebrados encontrados se concentra en el mes de mayo; mientras que en la Figura 18 respecto a los valores medios de los BMWP en diferentes estaciones de muestreo, podemos observar que la mayor concentración de macroinvertebrados se concentran en la estación de muestreo de la E-I que corresponde a San Roque de Cumbaza, bajando la concentración de bioindicadores acorde va bajando la esconrentía aguas abajo según los valores medios encontrados.

**Propuesta 1:****Plan de manejo para la conservación de las aguas de la cuenca del río Cumbaza****Introducción**

Partiendo desde la problemática identificada en la investigación, en el mes de mayo la calidad del agua en la Estación de muestreo III (Bocatoma de captación), según la aplicación del Índice BMWP resultó con contaminación moderada con calificación de dudosa Ver Tabla 10, de igual modo en el mes de octubre la calidad del agua en la Estación de muestreo I (San Roque de Cumbaza), según la aplicación del Índice BMWP resultó con contaminación moderada con calificación de dudosa ver Tabla 14, en base a ello esas zonas ribereñas de río Cumbaza, deben ser protegidas y conservadas, para lo cual se procede a la elaboración del plan de manejo para el monitoreo, conservación y recuperación de nuestra importante fuente hídrica que tenemos como proveedor de agua, tanto para la agricultura y el consumo humano.

El plan de manejo para el monitoreo, conservación y recuperación, para la mitigación de impactos negativos generados en la cuenca del río por actividades antrópicas, se vuelve una herramienta idónea de gestión que busca solucionar, corregir, mitigar los posibles problemas de contaminación desarrollados en una zona determinada de estudio.

La propuesta del plan se acoge a la política ambiental establecida en nuestra Constitución y leyes ambientales, normas y derechos del buen vivir y a la protección de los recursos naturales, los cuales exigen el derecho a vivir en un ambiente sano, y ayudan a generar programas que garanticen el cuidado y protección de los ecosistemas.

La importancia de la elaboración de esta propuesta radica en el sentido de monitorear, conservar y recuperar las riberas del río Cumbaza, que hoy en día cobra importancia en los diferentes entes gubernamentales y no gubernamentales, los cuales presentan intervención por actividades agrícolas y de recreación que se desarrollan alrededor de la cuenca, evidenciando mediante la aplicación de los índices biológicos y ecológicos la situación actual del río, la utilización de los índices biológicos, determinan que los ríos y la calidad del agua de los mismos, presentan alteración en su estado ecológico de manera significativa. La Propuesta del plan se plantea en la Tabla 20.

**Tabla 20*****Propuesta del plan de manejo para la conservación de la cuenca de río Cumbaza***

Las actividades o programas planteados en el plan de manejo se basan en el análisis de los resultados generados de la investigación y están destinados a las autoridades de los gobiernos locales y a la población asentada en el sector de las riberas del río Cumbaza, con el objetivo de minimizar los efectos generados por las actividades antrópicas.

<b>Actividades o programas</b>	<b>Medidas propuestas</b>	<b>Responsable</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Medidas de verificación</b>	<b>Plazo (Tiempo)</b>
Reforestación de las riberas del río	Reforestar las áreas degradadas de las riberas del río Cumbaza	MINAGRI, GORESAM, Gobierno local.	N° de Has reforestadas de zonas ribereñas según normativa forestal vigente.	N° de reuniones con los actores involucrados. N° de acuerdos.	1 año
	Incluir como mínimo 5 especies nativas en la zona de reforestación	MINAGRI, Gobierno provincial y gobierno local.		N° de visitas al campo. N° de especies reforestadas.	1 año
Manejo de recursos naturales	Monitoreo de la calidad del agua del río Cumbaza.	MINAGRI, MINAM, GORESAM, Gobiernos locales	N° de biomonitoreo en la cuenca del río Cumbaza.	N°. de visitas al campo N°. de registros de análisis biológico realizados. N° de participantes. Registro fotográfico.	1 año
	Implementación de un sistema integral de manejo y disposición final de los residuos de las localidades de las riberas, agrícolas y el turismo generados en la cuenca.	MINAGRI, GORESAM, Gobierno local. Universidades y otros entes académicos.	Sistema integral de Tratamiento de los residuos en general en el río Cumbaza intervenidos.	N°. de visitas al campo N°. de registros de recolección de los desechos N° de participantes. Registro fotográfico.	1 año
	Ordenanza o normativa de Prohibición para construcción de otras represas o embalses en la	GORESAM, Gobiernos locales.	Prohibición de construcción de represas en la cuenca de la parte alta del río Cumbaza.	N°. de Acuerdos establecidos. N°. de reuniones. N°. de actas.	1 año

	parte alta del río Cumbaza.				
	Establecer áreas protegidas específicas de acuerdo a Ley en la cuenca.	MINAGRI, MINAM, GORESAM, Gobiernos locales.	N° de áreas de riberas protegidas para la cuenca. N° de áreas de riberas intervenidas por actividades antrópicas y agrícolas.	N°. de Acuerdos establecidos. N°. de visitas al campo N°. de mapas generados. Registro fotográfico	1 año
Desarrollo comunitario y educación ambiental	Capacitar a los agricultores, visitantes sobre el cuidado adecuado del agua.	GORESAM, Gobiernos locales, Universidades.	N° de agricultores capacitados y visitantes sensibilizados sobre la cuenca.	N°. de informes de charlas de capacitación. Registro de asistencia. Registro fotográfico.	1 año
	Generar campañas de reforestación con la población asentadas en la ribera del río con la colaboración de instituciones académicas.	GORESAM, Gobiernos locales, Instituciones Locales, Universidades y otros.	N° de campañas ambientales en la zona, población involucrada.	N°. de charlas dictadas. Informe de registro de participantes. Elaboración de folletos Registro fotográfico.	1 año
	Instalar letreros de incentivo para la conservación de la biodiversidad.	GORESAMM, Gobiernos locales. Instituciones Educativas, Universidades.	N° de letreros establecidos en la cuenca.	N° de letreros colocados	1 año
	Elaborar cartas de compromisos entre los involucrados en conservar la cuenca.	GORESAMM, Gobiernos locales; organizaciones sociales de base.	N° de cartas de compromiso de tareas específicas e insertar en el POA.	N° de cartas de compromiso ejecutadas.	1 año

Fuente: Elaboración propia



### **Difusión de la propuesta de plan de manejo**

Mediante este estudio de calidad de agua mediante la identificación de los macroinvertebrados se evidenció que el río Cumbaza refleja signos de alteración a su estado natural por actividades antrópicas, en la investigación se propone aplicar un plan de manejo de recuperación y conservación para la cuenca que se encuentra amenazado su conservación; de igual manera un Programa de Reforestación, Programa de Manejo de Recursos Naturales y Programa de educación ambiental, todo esto con el objetivo de mejorar la calidad del ecosistema, donde se necesita de la participación de varios actores sociales sean públicas, privadas o personas naturales, con el objetivo de llevar a cabo lo planteado en el Plan de Manejo.

### **Involucrados**

- Ministerio del Ambiente
- Ministerios de Agricultura y Riego
- Gobierno Regional de San Martín
- Gobiernos provinciales y distritales
- Universidades de la jurisdicción (Públicas y privadas)
- Unidades Educativas locales.

### **Medios de difusión**

La estrategia de la comunicación y difusión encierra tanto la propagación y comunicación a los beneficiarios directos como a los grupos de receptores indirectos, se plantean herramientas de comunicación a continuación:

- Seminarios de difusión
- Anuncio por medios de comunicación locales (radio y televisión)
- Anuncio en sitios web
- Talleres comunitarios
- Folletos divulgativos
- Trípticos, etc.

## Propuesta 2:

### Propuesta de la investigación para el monitoreo de la calidad de agua del río Cumbaza

Como se sabe que los macroinvertebrados bioindicadores de la calidad del agua, y habiendo tenido en la investigación como objetivo determinar las familias bioindicadoras de la calidad de agua del río Cumbaza, y sus valores de tolerancia a la contaminación, aplicando el índice BMWP/Col, al cual llegamos a un índice biológico BMWP, por la fiabilidad de los resultados obtenidos, la rapidez de su obtención y la facilidad de su utilización, la convierte en una magnífica herramienta para determinar la calidad de los cuerpos de aguas corrientes en la región San Martín, específicamente del río Cumbaza, con un importante ahorro tanto económico como de tiempo; por lo cual se plantea la metodología propuesta en esta investigación para el cálculo del índice BMWP, para otras fuentes hídricas, los puntaje obtenidos son mostrados en la Tabla 21; hay que indicar que todas las familias identificadas son sensibles a la contaminación y la polución en el agua.

**Tabla 21**

*Índice biológico BMWP obtenido en la investigación para la cuenca del río Cumbaza /San Martín/Perú*




Familias de macroinvertebrados identificadas	Puntajes
<i>Perlidae, Psephenidae</i>	10
<i>Euthyplociidae, Gomphidae, Leptophlebiidae</i>	9
<i>Naucoridae</i>	8
<i>Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Hydropsychidae, Pyralidae, Veliidae</i>	7
<i>Aeshnidae, Ampullariidae, Corydalidae, Elmidae</i>	6
<i>Libellulidae, Mesoveliidae, Thiaridae</i>	5
<i>Belostomatidae</i>	4
<i>Tupiludae</i>	3

Fuente: Elaboración propia

Asimismo en la Tabla 22, se propone la calificación del agua en la cuenca del río Cumbaza, donde habiendo encontrado familias de macroinvertebrados muy sensibles a la contaminación, las aguas del río Cumbaza todavía están en la posibilidad de protegerlos con medidas de prevención, reforestación etc, para contar en el futuro con una cuenca limpia al realizar en forma permanente un adecuado monitoreo, la clase o categoría no alcanza a niveles crítica ni muy crítica dentro de la calificación mediante los macroinvertebrados.

**Tabla 22**

*Calificación del agua en la cuenca del río Cumbaza, con resultados de la investigación, San Martín – Perú*

<b>Clase o categoría</b>	<b>Calidad del agua</b>	<b>Valor del BMWP</b>	<b>Significado</b>	<b>Color</b>
I	Buena	> 150	Aguas muy limpias	
		111-120	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	66-110	Ligeramente contaminadas; se evidencian efectos de contaminación	
III	Dudosa	36-65	Aguas moderadamente contaminadas	

Como una propuesta interesante y práctica lo encontrado en la investigación, es también presentar en forma sencilla, a los macroinvertebrados en orden de mayor sensibilidad a menor sensibilidad a la contaminación del agua, de tal manera que el poblador de las riberas de los ríos por la predominancia de las familias de macroinvertebrados pueda conocer y decidir sobre la calidad del agua en un periodo determinado. En base a ello en las Figuras N° 19, 20 y 21 podemos observar algunos macroinvertebrados de las Familias Perlidae, Psephenidae y Euthyplociidae que son biondicador de calidad buena del agua del río. De igual manera en las Figuras 22, 23 y 24 podemos ver algunos macroinvertebrados de las Familias Naucoridae, Baetidae y Coenagrionidae que son biondicadores de calidad aceptable del agua del río. Asimismo en las Figuras 25, 26 y 27 podemos observar algunos macroinvertebrados de las Familias Corydalidae, Elmidae y Libellulidae que son biondicadores de calidad dudosa del agua del río y finalmente las Figuras 28, 29 y 30 se puede observar algunos macroinvertebrados de las Familias Thiaridae, Belostomatidae y Tipulidae que son biondicadores de calidad crítica del agua del río.

### A. Bioindicadores de calidad buena del agua



Clase : Insecta  
 Orden : Plecóptera  
 Familia : **Perlidae**

Figura 19: Macroinvertebrado de la Familia Perlidae biondicador de calidad buena del agua del río cumbaza



Clase : Insecta  
 Orden : Díptera  
 Familia : **Psephenidae**

Figura 20: Macroinvertebrado de la Familia Psephenidae biondicador de calidad buena del agua del río cumbaza



Clase : Insecta  
 Orden : Ephemeroptera  
 Familia : **Euthyplociidae**

Figura 21: Macroinvertebrado de la Familia Euthyplociidae biondicador de calidad buena del agua del río cumbaza

## B. Bioindicadores de calidad aceptable del agua



Clase : Insecta  
 Orden : Hemiptera  
 Familia : **Naucoridae**

*Figura 22:* Macroinvertebrado de la Familia Naucoridae biondicador de calidad aceptable del agua del río cumbaza



Clase : Insecta  
 Orden : Ephemeroptera  
 Familia : **Baetidae**

*Figura 23:* Macroinvertebrado de la Familia Baetidae biondicador de calidad aceptable del agua del río cumbaza



Clase : Insecta  
 Orden : Odonata  
 Familia : **Coenagrionidae**

*Figura 24:* Macroinvertebrado de la Familia Coenagrionidae biondicador de calidad aceptable del agua del río cumbaza

### C. Bioindicadores de calidad dudosa del agua



Clase : Insecta  
 Orden : Megaloptera  
 Familia : **Corydalidae**

*Figura 25:* Macroinvertebrado de la Familia Corydalidae biondicador de calidad dudosa del agua del río cumbaza



Clase : Insecta  
 Orden : Coleóptera  
 Familia : **Elmidae**

*Figura 26:* Macroinvertebrado de la Familia Elmidae biondicador de calidad dudosa del agua del río cumbaza



Clase : Insecta  
 Orden : Odonata  
 Familia : **Libellulidae**

*Figura 27:* Macroinvertebrado de la Familia Libellulidae biondicador de calidad dudosa del agua del río cumbaza

#### D. Bioindicadores de calidad crítica del agua



Clase : Gastropoda  
 Orden : Mollusca  
 Familia : **Thiaridae**

Figura 28: Macroinvertebrado de la Familia Thiaridae biondicador de calidad crítica del agua del río cumbaza



Clase : Insecta  
 Orden : Hemiptera  
 Familia : **Belostomatidae**

Figura 29: Macroinvertebrado de la Familia Belostomatidae biondicador de calidad crítica del agua del río cumbaza



Clase : Insecta  
 Orden : Díptera  
 Familia : **Tipulidae**

Figura 30: Macroinvertebrado de la Familia Tipulidae biondicador de calidad crítica del agua del río cumbaza

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### ❖ Conclusiones

- En la cuenca del río Cumbaza se determinó e identificó 21 familias de macroinvertebrados, pertenecientes a 2 clases y 10 órdenes taxanómicas, lo que permitió determinar el índice de diversidad biológica (BMWP) que condujo a la calificación de las tres estaciones estudiadas, en el mes de mayo las estaciones I (San Roque de Cumbaza) y II (San Pedro de Cumbaza) con calidad aceptable, mientras que la estación III (Bocatoma de captación) con calidad dudosa; en el mes de octubre las estaciones II (San Pedro de Cumbaza) y III (San Roque de Cumbaza) con calidad aceptable, mientras que la estación I (San Roque de Cumbaza) con calidad dudosa.
- Los valores de los parámetros fisicoquímicos determinados, no superan el valor máximo de los Estándares de Calidad Ambiental permisibles para la categoría 3 de aguas para riego de vegetales del Anexo 1: D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo según los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (ECA) del D.S. No 015-2015 del MINAM, confirmándose que la calidad de la cuenca del río Cumbaza está en condiciones de calidad aceptable para ser utilizado para riego en la agricultura.
- El índice biológico BMWP al relacionar con cada uno de los parámetros fisicoquímicos mediante la Correlación de Pearson, se obtuvo resultados positivos y negativos; así la correlación de Pearson entre los BMWP con la temperatura del agua se tuvo un repórter con un valor de 0,119909 lo cual representa una correlación directa moderadamente débil o asociación positiva directa, o sea que la temperatura influye en el tipo de taxas en el río, al existir baja presión antrópica en la cuenca, biológicamente el río tiene condiciones de calidad aceptable.
- Los periodos de muestreo y las estaciones de muestreo entre el mes de mayo y octubre, al realizar el ANOVA se determinó que estadísticamente son significativos, debido a ciertas alteraciones ambientales entre estos dos periodos y que influye en la determinación de la calidad del agua para riego.
- En la investigación se planteó la implementación de un plan de manejo para la conservación del agua de la cuenca del río Cumbaza, con el objetivo de mejorar la calidad del ecosistema existente a través de permanentes biomonitoreos.



## ❖ **Recomendaciones**

- Ampliar otras investigaciones con macroinvertebrados acuáticos en sustratos de bancos vegetados tomando mayor variedad de ríos, quebradas y otros tributarios tanto poco intervenidas como contaminadas por diversas actividades en la Región San Martín.
- Realizar las colectas y muestreos estacionalmente para observar las variantes en abundancia de macroinvertebrados que se dan en las estaciones del año (Invierno, Otoño, Primavera y Verano), para así, relacionarlo con la calidad del agua y contar con un índice biótico BMWP de la Región San Martín, para análisis de la calidad del agua, ya que puede ser replicado en cualquier cuerpo de agua perteneciente a la mayoría de cuencas, debido a que es un método de bajo costo.
- Considerar la importancia que tiene el río Cumbaza para la población de San Martín, al realizar un estudio de calidad de agua utilizando análisis de laboratorio físicos, químicos y bacteriológicos, y continuar con el monitoreo mediante métodos de bioindicación utilizando los macroinvertebrados.
- Elaborar un Plan de Manejo serio de manera urgente para la cuenca del río Cumbaza, para iniciar acciones de protección de la fuente de agua y realizar un diagnóstico de calidad de agua de los ambientes acuáticos teniendo en cuenta el avance de diversas actividades productivas y los impactos ambientales que puedan generar.
- Aplicar políticas que ordenen la actividad agrícola minifundista en cuanto al uso de la tierra y el agua para afectar lo menos posible su cantidad, calidad y limitar el uso de agroquímicos con la asistencia de profesionales calificados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR-PERÚ (1997). “*Calidad del agua*”. Asociación Española de Normalización y Certificación: Medioambiente Tomo 1. AENOR Madrid. España.
- Alba-Tercedor, J. (1996). “*Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos*”. Departamento de Biología Animal y Ecología. Universidad de Granada. Granada. España.
- Alba-Tercedor, J. & Sánchez-Ortega, A. (1988). *Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes*”. Limnetica. España.
- Alonso, a. & camargo, J. (2015). “*Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles*”. *Ecosistemas*, 14 (3): 87-99.
- Álvarez, S. & Pérez, L. (2007). *Evaluación de la calidad de agua mediante la utilización de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca del Yeguaré, Honduras*. Tesis de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.
- Andrews, K; Caballero, R. (1995). “*Órdenes y Familias de Insectos de Centroamérica*”. Cuarta Edición. Escuela Agrícola Panamericana – Zamorano, Honduras. Publicación MIPH-EAP 36. 179p.
- ANZECC - Australian And New Zealand Environment Conservation Council (2013). “*An introduction to the Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality*”. National Water Quality Management Strategy, Camberra, Australia.
- Aramburú, C. (1982). *Expansión de la Frontera agraria y demográfica de la Selva Alta Peruana*. En Colonización de la Amazonía. CIPA. 1981. Lima Perú.
- ANA - Autoridad Nacional Del Agua (2013). “*Mapa de Ubicación*”. Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales. Región San Martín. Perú.
- Barbour, M. T., J. B. Stribling & P. M. Verdonschot. (2006). “*The Multihabitat Approach*”. Bioassessment Protocols. Boston. Estados Unidos.

- Beita Sandi, W. (2008) *“Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica”*. Tesis. Facultad de Ciencias Básicas Escuela de Química. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. San Pedro de Montes de Oca. Costa Rica.
- Benoit, D. A. & Ch. E. Stephan. (2014) *Ambient Aquatic Life Water Quality Criteria for Chloride*.
- Bullón Alcalá, Víctor Eduardo (2016). *“Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua en la cuenca del río Perene, Chanchamayo”*. Tesis. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. Huancayo – Perú.
- Carmona, J. & Caro, A. (2017). *“Los últimos ríos periurbanos de la cuenca de México: establecimiento de las condiciones de referencia potenciales a través de su calidad ecológica e indicadores biológicos”*. Revista Mexicana de Biodiversidad. Instituto de Biología. UNAM. México.
- CARVACHO, C. (2012), *“Estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y desarrollo de un índice, milimétrico para evaluar el estado ecológico de los ríos de la cuenca del Limari en Chile”*. Instituto del agua. Universidad de Barcelona. Chile.
- Castellanos, K., Pizarro, J. & Cuentas, K. (2017). *“Lentic water quality characterization using macroinvertebrates as bioindicators”*. An adapted BMWP index”.
- Castellón (2013). *“Evaluación Rápida de la Calidad del Agua Utilizando Macroinvertebrados Acuáticos”*. Tesis. Honduras: Universidad De Tegucigapa.
- Centro de Desarrollo e Investigación de la Selva Alta – CEDISA (2006). *«Conservación, manejo y recuperación de los recursos naturales y desarrollo productivo en la cuenca del río Cumbaza»*. Dirección General para la Cooperación Internacional del Ministerio de Relaciones Exteriores de los Países Bajos - DGIS y del Instituto Humanista de Cooperación con Países en Vías de Desarrollo – HIVOS.
- Correa, I. (2000). *“Desarrollo de un índice biótico para evaluar la calidad ecológica del agua en los ríos de la cuenca alta del Río Chama utilizando macroinvertebrados*

- bénticos*". Tesis de grado de Licenciado en Biología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias]. Universidad de Los Andes. Venezuela. 61 p.
- Custodio, M. & Chanamé, F. (2015). *Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales*, Junín-Perú. Revista Scientia Agropecuaria, 12p.
- Chapman, D. (2014). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. Chapman Hill. London. 626 p.
- Chovarec, P.; Jäger, M.; Jungwirth, V. & Koller-Kreimel, O. (2015). "The Austrian way of assessing the ecological integrity of running waters: a contribution to the EU Water Framework Directive. *Hydrobiologia*, 422/423: 445-452.2015.
- Damanik-Ambarita, Minar Naomi Lock And Koen Boets (2016). "Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices". *Limnologica*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.limno>
- De La Nuez Daril (2018). "Cinco organismos bioindicadores ambientales". <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4822/5-organismos-bioindicadores-ambientales>.
- De Pauw N., Gabriels W. Y Goethals P.L.M. (2016). "River monitoring and assessment methods based on macroinvertebrates". *Biological Monitoring of Rivers: Applications and Perspectives*. (Eds G. Ziglio, M. Siligardi y G. Flaim). John Wiley & Sons Ltd. Chichester. UK. pp: 113-134
- Domínguez, E. & Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos* (primera edición) San Miguel de Tucumán – Argentina.
- Eguális, A.; Mora, J. & Campbell (2014). "Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico". IMTA. México.
- Espejo, Y.; Pérez, G. (2012). "Química Ambiental". Trabajo realizado por: CFGS "C" IES Mercè Rodoreda.
- Everaert, G., De Neve, J., Boets, P., Dominguez-Granda (2014). "Comparison of the abiotic

preferences of macroinvertebrates in tropical river basins”. PLoS ONE 9(10).

FAO, (2016) “*El estado mundial de la agricultura y la alimentación*”. Colección FAO agricultura N° 26. Roma.

Forero, L., Longo, M., Ramírez, J., & Chalar, G. (2014). “*Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro*”. ICERNMAE Revista de Biología Tropical. Colombia.

Fierro Pablo, Bertrán Carlos, Tapia Jaime, Hauenstein Enrique, (2017). “*Effects of local land-use on riparian vegetation, water quality, and the functional organization of macroinvertebrate assemblages*”. Science of the Total Environment journal. Institute of Marine Science and Limnology, Universidad Austral de Chile.

Figueroa R., Araya E., Parra O. Y Valdovinos C. (2013). *Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad de agua de ríos del sur de Chile*. Revista Chilena de Historia Natural no. 76: 275-285.

García-Criado, F., Tomé, A., Vega, F.J. Y Antolín, C. (1999). “*Performance of some diversity and biotic indices in rivers affected by coal mining in northwestern Spain*”. Hydrobiologia.

Garrec Jp Y Van Haluwyn, C. (2015). “*Biovigilancia vegetal de la calidad del aire*”. Tec&doc, 116 p.

Gerth, W., Li, J., Giannico, R., (2017). “*Agricultural land use and macroinvertebrate assemblages in lowland temporary streams of the Willamette Valley*” Oregon”. USA. Agric. Ecosyst. Environ. 236, 154–165.

Gobierno Regional De San Martín (GORESAM) (2006). “*Propuesta de Mesozonificación Económica Ecológica*”. Proyecto Especial Huallaga Central y Bajo Mayo. Dirección de Manejo Ambiental. Programa de Zonificación Económica y Ecológica (ZEE) y Ordenamiento Territorial (OT). Tarpoto. Perú.

Gomez Villegas, M.A. (2005) “*Inferencia Estadística*”, Madrid. España.

González, M. (2009). *Comparación de la tasa de descomposición de hojas de Pteridium aquilinum y Miconia latifolia en dos quebradas con diferentes*

*condiciones de nutrientes* (Reserva Forestal Caminos de Santa Ana, Bogotá).

- Guerrero-Bolaño, F., Et Al. (2004). “*Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua*”. Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Magdalena, Colombia.
- Gualdoni, C.M., Oberto, A.M., (2012). “Estructura de la comunidad de macroinvertebrados del arroyo Achiras (Córdoba, Argentina)”. Análisis previo a la construcción de una presa. *Iheringia Sér. Zool.* 102, 177–186, <http://dx.doi.org/>
- Guevara Córdova, Carlos Humberto (2013). “Evaluación de la comunidad de macroinvertebrados de bancos vegetados en quebradas contaminadas por minería aurífera. Madre de Dios-Perú”. UNMSM. Facultad de Ciencias Biológicas. Lima. Perú.
- Guevara C. & Huamantínco A. (2012). “Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y su relación con el estado de conservación de seis quebradas en Madre de Dios”. Ministerio del Ambiente. Dirección General de Investigación e Información Ambiental. Memoria del Primer Encuentro de Investigadores Ambientales. Iquitos, Perú.
- Gutiérrez J.D., Riss W. Y Ospina R. (2006). “Bioindicación de la calidad del agua en la sabana de Bogotá – Colombia, mediante la utilización de la lógica difusa neuro-adaptativa como herramienta”. Caldasia. Colombia.
- Helson, J.E., Williams, D.D., (2013). “Development of a macroinvertebrate multimetric index for the assessment of low-land streams in the neotropics”. *Ecol. Indic.* 29, 167-178. doi: 10.1016/j.ecolind.
- Henry A. M. (2007), «El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua,» *Revista Biocenosis*. Antioquía Colombia.
- Hunke, P., Mueller, E.N., Schröder, B., Zeillhofer, P., (2015).”The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use”. *Ecohydrology* 8, 1154–1180.
- Holt Emily, Scott A. & Miller W. (2014). “Bioindicators: Using Organisms to Measure

Environmental Impacts”. Department of Watershed Sciences, Utah State University. Department of Watershed Sciences, Utah State University.

IICA (2004). Inventario y planeamiento participativo de los recursos hídricos en la cuenca del río Cumbaza. Tarapoto. Perú.

Jaramillo, J.C. (2014).- “Importancia de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua”. *Revista Ingenierías - Universidad de Medellín*. Colombia.

Leiva M. (2014). “Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de calidad de agua en la Cuenca del Estero Peu Peu Comuna de Lautaro IX región de la Araucanía”. Universidad Católica de Temuco, Facultad de ciencias. Temuco. 111p.

Longo, M. Ceballos, V.E. Zamora, G. & Vásquez, G. (2004). “Diversidad, similitud y carácter bioindicador de los macroinvertebrados acuáticos epicontinentales de tres ecosistemas lóticos en el piedemonte llanero”. Unicauca Ciencia. Colombia.

Lopes, J.F., J. M. Dias, A. C. Cardoso & C. I. V. Silva. (2015). “The water quality of the Ria de Aveiro lagoon”. Portugal. From the observations to the implementation of a numerical model. *Mar. Environ.*

Maco García, José (2007). “Evaluación y caracterización del potencial hídrico. Meso Zonificación Ecológica Económica. Sub cuenca del Cumbaza. PEHCBM. Tarapoto. Perú.

Macneil, C., Briffa, M., Leuven, R.S.E.W., Gell, F.R., Selman, R., (2013). “An appraisal of a biocontamination assessment method for freshwater macroinvertebrate assemblages: a practical way to measure a significant biological pressure? *Hydrobiologia*” 638, 151–159, <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-009-0037-x>

Mafla Herrera, Maribel (2005). “Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano Talamanca - Costa Rica. Centro agronómico tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Turrialba, Costa Rica.

Manjarrés, G.G. & Manjarrés, G.P., (2014). “Contribución al conocimiento hidrobiológico de la parte baja de los ríos de la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta”. Colombia. *Revista Intropica*, (1): 39-50.

- Mayorga Mutre Kenia Dahiana (2017). “Calidad del agua y estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos de los Esteros “El Limón”, “LA S” Y “EL Guayabo” del Cantón el Empalme, Guayas-Ecuador”. Universidad Técnica Estatal de Quevedo Facultad de Ciencias Ambientales. Ecuador
- Medina, Tafur, Revilla, Et Al. (2008). “El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chicama. Universidad Nacional de Trujillo. La Libertad. Perú.
- Mejía Clara, Mario René (2015). “Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón”. San Jerónimo. Honduras. CATIE.
- Méndez Estrada, V.H., M. Rivas Rossi & J. Monge-Nájera. (2013). “Los líquenes como bioindicadores y su uso por parte de estudiantes para monitorear la contaminación atmosférica”. I Congreso Interuniversitario de Biodiversidad. Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Merritt, R.W. & Cummins (1996). “An Introduction to the Aquatic Insect of North America. 3 ed. Kendall /Hunt Publishing. Iowa. EE.UU.
- Meza Jrdl Maria, Walteros J (2012). “Water Quality And Composition Of Aquatic Macroinvertebrates in the Subwatershed Of River Chinchiná”. Publicación Caldasia. P. 444-445.
- Mitchell, M; Stapp, W; Bixby, K. (2014). “Manual de campo de Proyecto del Río: una guía para monitorear la calidad del agua en el Río Bravo”. Cuarta edición. Proyecto del Río. New México. USA.
- Minaya Vela, Reynaldo Javier (2017). “Parámetros físicos, químicos, microbiológicos, para determinar la calidad del agua en la Laguna Moronacocha, época de transición creciente-vaciante Iquitos Perú 2016”. Tesis. Iquitos. Perú.
- Ministerio Del Ambiente (Minam). (2015) “Decreto Supremo 015-2015 del Ministerio del Ambiente por el que Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. ECA. Parámetros para riego de vegetals. Lima. Perú.
- Ministerio Del Ambiente. (2006). “Water Quality”. British Columbia Approved Water



Quality Guidelines. Victoria. Columbia Británica, Canadá.

- Ministerio De Medio Ambiente (2014). Guía Para La Elaboración De Estudios Del Medio Físico, Contenido Y Metodología. Ministerio del Medio Ambiente, Madrid, Centro de Publicaciones. p.343
- Moreno, C.E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis SEA. Sociedad Entomológica Aragonesa Ed. Madrid. España.
- Necchi Jr, O; L. H. Z. Branco & M. Ribeiro (2014). “Uso de macroalgas para avaliação da poluição orgânica no Rio Preto, Noroeste do Estado de São Paulo”. An. Acad. Bras. Ci., 66: 359-371.
- Nordin, R. N. & L. W. Pommen. (2016). “Water Quality Criteria for Nitrogen (Nitrate, Nitrite and Ammonia)”. VÍctoria, Columbia Británica. Canadá.
- Ocasio, F. (2016). “Evaluación de calidad del agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del río Piedras”. San Juan, Puerto Rico.
- Orlinskiy P, Munze R, Gunold Roman (2015). “Forested headwaters mitigate pesticide effects on macroinvertebrate communities in streams: Mechanisms and quantification”.<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/>
- Oscoz, J., F. Campos & M. C. Escala. (2006). Variación de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. Limnetica. España.
- Paredes, C. (2004), “Macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad de agua en dos ríos de Cajamarca y Amazonas”. Perú.
- Paredes, C. (2003), en la tesis titulada, Uso de Macroinvertebrados Bentónicos como bioindicadores de la calidad de agua en el río Rimac, Lima-Callao, Perú.
- Payeras. De Antoni (2018). “Parámetros de Calidad de las Aguas de Riego”. Escuela de Bonsái. <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/>
- Perea Saavedra, Z. (2011). “Evaluación de comunidades de macroinvertebrados asociados a tres especies de macrófitas acuáticas en la laguna de Moronacocha”. Iquitos. Perú.

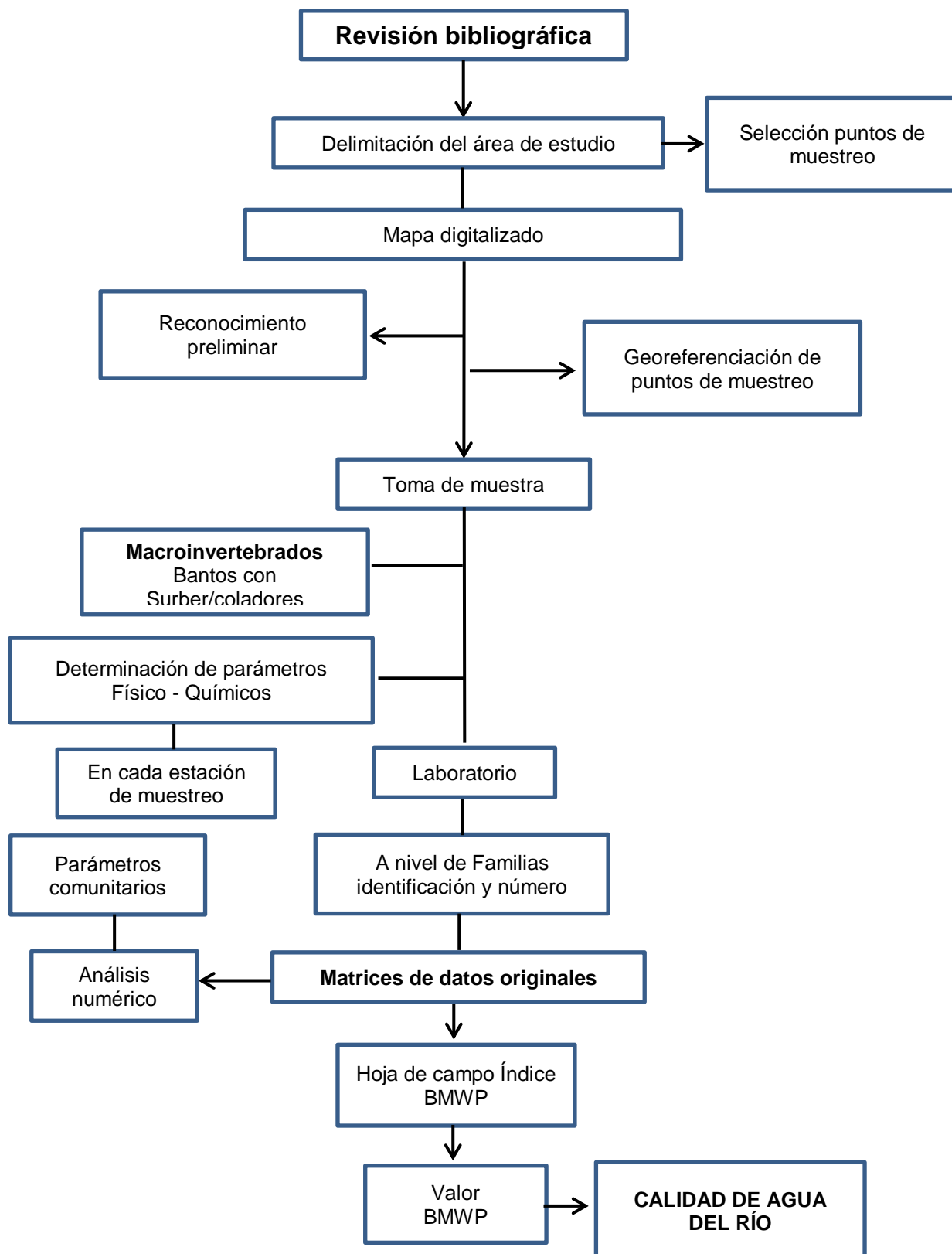
- Poblete, Niño, E.D. (2013). “Calidad de agua según los Macroinvertebrados Bentónicos y Parámetros Físico-químicos en la Cuenca del Río Chuyugal-La Libertad. Tesis. Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ciencias Biológicas. Trujillo. Perú.
- Portilla, N. (2015). “Distribución espacial y temporal de macroinvertebrados acuáticos en la quebrada La Cascajosa - Garzón (Huila)”. *Entornos*, 28(1), 56–75. Colombia.
- Puig A. (2011). “Enciclopedia Del Ambiente”. Editorial Croquis. Buenos Aires. Argentina.
- Prat, N.; I. Muñoz; G. González & X. Millet. (2016). “Comparación crítica de dos índices de calidad de las aguas”. *ISQA y BILL. Tecnología del Agua*, 31: 33-49.
- Prat, N., Rios, B. (2009). “Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de Las aguas”. San Miguel de Tucumán. Argentina.
- Prieto J. (2014). *El agua, sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. Eco Ediciones, Bogota, D.C. 275 p.
- Quinn, J.M. & C. Hickey. (1990). “Characterization and classification of benthic invertebrate communities in 88 New Zealand rivers in relation to environmental factors”. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*.
- Ribera, L., Aguilera, P., Hernando, C. Y Millán, A. (2002). *Los coleópteros acuáticos de la península Ibérica*. Quercus.
- Rivera, R. (2004). “Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en ríos de páramo y zonas boscosas, en los andes venezolanos”. Tesis, Universidad de los Andes, Mérida. Venezuela.
- Restrepo, M. (2013). “Aplicación de índices físicoquímicos y biológicos para la determinación de la calidad del agua del río Frio”. Colombia.
- Rodríguez walteros, Paiba-Alzate (2012). “Estudio preliminar de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la reserva forestal Torre Cuatro”. *Boletín científico*. Centro de museos. Museo de Historia Natural.
- Roldán, G. (2003). “La bioindicacion de la calidad del agua en Colombia”. Editorial Universidad del Antioquia, Medellín. Colombia.

- Roldán, G. (1992). "Fundamentos de la Limnología Neotropical. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.
- Sagástegui Alva, A., S. & Lezama Asencio, P. (1995). Diversidad Florística del Norte de Perú. Perú.
- Sánchez, Fernández, D, Gonzales, M (2007). "Los macroinvertebrados acuáticos de las salinas de Añana (álava,españa): biodiversidad, vulnerabilidad y especies indicadoras. Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza. España.
- Saulino, H.H.L., Trivinho-Strixino, S., (2014). "Macroinvertebrados acuáticos asociados às raízes de Eichhornia azuera (Swarts) Kunth (Pontederiaceae) em uma lagoa marginal no Pantanal". MS. Biotemas di, 65–72. Slavevska-stamenkovi´c.
- Sela, Guy (2018), "La Calidad del Agua de Riego". CEO de SMART! Software de gestión de fertilizantes y un experto internacional en nutrición de plantas e irrigación. <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/irrigation-water-quality>
- SENAMHI (2015). "Registro de Caudales medios del río Cumbaza". Tarapoto. Peru.
- Soto Matos, Embert Alejandro (2013). "Macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de agua en la sub cuenca de Achamayo. Concepción". Tesis. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. Huancayo. Perú.
- Shanoon, C.E. & Weaver (1994). "The mathematical theory of communication". The University of Illinois Pres. Urbana. United States.
- Slavevska-Stamenkovi´C, V., Paunovi´C, M., Miljanovi´C, B., Kostov, V., Ristovska, M., Donka, M., (2015). "Water quality assessment bas".
- Smith David R, (2013). "Climate Change, Water Supply, and Conflict in the Aral Sea Basin". San Diego State University. Nueva York.
- Stefanidis, K., Panagopoulos, Y., Mimikou, M., (2015). "Impact assessment of agricultural driven stressors on benthic macroinvertebrates using simulated data". Sci. Total Environ. 540, 32–42.

- Sneath & Sokal (1973). Estimación del parecido taxonómico. Coeficientes. En: Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. OEA. Washington D.C.
- Sperling, E. (2015). “Considerações sobre a saúde de ambientes aquáticos”. Revista Bio, 2: 53-56.
- Stevens Institute Of Technology (Sit). (2006). Demanda Biológica de Oxígeno. (En línea). Consultada 18 de Sep 2007. Disponible en: <http://www.k12science.org>
- Toro, J., Schuster J.P., Kurosawa J., Araya E. Y Contreras M. (2013). “Diagnóstico de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores río Maipo (Santiago: Chile)”. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Memorias XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.
- Torres Dcgyro (2014). “Comunidades de macroinvertebrados acuáticos en quebradas de la Isla de Providencia, Mar Caribe Colombiano”. Revista Intropica. Colombia.
- Universidad Nacional De Colombia. (2015). “La calidad del agua y su control”. available from [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/C//Capitulo\\_7/Pages/calidad\\_agua.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/C//Capitulo_7/Pages/calidad_agua.htm)
- Verdi Emya (2014). “Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay”. Revista Mexicana de Biodiversidad.
- Walley, J.W. & S. Judd. (2013). “Proceedings of the Freshwater Europe Symposium on River Water Quality Monitoring and Control”. Birmingham. Inglaterra.
- Water Boards. (2013). Recursos para Agricultores – Nitrato en el agua.
- Wetzel R.G Y G.E. Likens (2013). “Limnological analyses”. Third edition. Springer. 429pp pp
- Wilhm, J L., & Dorris, Tc. (2016). Biological Parameters for Water Quality Criteria. BioScience, 18(6), 477–481.
- Woodiwis, F. S. (2014). “The biological system of stream classification used by the River Trent Board”. Chem. Indust., 14: 443-447.

**ANEXOS**

**Anexo 1:** Propuesta metodológica general para la medición de la calidad del agua de los ríos de montaña: Índice BMWP



**Anexo 2: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua para riego  
CATEGORÍA 3: Parámetros para riego de vegetales. D1: Riego de cultivos  
de tallo alto y bajo**

CATEGORÍAS		ECA AGUA: CATEGORÍA 3
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
		Parámetros para riego de vegetales
		D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo
<b>FISICOS - QUIMICOS</b>		
Aceites y grasas	mg/L	5
Bicarbonatos	mg/L	518
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cloruros	mg/L	500
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	100(a)
Conductividad	(uS/cm)	2500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2
Fenoles	mg/L	0,002
Fluoruros	mg/L	1
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	100
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	4
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5
Sulfatos	mg/L	1000
Temperatura	°C	Δ3
<b>INORGÁNICOS</b>		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,1
Bario	mg/L	0,7
Berilio	mg/L	0,1
Boro	mg/L	1
Cadmio	mg/L	0,01
Cobre	mg/L	0,2
Cobalto	mg/L	0,05
Cromo total	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	5
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	**
Manganeso	mg/L	0,2

CATEGORÍAS		ECA AGUA: CATEGORÍA 3
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
		Parámetros para riego de vegetales
		D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,02
Zinc	mg/L	2
<b>PLAGUICIDAS</b>		
Paratión	ug/L	35
<b>Organoclorados</b>		
Aldrín	ug/L	0,004
Clordano	ug/L	0,006
DDT	ug/L	0,001
Dieldrín	ug/L	0,5
Endosulfán	ug/L	0,01
Endrín	ug/L	0,004
Heptacloro y heptaclor epóxido	ug/L	0,01
Lindano	ug/L	4
<b>CARBAMATO:</b>		
aldicarb	ug/L	1
<b>POLICLORUROS BIFENILOS TOTALES</b>		
Policloruros bifenilos totales (PCB's)	ug/L	0,04
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>		
Coliformes Totales (35-37°C)	NMP/100 ml	1000
Coliformes Termotolerantes (44,5°C)	NMP/100 ml	1000
<i>Enterococos intestinales</i>	NMP/100 ml	20
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	100
Huevos y larvas de helmintos	Huevos/L	<1

Fuente: Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM

**Nota:**

**Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales**

**Subcategoría D1: Vegetales de Tallo Bajo y Alto.**

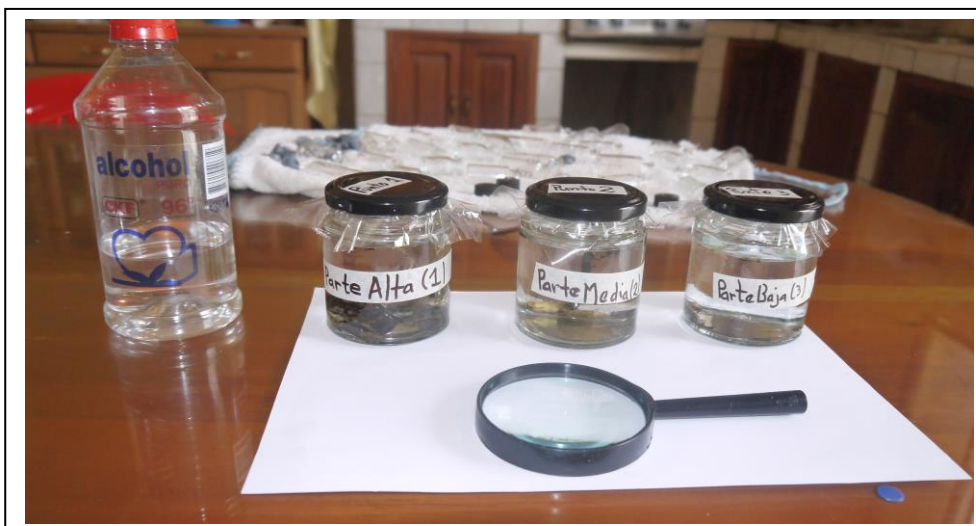
Entiéndase como aguas utilizadas para el riego de plantas, frecuentemente de porte herbáceo y de poca longitud de tallo (tallo bajo), tales como plantas de ajo, arroz, lechuga, fresa, col, repollo, apio, arvejas y similares) y de plantas de porte arbustivo o arbóreo (tallo alto), tales como árboles forestales, frutales, entre otros.

**Anexo 3: Panel fotográfico que se realizó en las zonas de muestreo durante la**



**investigación**

**Colecta de macroinvertebrados, marcando las muestras y macroinvertebrado  
colectado**



**Macroinvertebrados colectados y enfrascados para el laboratorio biológico y muestras de aguas para el análisis fisicoquímico.**