

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA DEL  
RÍO PIÑAS MEDIANTE LOS ÍNDICES ICA Y BMWP.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**Autor:**

MARÍA ROSA PONTÓN VALAREZO  
C.I: 0706447810

**Director:**

ING. MARCO TULIO RAMÍREZ MATAMOROS MSc.  
C.I: 0702774936

Cuenca – Ecuador  
2018

## RESUMEN

Este estudio se realizó en la microcuenca del Río Piñas perteneciente a la provincia de El Oro - Ecuador, con el objetivo de conocer su calidad ambiental mediante los índices ICA y BMWP/Col, incluyendo la variante ASPT; con el fin de establecer una relación con base a dos estaciones climáticas invierno y verano (incluyendo el periodo de transición). Se plantearon 4 estaciones de muestreo a lo largo del cauce del río, en lugares de menor a mayor volumen de descargas de aguas residuales, ubicadas desde la naciente del río hasta su desembocadura. Se constató, mediante el método de aforo por flotadores (cálculo del caudal), que el presente año ha sido atípico, provocando que la etapa de transición obtuviera los caudales altos, por lo cual se seleccionó a esta etapa como caudal alto y la etapa verano como caudal bajo, se menciona a la etapa de invierno solo en análisis cuya importancia sea significativa. Para un mejor entendimiento sobre las relaciones entre los parámetros fisicoquímicos se realizó el ACP para ambos caudales. Las estaciones 3 y 4, indicaron los valores más bajos del ICA, con criterios “aguas contaminadas” y “aguas fuertemente contaminadas”, a razón de la alta cantidad de carga contaminante que pasa por estos puntos. Los resultados de los índices BMWP/Col y ASPT obtenidos en los dos caudales, ubicaron a la microcuenca en las categorías “crítica” y “muy crítica”. Las familias de macroinvertebrados dominantes fueron los oligoquetos y los quironómidos, taxas indicadoras de mala calidad de agua.

**Palabras claves:** ICA, BMWP/Col, ASPT, macroinvertebrados, parámetros fisicoquímicos, Río Piñas

## ABSTRACT

This study was conducted on the Piñas River micro basin, which belongs to El Oro province, with the purpose of knowing its quality based on ICA and BMWP/Col index, including the variant ASPT; In order to establish a relationship between two climatic seasons winter and summer (including the transitory period). Four sampling stations were raised along the river bed, in places from lower to higher volume of wastewater discharges, located from the riverhead to its mouth. It was found, by means of the method "Aforo por flotadores" (calculation of the flow), that this year has been atypical, causing the transition stage to obtain the high flows, therefore, this stage was selected as high flow and the summer stage as low flow; The winter stage is mentioned only in analysis which importance is significant. For a better understanding of the relations between the parameters physicochemical there was made the ACP for both flow rates. Stations three and four, indicated the lowest values of the ICA, with the criteria "polluted waters" and "strongly contaminated waters" because of the high amount of polluting charge that passes through these points. The obtained results of BMWP/Col and ASPT index for the two flow rates, located the micro basin in the categories "critical" and "very critical". The dominant macroinvertebrates families were Oligochaetes and chironomids, indicating poor water quality.

**Keywords:** ICA, BMWP/Col, ASPT, macroinvertebrates, physico-chemical parameters, Río Piñas.



## LISTA DE ABREVIATURAS

**ACP:** Análisis de Componentes principales

**ALC:** Alcalinidad

**ASPT:** Average Score Per Taxon

**BMWP:** Biological Monitoring Working Party

**BMWP/Col:** Biological Monitoring Working Party modificado para Colombia

**CL:** Cloruros

**CR:** Color Real

**COLIF\_T:** Coliformes Totales

**COND\_E:** Conductividad eléctrica

**DBO:** Demanda bioquímica oxígeno

**DT:** Dureza total

**Est:** Estación

**E\_COLI:** *Escherichia coli*

**FT:** Fosfatos totales

**ICA:** Índice de calidad de agua

**INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización

**LMP:** Límite máximo permisible

**NH3-N:** Nitrógeno amoniacal

**NO3:** Nitratos

**NTE:** Norma Técnica Ecuatoriana

**OD:** Oxígeno disuelto

**prof:** Profundidad

**prom:** Promedio

**SDT:** Sólidos disueltos totales

**SST:** Sólidos suspendidos totales



**TEMP:** Temperatura

**TURB:** Turbidez

**v:** Velocidad



**CONTENIDO**

RESUMEN ..... 1

ABSTRACT ..... 2

CAPITULO I .....15

1.1 INTRODUCCIÓN .....15

1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....16

1.3 OBJETIVOS .....19

    1.3.1 OBJETIVO GENERAL: .....19

    1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....19

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....20

2.1 ANTECEDENTES.....20

2.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA .....20

    2.2.1 EN RELACIÓN A LOS ECOSISTEMAS .....20

    2.2.2 EN RELACIÓN AL SUELO.....21

2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LOS RÍOS.....21

    2.3.1 PARÁMETROS FÍSICOS .....22

    2.3.2 PARÁMETROS QUÍMICOS .....22

    2.3.3 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS: .....24

2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....24

    2.4.1 MATRIZ DE CORRELACIÓN .....24

    2.4.2 ACP (ANÁLISIS DE COMPONENTES PRONCIPALES) .....24

2.5 MÉTODO DE AFORO POR FLOTADORES .....25

2.6 INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) .....26

2.7 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA.....28

    2.7.1 CARACTERÍSTICAS DEL LECHO Y MARGEN .....28

    2.7.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN DE RIBERA .....29

2.8 INDICE BMWP .....30



|   |  |    |
|---|--|----|
| 2.8.1                                     | LOS MACROINVERTEBRADOS Y EL ÍNDICE BMWP .....  | 32 |
| CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....   |  | 33 |
| 3.1                                       | ZONA DE ESTUDIO .....  | 33 |
| 3.1.1                                     | CARACTERÍSTICAS DE LA MICROCUENCA .....  | 34 |
| 3.1.2.                                    | PERFIL ALTITUDINAL DE LA MICROCUENCA .....   | 35 |
| 3.1.3                                     | GEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA .....   | 36 |
|   | - PERFIL GEOLÓGICO.....  | 36 |
| 3.2                                       | ESTUDIO.....   | 37 |
| 3.2.1                                     | TIPO DE ESTUDIO .....  | 37 |
| 3.2.2                                     | ESTACIONES DE MUESTREO .....   | 37 |
| 3.3                                       | DETERMINACIÓN DEL CAUDAL.....  | 40 |
| 3.4                                       | ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA .....  | 41 |
| 3.4.1                                     | TIPO DE MUESTRAS .....   | 41 |
| 3.4.2                                     | FRECUENCIA Y PROCEDIMIENTO DE MUESTREO .....   | 41 |
| 3.4.3                                     | ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS .....                                  | 43 |
| 3.4.4                                     | CALCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DE MONTOYA 1997 (ICA) .....                           | 43 |
| 3.5                                       | DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA.....                          | 44 |
| 3.6                                       | DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE BMWP .....  | 44 |
| 3.6.1                                     | TIPO DE MUESTREO.....  | 44 |
| 3.6.2                                     | FRECUENCIA Y PROCEDIMIENTO DE MUESTREO .....   | 44 |
| 3.6.3                                     | CALCULO DEL ÍNDICE BMWP (BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY) MODIFICADO PARA COLOMBIA. .... | 45 |
| CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... |  | 46 |
| 4.1                                       | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA.....   | 46 |
| 4.1.1                                     | CARACTERÍSTICAS DEL LECHO Y MARGEN DE LA MICROCUENCA ...                                     | 46 |
| 4.1.2                                     | VEGETACIÓN DE RIBERA.....  | 47 |
| 4.2                                       | CAUDAL .....   | 47 |
| 4.2.1                                     | ANÁLISIS DE CAUDAL.....  | 47 |



4.3 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) DE MONTOYA.....49

    4.3.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS PARA DETERMINAR EL ICA .....49

        4.3.1.1 ACP PARA LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN CAUDAL ALTO59

        4.3.1.2 ACP PARA LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN CAUDAL BAJO62

    4.3.2 ANÁLISIS DEL ÍNDICE ICA DE MONTOYA.....64

4.4 ÍNDICE BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY (BMWP).....68

    4.4.1 ANÁLISIS DE TAXAS E INDIVIDUOS ENCONTRADOS .....68

    4.4.2 ANÁLISIS DE BMWP/Col Y ASPT .....72

CONCLUSIONES .....77

RECOMENDACIONES .....79

BIBLIOGRAFÍA .....80

ANEXOS .....87

    ANEXO 1: DATOS DE LABORATORIO .....87

    ANEXO 2: COMPONENTES PRINCIPALES Y MATRIZ DE CORRELACIONES ....90

    ANEXO 3: DATOS MACROINVERTEBRADOS.....94

**LISTA DE TABLAS**

TABLA 1. FACTOR DE CORRECCIÓN PARA LA VELOCIDAD SUPERFICIAL QUE DEPENDE DEL MATERIAL DEL FONDO DEL CANAL ..... 25

TABLA 2. SUBÍNDICES DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS PARA EL CÁLCULO DEL ICA DE MONTOYA 1997..... 27

TABLA 3. COEFICIENTES DE PONDERACIÓN PARA EL ICA DE MONTOYA 1997 ..... 27

TABLA 4. RANGOS DE CALIDAD DEL ICA SEGÚN EL CRITERIO GENERAL..... 28

TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEPENDIENDO DEL USO SEGÚN EL ICA DE MONTOYA 1997..... 28

TABLA 6. APARTADOS Y CATEGORÍAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL HÁBITAT FLUVIAL..... 29

TABLA 7. APARTADOS Y CATEGORÍAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE VEGETACIÓN DE RIBERA..... 30

TABLA 8. PUNTAJES DE CLASIFICACIÓN DE LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS PARA EL ÍNDICE BMWP/Col..... 31

TABLA 9. CLASES, CALIDAD Y SIGNIFICADO ECOLÓGICO DE LAS AGUAS SEGÚN EL ÍNDICE BMWP/Col Y SU VARIANTE ASPT ..... 31

TABLA 10. DATOS RELEVANTES DE LA ZONA POR DONDE ATRAVIESA LA MICROCUENCA DE ESTUDIO... 33



|  |    |
|--|----|
| TABLA 11. CUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL CANTÓN PIÑAS .....   | 34 |
| TABLA 12. PERFILES GEOLÓGICOS QUE ATRAVIESAN LA MICROCUENCA DEL RÍO PIÑAS.....                           | 36 |
| TABLA 13. GEORREFERENCIACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO .....  | 37 |
| TABLA 14. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO Y SUS CARACTERÍSTICAS .....                            | 39 |
| TABLA 15. CARACTERÍSTICAS DEL LECHO Y MARGEN (HÁBITAT FLUVIAL) DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PIÑAS .....     | 46 |
| TABLA 16. CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN DE RIBERA EN LA MICROCUENCA EL RÍO PIÑAS .....                | 47 |
| TABLA 17. CAUDALES PROMEDIO (M <sup>3</sup> /S) PARA LAS ETAPAS INVIERNO Y TRANSICIÓN. ....              | 48 |
| TABLA 18. CAUDALES PROMEDIO (M <sup>3</sup> /S) DURANTE EL MONITOREO EN LAS ETAPAS SELECCIONADAS ...     | 49 |
| TABLA 19. ICA DE MONTOYA EN LA ETAPA INVIERNO .....  | 64 |
| TABLA 20. ICA DE MONTOYA EN LAS ETAPAS SELECCIONADAS.....  | 66 |
| TABLA 21. CRITERIO GENERAL ICA EN LAS ETAPAS SELECCIONADAS PARA EL MONITOREO.....                        | 66 |
| TABLA 22. CRITERIOS ESTABLECIDOS PARA LOS USOS DEL AGUA SEGÚN EL ICA EN LA ETAPA DE CAUDAL ALTO .....    | 67 |
| TABLA 23. CRITERIOS ESTABLECIDOS PARA LOS USOS DEL AGUA SEGÚN EL ICA EN LA ETAPA DE CAUDAL BAJO .....    | 68 |
| TABLA 24. MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN LA ETAPA INVIERNO .....  | 68 |
| TABLA 25. MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN CAUDAL ALTO .....  | 69 |
| TABLA 26. MACROINVERTEBRADOS PRESENTES EN CAUDAL BAJO .....  | 69 |
| TABLA 27. CARACTERÍSTICAS DE LAS FAMILIAS ENCONTRADAS EN CAUDAL ALTO Y BAJO.....                         | 70 |
| TABLA 28. VALORES OBTENIDOS PARA BMWP/COL Y ASPT SEGÚN LAS FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS PRESENTES..... | 73 |
| TABLA 29. CLASIFICACIÓN Y SIGNIFICADO ECOLÓGICO CON LOS VALORES DE BMWP/COL Y ASPT ...                   | 76 |
| TABLA 30. DATOS DE LABORATORIO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PARA LA ETAPA INVIERNO. ....             | 87 |
| TABLA 31. DATOS DE LABORATORIO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN CAUDAL ALTO.....                      | 88 |
| TABLA 32. DATOS DE LABORATORIO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN CAUDAL BAJO.....                      | 89 |
| TABLA 33. COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS CAUDAL ALTO .....                     | 90 |
| TABLA 34. MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN CAUDAL ALTO.....                     | 91 |
| TABLA 35. COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN CAUDAL BAJO.....                   | 92 |
| TABLA 36. MATRIZ DE CORRELACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN CAUDAL BAJO.....                     | 93 |
| TABLA 37. BASE DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE BMWP/COL Y ASPT EN LA ETAPA INVIERNO .....                    | 94 |
| TABLA 38. BASE DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE BMWP/COL Y ASPT EN CAUDAL ALTO.....                           | 94 |
| TABLA 39. BASE DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE BMWP/COL Y ASPT EN CAUDAL BAJO.....                           | 95 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1. UBICACIÓN DEL CANTÓN PIÑAS DENTRO DEL TERRITORIO ECUATORIAL ..... | 33 |
| FIGURA 2. UBICACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PIÑAS .....                   | 34 |
| FIGURA 3. CUENCAS, SUBCUENCAS Y MICROCUENCAS DEL CANTÓN PIÑAS .....         | 35 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 4. PERFILES ALTITUDINALES DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PIÑAS .....   | 35 |
| FIGURA 5. GEOLOGÍA PRESENTE EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO.....   | 37 |
| FIGURA 6. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO .....   | 38 |
| FIGURA 7. ESTACIÓN 2, SECTOR JUAN PABLO II .....   | 39 |
| FIGURA 8. ESTACIÓN 1, SECTOR LA GARGANTA .....   | 39 |
| FIGURA 9. ESTACIÓN 4, SECTOR SAN ROQUE .....   | 39 |
| FIGURA 10. ESTACIÓN 3, SECTOR MOLANA.....  | 39 |
| FIGURA 11. CAMAL PRIVADO UBICADO JUNTO A LA ESTACIÓN 3 .....   | 40 |
| FIGURA 12. CRIADERO DE POLLOS UBICADO CERCA DE LA ESTACIÓN 1 .....   | 40 |
| FIGURA 13. DIAGRAMA PARA LA MEDICIÓN DEL CAUDAL POR EL MÉTODO DE AFORO POR FLOTADORES.<br>.....                        | 41 |
| FIGURA 14. HERRAMIENTAS PARA MEDIR LA VELOCIDAD, PROFUNDIDAD, TIEMPO Y ANCHO DEL RÍO....                               | 41 |
| FIGURA 15. EQUIPO MEDIDOR DE TEMPERATURA Y PH INSITU. ....   | 42 |
| FIGURA 16. RECIPIENTES PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y<br>BACTERIOLÓGICOS.....                 | 42 |
| FIGURA 17. ENFRIADORES DE ESPUMA DE POLIESTIRENO PARA LA CONSERVACIÓN Y TRASLADO DE LAS<br>MUESTRAS.....               | 43 |
| FIGURA 18. PROCESO PARA LA TOMA DE LA MUESTRA COMPUESTA .....  | 43 |
| FIGURA 19. RED DE 300 MICRAS CON MANGO .....   | 45 |
| FIGURA 20. REMOCIÓN DEL SUSTRATO MEDIANTE LA AYUDA DE UNA RAMA .....   | 45 |
| FIGURA 21. FUNDAS CON CIERRE HERMÉTICO .....   | 45 |
| FIGURA 22. LOS MACROINVERTEBRADOS Y EL SUSTRATO ATRAPADO POR LA RED SE COLOCAN EN<br>FUNDAS CON CIERRE HERMÉTICO ..... | 45 |
| FIGURA 23. VARIABILIDAD TEMPORAL DE LOS CAUDALES EN LAS 4 ESTACIONES DE MUESTREO.....                                  | 49 |
| FIGURA 24. TEMPERATURA EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO.....  | 50 |
| FIGURA 25. COLOR EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO .....   | 51 |
| FIGURA 26. TURBIDEZ EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO .....  | 51 |
| FIGURA 27. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO.....  | 52 |
| FIGURA 28. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO .....                                       | 52 |
| FIGURA 29. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN LAS ETAPAS DE CAUDAL BAJO Y ALTO.....  | 53 |
| FIGURA 30. PH EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO.....   | 53 |
| FIGURA 31. ALCALINIDAD EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO.....  | 54 |
| FIGURA 32. DUREZA TOTAL EN LAS ETAPAS DE CAUDA ALTO Y BAJO .....   | 54 |
| FIGURA 33. FOSFATOS TOTALES EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO .....  | 55 |
| FIGURA 34. CLORUROS EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO .....  | 55 |
| FIGURA 35. NITRATOS EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO .....  | 56 |
| FIGURA 36. NITRÓGENO AMONIACAL EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO .....   | 56 |
| FIGURA 37. OXÍGENO DISUELTO EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO .....  | 57 |
| FIGURA 38. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO .....                                     | 57 |
| FIGURA 39. COLIFORMES TOTALES EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO .....  | 58 |



---

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 40. COLIFORMES FECALES (E.COLI) EN LAS ETAPAS DE CAUDAL ALTO Y BAJO ..... | 59 |
| FIGURA 41. ACP PARA LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS EN CAUDAL ALTO.....             | 61 |
| FIGURA 42. VARIANZA DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES EN CAUDAL ALTO.....           | 61 |
| FIGURA 43. ACP DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS PARA CAUDAL BAJO.....            | 63 |
| FIGURA 44. VARIANZA DE COMPONENTES PRINCIPALES EN CAUDAL BAJO .....              | 63 |
| FIGURA 45. COMPORTAMIENTO DEL ICA POR ESTACIÓN DURANTE EL MONITOREO. ....        | 66 |
| FIGURA 47. ORDEN RHYNCHOBDELLIDA, FAMILIA GLOSSIPHONIIDAE .....                  | 72 |
| FIGURA 49. ORDEN TRICHOTERA, FAMILIA HYDROPTILIDAE.....                          | 72 |
| FIGURA 48. CLASE OLIGOCHAETA, FAMILIA TURBIFICIDAE .....                         | 72 |
| FIGURA 46. ORDEN DIPTERA, FAMILIA CHIRONOMIDAE .....                             | 72 |
| FIGURA 50. COMPORTAMIENTO DEL BMWPCOL Y ASPT DURANTE EL MONITOREO .....          | 74 |



## CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

María Rosa Pontón en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PIÑAS MEDIANTE LOS ÍNDICES ICA Y BMWP”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 09 de enero del 2018

---

María Rosa Pontón Valarezo

C. I: 0706447810



## CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

María Rosa Pontón Valarezo, autora del trabajo de titulación “**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO PIÑAS MEDIANTE LOS ÍNDICES ICA Y BMWP**”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 09 de enero del 2018.

---

María Rosa Pontón Valarezo

C.I: 0706447810



## DEDICATORIA

Este proyecto de titulación está dedicado, total y completamente a mis padres: Jorge y María del Carmen que siempre me apoyaron incondicionalmente durante toda mi carrera y realización de este trabajo de titulación, por sus consejos, interés, sacrificios y por la suerte de tenerlos, de la misma manera a mi abuelita Marieta, gracias, por tanto; ustedes han sido y serán el mayor incentivo en muchos sentidos para siempre seguir adelante.



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme todo lo que tengo y permitirme llegar hasta donde he llegado.

A mi tutor Ing. Marco Ramírez MSc. por su criterio, paciencia y dedicación; gracias por su guía y ayuda.

Al Blgo. Juan Carlos Sánchez, por su apoyo e interés desde el planteamiento de mi tesis.

Al Blgo. Agustín Sparer por su ayuda con la identificación de macroinvertebrados y estar siempre a las órdenes.

A Diego por su apoyo absoluto en todo lo que me propongo, por incentivar me y motivarme a ser una gran persona y profesional.

A mis hermanos, amigas y amigos que todo el tiempo estuvieron pendientes, ayudándome con conocimientos y apoyo moral. Los quiero mucho.

## CAPITULO I

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Desde finales del siglo XX y durante el transcurso del siglo XXI se ha incrementado de manera inconmensurable la contaminación ambiental, no sólo en Ecuador, sino mundialmente. El avance de las actividades humanas ha provocado el aumento de esta contaminación, lo cual dificulta la capacidad de auto-depuración que tiene el medio dando como consecuencia la conglutinación de contaminantes a niveles incontrolables (Bermejo Campos, 2016).

Subsiguiente, el interés a nivel global por el medio ambiente y su apresurado deterioro, a razón de: el aumento de agentes contaminantes en el agua, el aumento de la población, la atención de necesidades, entre otras; se consideran como casos alarmantes que superan el alcance real de las posibles soluciones planteadas ó a plantearse para estas situaciones (Fernández, 1996).

Los cuerpos de agua a nivel superficial son de gran trascendencia en el desarrollo de los seres humanos, permitiendo su abastecimiento en diferentes actividades sociales y económicas en las zonas poblacionales; sin embargo, se origina la incongruencia de que la mayoría de estas actividades generan transformación y quebranto de los mismos. Las aguas superficiales presentan dos tipos de contaminación: la contaminación natural, provocada por arrastre de material, presencia de materia orgánica, etc. y la contaminación antrópica, derivada de la descarga de efluentes contaminados como aguas residuales domésticas e industriales, escorrentías de terrenos agrícolas, entre otros (Torres et al., 2009).

La importancia de conocer información de la calidad de los cuerpos de agua generada por el progresivo deterioro de los mismos, ha llevado a la realización de diversos estudios que con el fin de encontrar fórmulas o ecuaciones que permitan identificar de manera confiable y real el estado de los recurso hídricos (García, 2012).

Modernamente, organizaciones de distintos países interesadas en el control de la calidad de agua, han utilizado diferentes índices para evaluar y valorar la calidad del recurso hídrico (Fernández et al., 2001), los índices fisicoquímicos y bacteriológicos cuentan con una gran diversidad de variables ubicadas en las 5 categorías establecidas por Dunnet en 1979: nivel de oxígeno, eutrofización, aspectos de salud, características físicas y sustancias disueltas (Fernández Parada et al., 2005); los índices biológicos (macroinvertebrados como bioindicadores) se catalogan como una herramienta integradores en el monitoreo y evaluación de la calidad del agua

aportando una visión más amplia sobre el estudio de los cuerpos de agua (Prat et al., 2006).

Para la provincia de El Oro, se han realizado y publicado pocos estudios sobre la evaluación de la calidad del agua de los ríos de la provincia, entre estos tenemos: el estudio realizado por Vaca (2014) donde se lleva a cabo la evaluación de la calidad de agua del río Santa Rosa perteneciente al cantón Santa Rosa (el cual limita al sur con el cantón Piñas) mediante la determinación de metales pesados y parámetros microbiológicos, generando resultados propios de contaminación por aguas residuales domésticas e industriales (minería a pequeña y mediana escala); la recopilación de estudios realizada por Tinoco (2015) sobre la evaluación de la calidad de agua de los ríos Amarillo y Calera, pertenecientes al cantón Portovelo (que limita al oeste con el cantón Piñas) cuya información fue tomada de análisis independientes llevados a cabo por empresas privadas, mostrando como resultado mala calidad de agua, a razón de que en el cantón Portovelo su principal actividad económica es la minería tanto artesanal como industrial y sus desechos son depositados, en su mayoría, en las aguas de los ríos mencionados, además de las descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento previo.

Los estudios predominantes sobre la calidad de agua en la provincia de El Oro se enfocan en zonas donde existe mayor grado de actividad minera y utilización de agroquímicos principalmente en plantaciones bananeras (Gobierno Provincial Autónomo de El Oro, 2014)

## **1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

La contaminación del agua es toda alteración física o química en la que se puede amenazar el bienestar de los seres vivos que se sirven de ella. El grado de contaminación de los cuerpos de agua, puede variar dependiendo de ciertos factores principales como son: el nivel de desarrollo y situación económica del país; y el nivel de instrucción y grado cultural sus habitantes (Valencia et al., 2007).

Las aguas residuales ya sean domésticas, provenientes del sector agropecuario o de producción se ven altamente contaminadas (principalmente por materia orgánica y agentes patógenos biológicos), de tal manera que la descarga directa de estas a una fuente hídrica incrementan su degradación generando falencias en los ecosistemas que existen en estos cuerpos de agua y, en la salud de los seres humanos y animales que se sirven de ella (Sánchez, 2002).

La contaminación como consecuencia de la descarga de aguas residuales en la microcuenca del Río Piñas tiene sus inicios a mediados del siglo XVIII, la misma que ha ido aumentando de acuerdo al crecimiento poblacional del cantón, la inexistencia de control de descargas y la falta de implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales en la cabecera cantonal perteneciente a la zona urbana, al igual que en las otras cabeceras cantonales de la zona rural, ha provocado una alta contaminación y por ende la degradación del ecosistema tanto acuático como terrestre (Toledo Espejo et al., 2015).

Referente a los ecosistemas terrestres, a nivel mundial, cerca del 80% de las enfermedades gastrointestinales y de carácter infeccioso en los seres humanos se adjudican al uso y consumo de agua contaminada, debido a que los principales vehículos por los cuales se transmiten virus, bacterias o parásitos, son el agua y los alimentos. Los microorganismos patógenos que proliferan en estos ambientes son los causantes de enfermedades como fiebre, disenterías, hepatitis, cólera, tifoidea, poliomielitis y salmonelosis, entre otras (Mondaca y Campos, 2005). En los animales las enfermedades más frecuentes producidas por la ingesta de aguas contaminadas son: Fascioliasis o Distomatosis Hepática y Coccidiosis (Sager, 2001), en cuanto a los seres vivos de especie vegetal, en el estudio de Akbar Jan et al., (2010) el riego de cultivos con aguas residuales genera alta acumulación de metales pesados en estos (principalmente Manganeso y Plomo, perjudiciales para la salud humana).

En cuanto a los ecosistemas acuáticos, la contaminación de los afluentes produce cambios en las funciones ecológicas, alteraciones en la diversidad biológica (Escobar, 2002), crecimiento excesivo de la vegetación y disminución de las actividades fotosintéticas (Miravet Sánchez, 2016); generando condiciones favorables para ciertas comunidades y perjudicando a otras (Gil, 2014) repercutiendo directamente en la cadena alimenticia de estos ecosistemas (Cocha Pallo, 2009).

El sistema de alcantarillado en la ciudad (casco urbano) es de tipo combinado, es decir este se usa para aguas lluvia y aguas residuales; las descargas se hacen mediante quebradas que alimentan la microcuenca del río, lo que significa que se realiza una descarga directa sin tratamiento previo de las aguas residuales, contaminando el territorio aguas abajo del lecho del río (Toledo Espejo et al., 2015).

El estudio a realizarse brindará el soporte técnico de la calidad del agua en el Río Piñas y de esta manera servir como aporte para futuros estudios, toma de decisiones y planes de manejo para la microcuenca, por parte del GAD Municipal del Cantón Piñas.



Mediante esta investigación se expone la calidad del agua de la microcuenca del Río Piñas basándose en los índices de calidad: ICA propuesto por Montoya 1997 que emplea 18 parámetros (físicoquímicos y bacteriológicos) y BMWP (Biological Monitoring Working Party) y su variante ASPR (Average Score Per Taxon), con el fin de incentivar futuros estudios para el planteamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales, o programas de manejo de aguas domésticas; a razón de buscar soluciones para la gran contaminación a la que se encuentra sometida esta microcuenca de la Provincia de El Oro.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL:**

- ✓ Evaluar la calidad del Agua de la microcuenca del Río Piñas mediante los índices ICA (Índice de calidad de Agua) y BMWP (Biological Monitoring Working Party)

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- ✓ Analizar la calidad fisicoquímica del agua en con base al índice ICA, en los puntos establecidos.
- ✓ Evaluar la calidad del agua mediante el uso de indicadores biológicos (macroinvertebrados bentónicos) a través del índice BMWP.
- ✓ Establecer la variabilidad temporal y espacial de la calidad del agua.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ANTECEDENTES**

Actualmente, la población mundial sobrepasa los 6000 millones de habitantes y se estima que para el año 2050 aumentará y rebasará los 10000 millones. El mayor incremento de población sucede principalmente en países en vías de desarrollo, lo que aumenta la necesidad de servicios básicos como agua, energía y alimentos (Cabrera y Ortiz, 2005).

Siendo el agua es un recurso vital insustituible (Paz Rocha, 2000) para todas las formas de vida, cubre 71% de la superficie de la masa terrestre donde 97% se encuentra en los océanos como agua salada y 3% es agua dulce, y de esta solo 0,01% es accesible para los seres vivos; además se le considera como el disolvente universal y sumamente importante en los sistemas biológicos, ya que es una parte esencial de los procesos de carácter metabólico (López, 2011); su abastecimiento, localización y desecho presenta una gran cantidad de retos, los cuales deben ser afrontados para satisfacer la creciente necesidad de las poblaciones, por lo cual se debe prestar principal atención en el control de la cantidad de agua demandada, y concientizar a la sociedad respecto a su uso y los problemas hidrológicos (Paz Rocha, 2000).

A medida que aumenta el desarrollo urbano, se genera mayor cantidad de residuos, ya sean sólidos o líquidos (aguas residuales) de carácter doméstico o industrial, lo cual hace evidente la necesidad de implementar sistemas depuradores de estos residuos mediante el uso de técnicas y tecnología sustentable (Sánchez y Salazar 2012). Rojas (2002) ratifica que el 99.9% de las aguas residuales es agua y el resto es materia sólida, la cual está conformada por materia mineral y materia orgánica, y proviene de los desechos generados en la vida cotidiana de los seres vivos.

### **2.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

#### **2.2.1 EN RELACIÓN A LOS ECOSISTEMAS**

Las actividades antrópicas en los ecosistemas de agua dulce tienen la capacidad de modificar, incluso de manera irreversible el estado de estos ecosistemas; en aguas que conservan su naturaleza original existe cierto equilibrio entre la vegetación y la fauna betónica, el cual se ve quebrantado al momento que ingresan sustancias ajenas al afluente lo que provoca la desaparición de algunas especies o la reproducción exagerada de otras (PNUMA et al., 2002); por ejemplo, los desechos orgánicos que se depositan en los cuerpos de agua, son descompuestos por bacterias que necesitan

oxígeno para degradarlos, generando una reducción del oxígeno disuelto existente en el agua hasta el punto donde ya no es suficiente para sustentar la vida acuática (Cabrera y Ortiz, 2005).

A pesar de la importancia de los ecosistemas de agua dulce, siguen sufriendo graves daños, principalmente por factores antropogénicos que tienen que ver con la vegetación de ribera, lo cual provoca cambios en el flujo natural ya sea de energía como materia, también variaciones en el ciclo de nutrientes como fósforo y nitrógeno (Meza et al., 2012).

### **2.2.2 EN RELACIÓN AL SUELO**

La superficie del suelo atrapa gran parte de la precipitación atmosférica y se devuelve a los ríos como escorrentía o permanece como agua subterránea (FAO, 2002). La presencia de áreas de amortiguamiento en las quebradas y ríos permite captar eficientemente nutrientes y sedimentos antes de que lleguen al cuerpo de agua, incluso las cualidades filtradoras de la vegetación arbustiva, pasto y arbórea en las zonas cercanas al río, puede provocar efectos positivos en la calidad del medio acuático; así, la vegetación arbórea beneficia la dinámica del agua, al actuar como una muralla (Auquilla, 2005). En épocas de lluvia y altos caudales se genera el arrastre de desechos sólidos que se encuentran a las orillas de los ríos, lo cual pone a discusión la importancia en la organización del uso del suelo y el estudio de estrategias sobre estos efectos (Calvo Rubio, 2000).

Las zonas urbanizadas son aquellas donde se encuentra un mayor deterioro en la calidad del agua de los ríos, esto sí las aguas servidas no cuentan con tratamiento previo antes de su descarga, lo cual evidencia la relación entre uso de suelo y calidad de agua; si se realizase una comparación con los suelos de uso agrícola, el grado de contaminación generado a la fuente de agua depende directamente de los periodos de aplicación de fertilizantes químicos y la precipitación, lo que induce a que la entrada de contaminantes no sea constante, en cambio, para el uso urbanístico, la entrada de contaminantes al cuerpo hídrico es constante durante todo el año, por lo que genera un alto impacto sobre la calidad del mismo (Teixeira de Mello, 2007).

### **2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LOS RÍOS**

Los programas de monitoreo de calidad de agua en su mayoría abarcan la determinación de una amplia cantidad de variables tanto físicas, químicas y microbiológicas en distintos puntos; y con los resultados obtenidos del monitoreo se lleva a cabo una apreciación del estado del recurso hídrico (Teixeira de Mello, 2007).

### 2.3.1 PARÁMETROS FÍSICOS

De acuerdo a Quesada y Kucherenko (2014) se explica los siguientes parámetros:

- a) Sólidos Totales:** El agua puede contener dos tipos de partículas: suspendidas y disueltas, y la suma de ambas se le conoce como Sólidos Totales (ST).

Sólidos disueltos: son constituidos por las sales disueltas que está en el agua y no son detectables a simple vista, la presencia de estos solo se manifiesta cuando el agua se evapora.

Sólidos en suspensión: son aquellas partículas que se encuentran en estado sólido en el agua formando coloides.

- b) Temperatura:** La temperatura es un parámetro muy importante relacionado con los cuerpos de agua, que afecta directamente a la concentración de oxígeno disuelto y por ende a las especies que habitan en los cuerpos de agua.

- c) Turbidez:** La presencia de material insoluble en suspensión provoca dificultad del agua para transmitir la luz, generalmente esto ocurre en aguas superficiales.

Según Peñafiel Romero (2014):

- d) Olor:** Se genera por la presencia de sustancias indeseables en el agua como pueden ser: algas, descomposición de materia orgánica, entre otras.

- e) Color:** En general se produce por las sustancias disueltas que se encuentran en el agua, éste se da lugar mediante la descomposición de la materia vegetal por procesos naturales y minerales del suelo.

Con referencia a Jimenez Aznar (2000):

- f) Conductividad:** Es la característica del agua para conducir la corriente eléctrica, identifica indirectamente la cantidad de sólidos disueltos presentes.

### 2.3.2 PARÁMETROS QUÍMICOS

Conforme a Quesada & Kucherenko (2014) se especifica los siguientes parámetros:

- g) pH:** El potencial de hidrógeno es una medida de concentración de la cantidad de iones de hidrógeno que se encuentran presentes en el agua. Según su naturaleza puede ser ácida, base o alcalina.

Según Jimenez Aznar (2000):

- h) Alcalinidad:** es la capacidad que tiene el agua para reaccionar con los iones hidrógeno, siendo provocada por iones  $\text{CO}_3$  y  $\text{HCO}_3$  y también influida por oxidrilos, fosfatos, boratos y silicatos.

- i) Dureza:** indica la presencia de iones de bario, estroncio, magnesio y calcio, aunque esta característica del agua se debe generalmente a los dos últimos. Se origina de manera natural a causa de la disolución rocas presentes en el suelo.

- j) **Grasas y Aceites:** las grasas y aceites vertidas en un cuerpo de agua generan: la disminución de la mojabilidad de los sólidos en suspensión impidiendo su sedimentación, y la formación de una tela fina que cubre los microorganismos que se encargan de la biodegradación obstaculizando la transferencia de luz y la captación de  $O_2$ , decreciendo la capacidad de depuración.
- k) **Nitrógeno:** el nitrógeno total está conformado por el amoníaco, nitrito, nitrato y nitrógeno orgánico. La presencia de amoníaco y el nitrógeno orgánico juntos, es un indicador de que el agua recientemente ha sido contaminada.
- l) **Fósforo total:** concentraciones elevadas de fósforo puede generar un crecimiento descontrolado de la biota acuática; grandes cantidades de este compuesto que se encuentran en el agua se deben también a abonos y detergentes.

De acuerdo a Peñafiel Romero (2014):

- m) **Acidez:** la acidez es menor a 8.5 en las corrientes de agua naturales, sin embargo, por la presencia de sustancias contaminantes procedentes de descargas industriales y el  $CO_2$  propio de los ríos, tienen como consecuencia la acidez mineral.
- n) **Agentes espumantes:** son las sustancias que se emplea en el lavado de ropa; existen dos grupos, de los cuales los detergentes LAS (sulfonatos de alquibenceno lineales) son biodegradables y los detergentes ABS (alquibencen sulfatos de cadena ramificada) no lo son.
- o) **Hierro y manganeso:** la presencia de estos elementos se debe al poder que tiene en  $CO_2$  disolviendo los estratos del suelo.

Alusivo a lo mencionado por Barrenechea Martel (2007):

- p) **Cloruros:** las aguas superficiales generalmente no contienen cloruros en concentraciones elevadas, excepto de las fuentes que provienen de corrientes marinas o terrenos salinos.
- q) **Oxígeno Disuelto (OD):** la presencia de OD en el agua depende principalmente de la presión, la temperatura y la mineralización del agua; algunas situaciones como: la acción bacteriana intensa o las circunstancias sépticas de la materia orgánica, pueden producir bajas concentraciones de oxígeno.
- r) **Materia Orgánica:** las aguas de origen natural pueden arrastrar sustancias orgánicas provenientes de diferentes procesos como: metabolismo de los organismos acuáticos, lavado de suelos, e inclusive descargas de aguas

residuales de origen industrial o doméstico. Por su difícil determinación analítica, se han establecido dos métodos globales para este fin:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** es la cantidad de oxígeno que se requiere para descomponer la materia orgánica por la actividad bioquímica aerobia.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** se refiere a la cantidad de oxígeno consumido por los agentes reductores que se encuentran en un agua.

### 2.3.3 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS:

Con referencia a Peñafiel Romero (2014):

- s) **Coliformes Totales:** este parámetro funciona como un gran indicador de la contaminación del agua por presencia de heces de animales y humanos.
- t) **Coliformes Fecales (*E.Coli*):** indicador directo de presencia de bacterias patógenas.

## 2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico es una herramienta que nos ayuda a discernir la información importante y relevante de una gran cantidad de datos; en este estudio se utilizó el análisis multivariado, el cual consiste en investigar la influencia de dos o más variables de carácter independiente en conjunto o no, a una o varias variables coligadas en relación a una o más variables de carácter dependiente (Del Carpio Rivera, 2016).

Los análisis estadísticos utilizados fueron: matriz de correlaciones y ACP (Análisis de componentes principales), los cuales se describen a continuación:

### 2.4.1 MATRIZ DE CORRELACIÓN

La matriz de correlación muestra el coeficiente de correlación ( $r$ ) generado para todas las variables a analizar; siendo la correlación una medida de la relación lineal entre dos variables, donde el valor de  $r = 0$  significa que no existe correlación entre las variables. La correlación positiva se refiere a que ambas variables permutan en el mismo sentido, en cambio en la correlación negativa varían en sentidos contrarios. La correlación se especifica en cláusulas de varianza y covarianza. (Vinuesa, 2016).

### 2.4.2 ACP (ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES)

El Análisis de Componentes Principales es un método estadístico/algebraico que tiene como objetivo la reducción o síntesis de un número amplio de variables a un número menor incluyendo la mayor información posible (Terrádez, 2000). Los componentes encontrados se toman como las nuevas variables, eligiendo un porcentaje de ellos que sea suficiente donde la pérdida de varianza total sea mínima a medida que se

sintetiza, minimiza y organiza los datos iniciales. El ACP parte de la matriz de correlaciones, su análisis se basa en la observación de gráficos y las correlaciones significativas de las variables ya sean positivas o negativas (Lozares y López, 1991).

## 2.5 MÉTODO DE AFORO POR FLOTADORES

La base que fundamenta este método señala que, los objetos se mueven a igual velocidad que el agua en la cual permanecen flotando, de tal manera que al medir la velocidad del objeto flotante se puede medir la línea de flujo en el cual se mueve; según lo citado por Chamorro de Rodríguez (2011); el cálculo para la medición del caudal es el siguiente:

$$Q = A * V (1)$$

Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

A: Área (m)

V: Velocidad (m/s)

El área se calcula por medio de la siguiente ecuación:

**A = hp \* a** (2), donde **hp** es la profundidad promedio del río y **a** es el ancho del río, ambas cantidades expresadas en metros.

Y la velocidad mediante la ecuación:

**V = d / t** (3), donde **d** es la distancia recorrida por el flotador expresada en metros, y **t** es el tiempo promedio que recorren los flotadores en segundos. Con el fin de corregir la velocidad superficial encontrada, se debe multiplicar por un coeficiente de corrección, debido a que los valores obtenidos por este método son valores aproximados. En la tabla a continuación se establecen los factores de corrección para los distintos tipos de material que fondo que presente el río (García, 2015).

Tabla 1. Factor de corrección para la velocidad superficial que depende del material del fondo del canal

|             |                              |
|-------------|------------------------------|
| 0,4 - 0,52  | poco áspero                  |
| 0,46 - 0,75 | grava con hierba y caña      |
| 0,58 - 0,7  | grava gruesa y piedras       |
| 0,7 - 0,9   | madera, Hormigón o pavimento |
| 0,62 - 0,75 | Grava                        |
| 0,65 - 0,83 | arcilla y arena              |

Fuente: (citado por García, 2015)

## 2.6 INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

Dentro de los índices de calidad del agua de importancia mundial recopilados por Fernández et al. (2005) se encuentra el ICA propuesto por Montoya 1997, utilizado como un instrumento para determinar la calidad de agua de los ríos del Estado de Jalisco en México. Los valores de ICA tiene como objetivo estimar un número, generalmente entre 0 y 100; donde el valor 0 o cercano a este indica una fuerte contaminación, en cambio las aguas en excelentes condiciones presentan valores cercanos o igual a 100 (Ramírez et al., 1997).

Este índice incluye dieciocho variables fisicoquímicas y bacteriológicas (Miravet et al., 2009) entre las cuales están: color real, turbiedad, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, potencial de hidrógeno, alcalinidad total, dureza total, fosfatos totales, cloruros, nitrógeno de nitratos, nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto (insitu), demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales, coliformes fecales (*E. coli*).

La fórmula que facilita el Índice de Calidad del Agua es:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (4)$$

Donde:

*I<sub>i</sub>*: Función subíndice de calidad para el parámetro *i*

*W<sub>i</sub>*: Coeficiente de ponderación para el parámetro *i*

*n*: Número de variables empleadas

*ICA*: Índice de calidad de agua (Fernández Parada et al., 2005)

Existen ecuaciones funcionales individuales de subíndice (tabla 1) y coeficientes de ponderación (tabla 2) para los diferentes parámetros, las cuales se presentan a continuación:

Tabla 2. Subíndices de los parámetros fisicoquímicos para el cálculo del ICA de Montoya 1997

| Parámetros                   | Subíndices   |
|------------------------------|--|
| Color Real                   | $I_C = 123 (C)^{-0.295}$   |
| Turbiedad                    | $I_T = 108 (T)^{-0.178}$   |
| Conductividad eléctrica      | $I_{CE} = 540 (CE)^{-0.379}$   |
| Sólidos suspendidos Totales  | $I_{SS} = 266.5 (SS)^{-0.37}$  |
| Sólidos disueltos Totales    | $I_{SD} = 109.1 - 0.0175 (SD)$   |
| Potencial de Hidrógeno       | 4a. $I_{pH} = 10^{0.2335 pH + 0.44} \rightarrow pH < 7$<br>4b. $I_{pH} = 100 \rightarrow pH = 7$<br>4c. $I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293 pH} \rightarrow pH > 7$ |
| Alcalinidad total            | $I_A = 105 (A)^{-0.185}$   |
| Dureza total                 | $I_{DT} = 10^{1.974 - [0.00174(DT)]}$  |
| Fosfatos totales             | $I_{PO4} = 34.215 (PO4)^{-0.46}$   |
| Cloruros                     | $I_{CL} = 121 (CL)^{-0.223}$   |
| Nitrógeno de Nitratos        | $I_{N-NO3} = 62.2 (N - NO3)^{-0.343}$  |
| Nitrógeno Amoniacal          | $I_{NH3} = 45.8 (N - NH3)^{-0.343}$  |
| Oxígeno disuelto             | $I_{OD} = 100(OD) / 14,492 - 0,384 T + 0,054 T^2$  |
| DBO                          | $I_{DBO} = 120 (DBO)^{-0.673}$   |
| Coliformes Totales           | $I_{CT} = 97.5 (CT)^{-0.27}$   |
| Coliformes Fecales (E. Coli) | $I_{EC} = 97.5 [5(CF)]^{-0.27}$  |
| Grasas y aceites             | $I_{GA} = 87.25 (GA)^{-0.298}$   |
| Detergentes                  | $I_D = 100 - 16,8 (D) + 0,161(D)^2$  |

Fuente: (citado por Peñafiel Romero, 2014 y García, 2015)

Tabla 3. Coeficientes de Ponderación para el ICA de Montoya 1997

| PARÁMETROS                  | PONDERACIÓN (W) | PARÁMETROS                    | PONDERACIÓN (W) |
|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| COLOR REAL                  | 1.0             | FOSFATOS TOTALES              | 2.0             |
| TURBIEDAD                   | 0.5             | CLORUROS                      | 0.5             |
| CONDUCTIVIDAD               | 1.0             | NITRATOS                      | 2.0             |
| SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES | 1.0             | N. AMONIAICAL                 | 2.0             |
| SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES   | 0.5             | OXÍGENO DISUELTO              | 5.0             |
| pH                          | 1.0             | DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO | 5.0             |
| ALCALINIDAD TOTAL           | 0.5             | COLIFORMES TOTALES            | 3.0             |
| DUREZA TOTAL                | 1.0             | E. COLI (COLIFORMES FECALES)  | 4.0             |
| GRASAS Y ACEITES            | 2.0             | DETERGENTES                   | 3.0             |

Fuente: (citado por Fernández Parada et al., 2005)

En las tablas 3 y 4 se presenta los rangos de calidad según los criterios generales del ICA y la clasificación de la calidad del agua referente a su uso, respectivamente:

Tabla 4. Rangos de calidad del ICA según el criterio general

| ICA      | CRITERIO GENERAL      |
|----------|-----------------------|
| 85 - 100 | NO CONTAMINADO        |
| 70 - 84  | Aceptable             |
| 50 - 69  | Poco Contaminado      |
| 30 - 49  | Contaminado           |
| 0 - 29   | Altamente Contaminado |

Fuente: (citado por Chiliquinga y Donoso, 2012)

Tabla 5. Clasificación de la calidad de agua dependiendo del uso según el ICA de Montoya 1997

| ICA | CRITERIO GENERAL      | ABASTECIMIENTO PÚBLICO         | RECREACIÓN                                | PESCA Y VIDA ACUÁTICA                     | INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA                         |
|-----|-----------------------|--------------------------------|---|---|---|
| 100 | NO CONTAMINADO        | NO REQUIERE PURIFICACIÓN       | ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUÁTICO | ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS       | NO REQUIERE PURIFICACIÓN                      |
| 95  |                       |                                |   |   |   |
| 90  |                       |                                |   |   |   |
| 85  | ACEPTABLE             | LIGERA PURIFICACIÓN            |   |   | LIGERA PURIFICACIÓN PARA ALGUNOS PROCESOS     |
| 80  |                       |                                |   |   |   |
| 75  |                       |                                |   |   |   |
| 70  | POCO CONTAMINADO      | MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO | ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE            | ACEPTABLE EXCEPTO PARA ESPECIES SENSIBLES | SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL      |
| 65  |                       |                                |   |   |   |
| 60  |                       |                                |   |   |   |
| 55  |                       |                                |   |   |   |
| 50  |                       |                                |   |   |   |
| 45  | CONTAMINADO           | DUDOSO                         | DUDOSO PARA EL CONTACTO DIRECTO           | SOLO ORGANISMOS RESISTENTES               | TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |
| 40  |                       |                                |   |   |   |
| 35  |                       |                                |   |   |   |
| 30  | ALTAMENTE CONTAMINADO | NO ACEPTABLE                   | SIN CONTACTO CON EL AGUA                  | NO ACEPTABLE                              | USO RESTRINGIDO                               |
| 25  |                       |                                | SEÑAL DE CONTAMINACIÓN                    |   |   |
| 20  |                       |                                |   |   |   |
| 15  |                       |                                |   |   |   |
| 10  |                       |                                |   |   |   |
| 5   |                       |                                | NO ACEPTABLE                              |   | NO ACEPTABLE                                  |
| 0   |                       |                                | NO ACEPTABLE                              |   | NO ACEPTABLE                                  |

Fuente: (citado por Novillo, 1991)

## 2.7 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA

### 2.7.1 CARACTERÍSTICAS DEL LECHO Y MARGEN

Con base a lo expresado en el PROTOCOLO 1: Calidad de hábitat fluvial realizado por ETAPA EP, SENAGUA – DHS, Universidad de Cuenca, Programa PROMETEO de la

SENECYT (Acosta R et al., 2014) las características del lecho y margen del río (hábitat fluvial) se encasillan en las siguientes categorías:

Tabla 6. Apartados y categorías para la caracterización del hábitat fluvial

| APARTADOS Y DESCRIPCIÓN   | CATEGORÍAS  |
|---|---|
| <b>1. Inclusión y limitación del sustrato:</b><br>Cantidad de sedimento presente entre los sustratos                                      | -Inclusión 0 -30% (nula o poca cantidad de sustrato)<br>-Inclusión 30% -60% (mediana cantidad de sustrato)<br>-Inclusión > 60% (alta cantidad de sustrato)<br>-Limitación del sustrato por presencia de roca madre<br>-Limitación del hábitat por sustrato fino |
| <b>2. Frecuencia de rápidos:</b><br>característica entre la parte fluida de un río y una cascada superficial con algunas rocas expuestas. | -Alta frecuencia de rápidos<br>-Escasa frecuencia de rápidos<br>-Ocurrencia ocasional de rápidos<br>-Flujo laminar constante  |
| <b>3. Composición del sustrato:</b> tipos de sustratos minerales en el lecho del río.   | -Bloques y piedras<br>-Limo<br>-Cantos rodados<br>-Arena<br>-Grava  |
| <b>4. Regímenes de velocidad / profundidad:</b> tipos de velocidad y profundidad de la columna de agua.                                   | -Lento profundo ( $v < 0,3$ m/s; prof. = $> 0,5$ m)<br>-Lento somero ( $v < 0,3$ m/s; prof. = $< 0,5$ m)<br>-Rápido profundo ( $v > 0,3$ m/s; prof. = $> 0,5$ m)<br>-Rápido somero ( $v > 0,3$ m/s; prof. = $< 0,5$ m)  |
| <b>5. Sombra en el cauce:</b> refleja cantidad de radiación   | -Totalmente en sombra<br>-Totalmente expuesto<br>-Grandes claros (grandes espacios entre la vegetación de ribera)<br>-Sombreado con ventanas (pequeños espacios entre la vegetación de ribera)  |
| <b>6. Elementos de heterogeneidad:</b> presencia de los elementos en el cauce del río   | -Hojarascas y ramas<br>-Raíces expuestas<br>-Diques naturales (formados por piedras y bloques)  |
| <b>7. Cobertura de vegetación acuática:</b> presencia de tipos de especies vegetales acuáticas  | -Plocon: algas filamentosas<br>-Briófitas: musgo<br>-Pecten (microalgas aplanadas, laminares o esféricas que viven adheridas a las piedras)<br>-Fanerógamas acuáticas (macrófitas)  |

Fuente: (Acosta R et al., 2014), Autor 2017

### 2.7.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VEGETACIÓN DE RIBERA

Según lo establecido en el PROTOCOLO 2: Calidad de la vegetación de ribera realizado por ETAPA EP, SENAGUA – DHS, Universidad de Cuenca, Programa PROMETEO de la SENECYT (Acosta R et al., 2014) los apartados para detallar estas características son los que se presentan a continuación:

Tabla 7. Apartados y categorías para la caracterización de la calidad de vegetación de ribera

| APARTADOS Y DESCRIPCIÓN   | CATEGORÍAS   |
|---|--|
| <b>1. Grado de cubierta de la zona de ribera:</b> grado de cobertura vegetal en los márgenes del río  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Grado de la cubierta &gt;80% (alta cantidad de especies arbóreas)</li> <li>-Grado de la cubierta &lt;10% (baja cantidad de especies arbóreas)</li> <li>-Total conectividad entre la vegetación de ribera y la adyacente</li> <li>-Conectividad entre la vegetación de ribera y la adyacente &gt;50%</li> <li>-Conectividad entre la vegetación de ribera y la adyacente &lt;25%</li> </ul>                                       |
| <b>2. Estructura de la cubierta de la zona de ribera:</b> determinación del tipo de especie que forma la cobertura de ribera, es decir si son arbóreas o arbustivas | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Recubrimiento de árboles &gt;75%</li> <li>-Recubrimiento de la ribera sin árboles ni arbustos</li> <li>-Concentración de arbustos &gt;50% (margen izquierda) y &lt;25%(margen derecha)</li> <li>-Presencia de epífitas (bromelias)</li> </ul>  |
| <b>3. Calidad de la cubierta de ribera:</b> identificar si son especies nativas o introducidas  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Ribera con todas las especies vegetales autóctonas</li> <li>-Más del 51% de las especies de ribera son introducidas</li> <li>-Presencia de pastizales y ganadería</li> <li>-Presencia de cultivos</li> <li>-Presencia de senderos y construcciones</li> </ul>  |
| <b>4. Grado de naturalidad del canal fluvial:</b> se toma en cuenta si el canal del río es natural o modificado   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Canal del río no ha sido modificado</li> <li>-Modificación de las terrazas con reducción en el canal</li> <li>-Presencia de infraestructura transversal que modifica el canal del río</li> <li>-Presencia de estructura sólida dentro del cauce del río</li> <li>-Presencia de vertidos</li> <li>-Presencia de derivaciones de agua</li> <li>-Presencia de basuras</li> <li>-Presencia de lavandería informal de ropa</li> </ul> |

Fuente: (Acosta R et al., 2014), Autor 2017

## 2.8 INDICE BMWP

El índice BMWP (*Biological Monitoring Working Party*) es un procedimiento rápido de evaluación de la calidad biológica del agua, fue creado en Inglaterra en 1970 y usa los macroinvertebrados como indicadores (Roldán-Pérez, 2016). Este sistema de valoración se maneja solo a nivel de familia, y los datos son de tipo cualitativo (Auquilla, 2005). Según las especificaciones del "National Water Council", se ordenaron las principales familias de macroinvertebrados acuáticos en 10 grupos, en una escala de menor a mayor tolerancia frente a la contaminación, la cual podía ser adaptada a los criterios de estudio en diferentes países (Alba-Tercedor, 1996).

En este estudio se usará el índice BMWP modificado para Colombia el cual se basa en datos de presencia-ausencia (Roldán-Pérez, 2016), también se relacionará con su variante ASPT (Average Score per Taxon). En la tabla 5 se presenta las puntuaciones asignadas a los macroinvertebrados acuáticos y en la tabla 6 se detalla la clase, calidad y clasificación en relación a los puntajes.

Tabla 8. Puntajes de clasificación de las familias de macroinvertebrados para el Índice BMWP/Col

| Familias  |  |   |  | Puntos |
|---|--|---|--|--------|
| Anomalopsychidae,<br>Atriplectididae,<br>Blephariceridae,                     | Ptilodactylidae,<br>Chordodidae,<br>Gripopterygidae                            | Lamproyidae,<br>Odontoceridae,<br>Perlidae                            | Polymitarcyidae,<br>Polythoridae,<br>Psephenidae             | 10     |
| Coryphoridae,<br>Ephemeroidea,<br>Euthylociidae,                              | Gomphidae,<br>Hydrobiosidae,<br>Leptophlebiidae                                | Limnephilidae,<br>Oligoneuriidae,<br>Philopotamidae                   | Platystictidae,<br>Polycentropodidae,<br>Xiphocentronidae    | 9      |
| Atyidae,<br>Calamoceratidae,<br>Hebridae,<br>Helicopsychidae,<br>Hydraenidae, | Hydroptilidae,<br>Leptoceridae,<br>Limnephilidae,<br>Lymnaeidae,<br>Naucoridae | Palaemonidae,<br>Planorbidae (cuando<br>es dominante<br>Biomphalaria) | Pseudothelphusidae,<br>Saldidae,<br>Sialidae,<br>Sphaeriidae | 8      |
| Ancylidae,<br>Baetidae,<br>Calopterygidae,<br>Coenagrionidae,                 | Dicteriadidae,<br>Dixidae,<br>Glossosomatidae,<br>Hyalellidae                  | Hydrobiidae,<br>Hydropsychidae,<br>Leptohyphidae,<br>Lestidae         | Pyralidae,<br>Simuliidae,<br>Veliidae                        | 7      |
| Aeshnidae,<br>Ampullariidae,<br>Caenidae,<br>Corydalidae,                     | Dryopidae,<br>Dugesidae,<br>Elmidae,<br>Hyriidae                               | Limnichidae,<br>Lutrochidae,<br>Megapodagrionidae                     | Mycetopodidae,<br>Pleidae,<br>Staphylinidae                  | 6      |
| Ceratopogonidae,<br>Corixidae,<br>Gelastocoridae,                             | Glossiphoniidae,<br>Gyrinidae,<br>Libellulidae                                 | Mesoveliidae,<br>Nepidae,<br>Notonectidae                             | Tabanidae,<br>Thiaridae                                      | 5      |
| Belostomatidae,<br>Chrysomelidae,<br>Curculionidae,<br>Ephydridae,            | Haliplidae,<br>Hydridae,<br>Muscidae   | Scirtidae,<br>Empididae,<br>Dolichopodidae                            | Hydrometridae,<br>Noteridae,<br>Sciomyzidae                  | 4      |
| Chaoboridae,<br>Cyclobdellidae,   | Hydrophilidae (larvas)   | Physidae,<br>Stratiomyidae  | Tipulidae  | 3      |
| Chironomidae (cuando no es la familia dominante,<br>si domina es 1)           |  | Culicidae,<br>Psychodidae   | Syrphidae  | 2      |
| Tubificidae   |  |   |  | 1      |

Fuente: (Citado por Arango et al., 2008)

Tabla 9. Clases, calidad y significado ecológico de las aguas según el índice BMWP/Col y su variante ASPT

| Clase | Calidad     | Valor del BMWP | Valor del ASPT | Significado  | Color    |
|-------|-------------|----------------|----------------|--|----------|
| I     | Buena       | > 150          | >9-10          | Aguas muy limpias  | Azul     |
|       |             | 101-120        | >8-9           | Aguas no contaminadas  |          |
| II    | Aceptable   | 61-100         | >6,5-8         | Ligeramente contaminadas: se evidencian efectos de contaminación | Verde    |
| III   | Dudosa      | 36-60          | >4,5-6,5       | Aguas moderadamente contaminadas                                 | Amarillo |
| IV    | Crítica     | 16-35          | >3- 4,5        | Aguas muy contaminadas   | Naranja  |
| V     | Muy crítica | <15            | 1-3            | Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica                | Rojo     |

Fuente: (citado por Arango et al., 2008)

### 2.8.1 LOS MACROINVERTEBRADOS Y EL ÍNDICE BMWP

Se denomina macroinvertebrados acuáticos a los organismos que presentan un tamaño superior a 500 $\mu$ m (Ladrera et al., 2013); las comunidades de macroinvertebrados acuáticos son utilizadas como sensores ambientales (bioindicadores) para estimar el nivel de afectación del recurso hídrico producido por diversas actividades antrópicas (Gil, 2014); los bioindicadores son individuos de especies seleccionadas, ya sea por su tolerancia o sensibilidad a distintos parámetros, las más comunes son insectos, moluscos, anélidos hirudíneos (sanguijuelas), plancton e inclusive peces (Vázquez et al., 2006)

Los probables efectos de una perturbación de las condiciones del medio donde habita una comunidad pueden notarse a distintos niveles, por ejemplo: la desaparición de algunas especies, aumento de otras, e inclusive aparición de algunas especies más tolerantes a las perturbaciones, las cuales provocan una ligera modificación de la estructura de la comunidad que solo son perceptibles a nivel individual (Prat et al., 2006).

### CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en el cantón Piñas en el sector sur de la provincia de El Oro, con 25988 habitantes (dato basado en la proyección demográfica para el 2015 en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón). Las parroquias Piñas y San Roque son dos de las parroquias del cantón por donde atraviesa la microcuenca de interés, cuyos datos relevantes se presentan a continuación:

Tabla 10. Datos relevantes de la zona por donde atraviesa la microcuenca de estudio

| Parroquia            | Piñas (Cabecera cantonal)       | San Roque                   |
|----------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Superficie           | 121.51 km <sup>2</sup>          | 45.50 km <sup>2</sup>       |
| Ubicación geográfica | Noroeste                        | Sur de la cabecera cantonal |
| Nº de habitantes     | 19109 hab. zona urbana y rural* | 803 hab.*                   |

*\*Dato tomado de la proyección demográfica para el 2015 en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón*

Fuente: (Toledo Espejo et al., 2015)

En las figuras 1 y 2 se presenta la ubicación del cantón Piñas con respecto al territorio ecuatoriano y las parroquias que conforman al cantón:

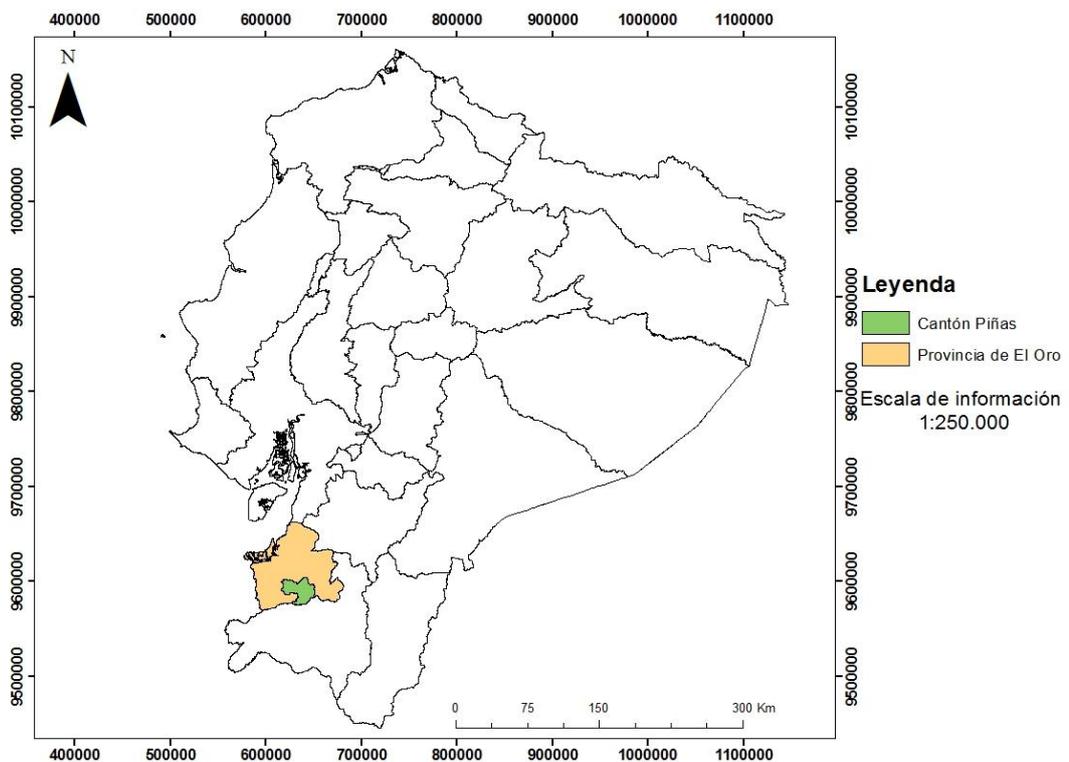


Figura 1. Ubicación del cantón Piñas dentro del territorio ecuatorial

Fuente: ODEPLAN2012\_WGS84, Autor 2017

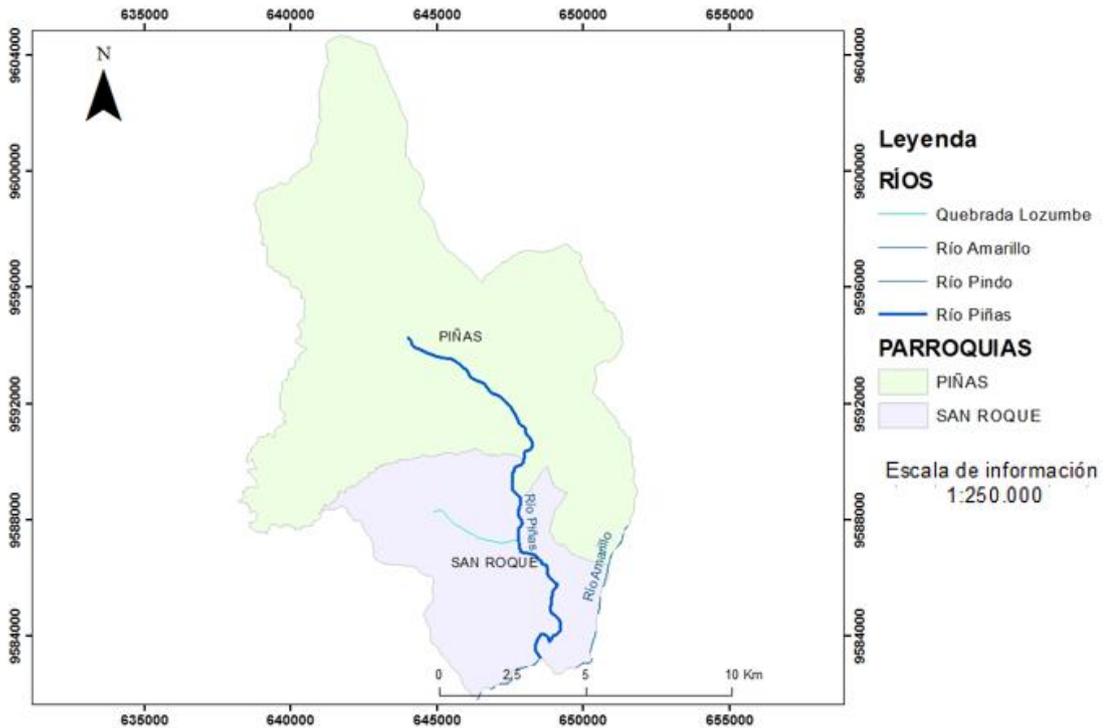


Figura 2. Ubicación de la microcuenca del Río Piñas  
Fuente: ODEPLAN 2012\_WSG84, Autor 2017

### 3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MICROCUENCA

El cantón Piñas se sirve principalmente de dos cuencas:

Tabla 11. Cuencas hidrográficas del cantón Piñas

| CUENCAS       | ÁREA TOTAL DE DRENAJE* |
|---------------|------------------------|
| RÍO ARENILLAS | 292.17 km <sup>2</sup> |
| RÍO PUYANGO   | 494.32 km <sup>2</sup> |

\*Área total de drenaje relacionada con el cantón Piñas

Fuente: (Toledo Espejo et al., 2015)

Donde, la cuenca Río Puyango consta de tres subcuencas, dentro de las cuales se encuentra la subcuenca del Río Luis, de la cual proviene la microcuenca de estudio.

La microcuenca del Río Piñas nace cerca del sector La Garganta y durante su trayecto se sirve de 5 quebradas: Quebrada Saychuma, Quebrada Molana, Quebrada Cocacoca, Quebrada Lozumbe y Quebrada Barbasca la cual está ubicada cerca de donde finaliza el río, el sector Mirmir, y su desembocadura en el río Amarillo, perteneciente al cantón Portovelo (Toledo Espejo et al., 2015).

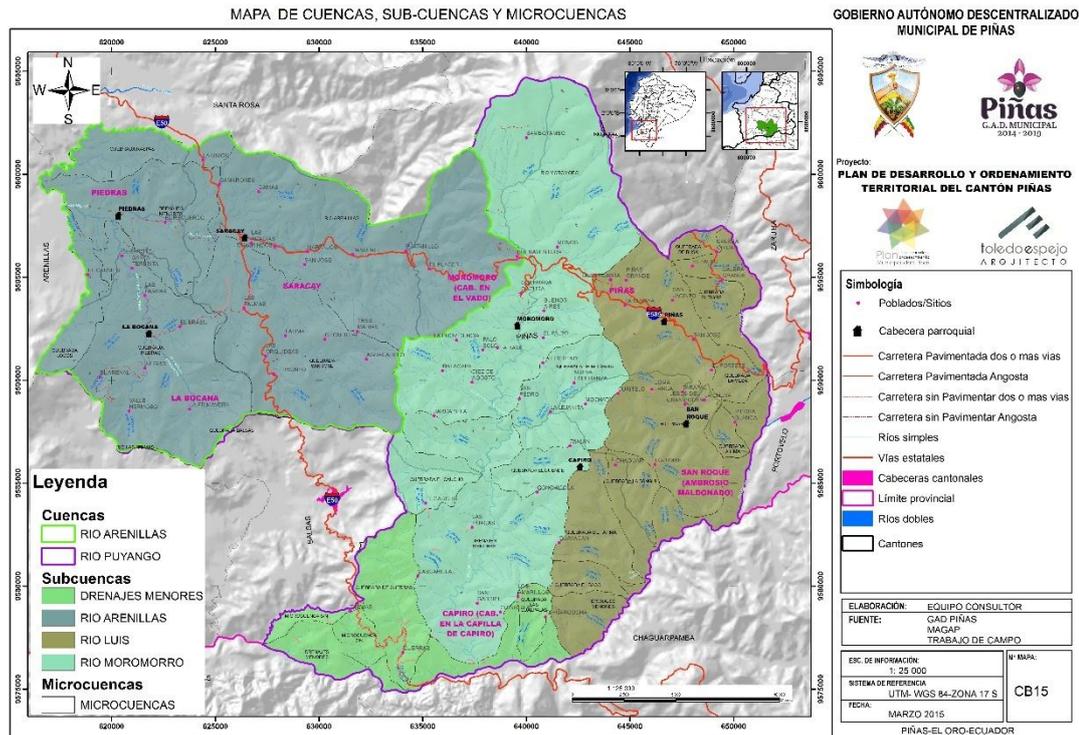


Figura 3. Cuenas, subcuencas y microcuencas del Cantón Piñas  
Fuente: (Toledo Espejo et al., 2015)

### 3.1.2. PERFIL ALTITUDINAL DE LA MICROCUENCA

Los perfiles altitudinales de la microcuena se observan en la figura 5 y se describen en función de las estaciones de muestreo planteadas. En general, la microcuena presenta pendientes máximas en las 4 estaciones de muestreo de entre 7,5% - 21,7%; el tramo que presenta mayor pendiente fue el de los sectores Juan Pablo II – Molana siendo está la tercera estación de muestreo, y el que presenta menor pendiente es el tramo La Garganta - Juan Pablo II.

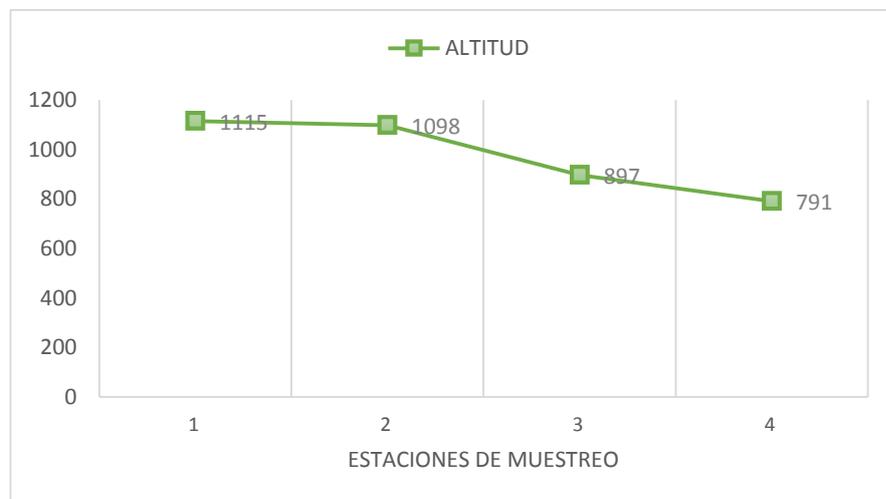


Figura 4. Perfiles altitudinales de la microcuena del Río Piñas  
Fuente: Autor, 2017

### 3.1.3 GEOLOGÍA DE LA MICROCUENCA

El cantón Piñas despliega una gran diversidad de tipos geológicos, los cuales se distribuyen por todo su territorio. La formación geológica que predomina en el territorio es granito gnéisico per-alumínico del período triásico, con una superficie de 19365.08 ha. que corresponde al 31.35% de la superficie del cantón; se presentan vastas extensiones de lavas andesíticas a riolíticas, piroclastos pertenecientes al período Oligoceno que ocupan una superficie de 12603.49 ha. siendo este el 20.48% del área cantonal (Toledo Espejo et al., 2015). La Geología de la microcuenca del Río Piñas se obtuvo de la cartografía temática ODEPLAN\_Coberturas\_WGS84 del año 2012.

#### - PERFIL GEOLÓGICO

Los perfiles geológicos se describen de acuerdo a las estaciones muestreo planteadas; y su formación, litología y período se detallan en la tabla 9 y su distribución se observa en la figura 6.

Tabla 12. Perfiles Geológicos que atraviesan la microcuenca del Río Piñas

| ESTACIÓN | SECTOR        | FORMACIÓN           | LITOLOGÍA                                   | PERÍODO   |
|----------|---------------|---------------------|---|-----------|
| 1        | LA GARGANTA   | Volcánicas Saraguro | Lavas andesíticas a riolíticas, piroclastos | Oligoceno |
| 2        | JUAN PABLO II | Volcánicas Saraguro | Lavas andesíticas a riolíticas, piroclastos | Oligoceno |
| 3        | MOLANA        | Volcánicas Saraguro | Lavas andesíticas a riolíticas, piroclastos | Oligoceno |
| 4        | SAN ROQUE     | S/N                 | Granito gnéisico per-alumínico              | Triásico  |

Fuente: ODEPLAN 2012, Autor, 2017

#### **VOLCÁNICAS SARAGURO – GRUPO SARAGURO**

Volcánicas Saraguro es un grupo heterogéneo de rocas volcánicas, desde ácidas a intermedias, que contienen brechas redepositadas y tobas retrabajadas con abundante conglomerado, material volcánico y lavas (Vega Oyola, 2013).

#### **S/N, GRANITO GNÉISICO PER-ALUMÍNICO**

Para este perfil geológico no se conoce el nombre de la formación, pero siendo su litología (granito gnéisico per-alumínico, en el período Triásico) similar al de la formación Unidad la Victoria y al estar ubicadas de manera contigua, se establece cierta relación. Por esta razón se optó por describir la formación de la Unidad la Victoria perteneciente al dominio Amotape-Tahuin, la cual pertenece al período Paleozoico con rocas que tienen diferentes grados de metamorfismo como filitas, esquitos biotíticos y facies anfibolitas (Gordon et al., 2005).

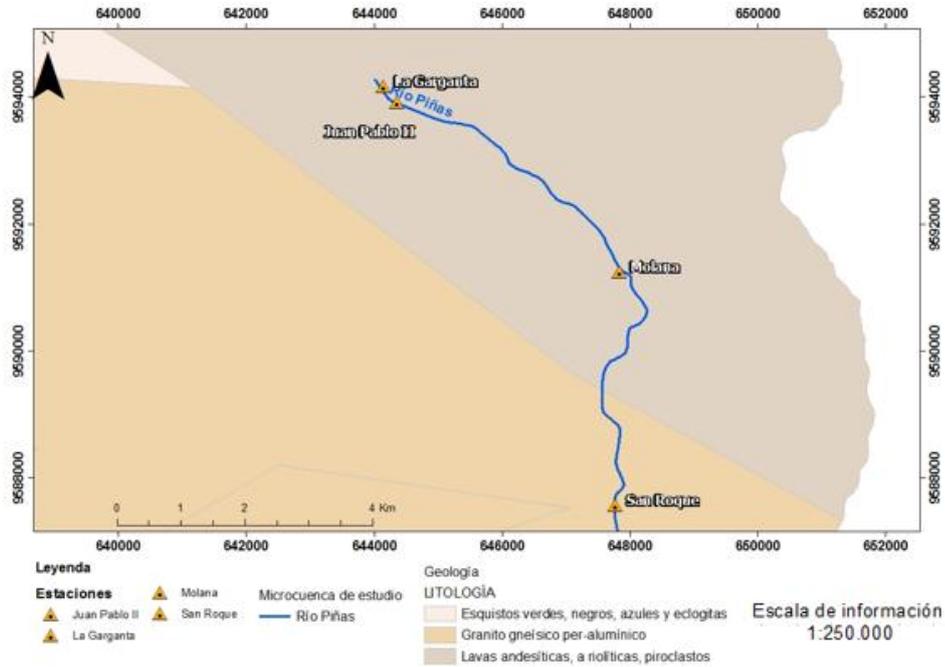


Figura 5. Geología presente en las estaciones de muestreo  
Fuente: ODEPLAN 2012 WGS84, Autor, 2017

### 3.2 ESTUDIO

#### 3.2.1 TIPO DE ESTUDIO

El presente estudio es de carácter investigativo e incluye un análisis estadístico y matemático para evaluar la calidad del agua de la microcuenca mediante el método de aforo por flotadores para determinar el caudal, ACP y matriz de correlación de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, la aplicación del modelo ICA, y la valoración y análisis de familias de macroinvertebrados mediante el método BMWP y su variante ASPT.

#### 3.2.2 ESTACIONES DE MUESTREO

Las estaciones o puntos de muestreo se ubicaron de manera estratégica, en lugares donde el acceso fue posible y, se facilitó la medición de caudales y toma de muestras. En la tabla 8 y figura 3 se describe cada uno de los puntos y se muestra su ubicación en el mapa, respectivamente.

Tabla 13. Georreferenciación de las estaciones de monitoreo

| ESTACIÓN | ZONA          | X             | Y              |
|----------|---------------|---------------|----------------|
| 1        | LA GARGANTA   | 644150,17 m E | 9594167.02 m S |
| 2        | JUAN PABLO II | 644363.02 m E | 9593916.82 m S |
| 3        | MOLANA        | 647837.07 m E | 9591245.68 m S |
| 4        | SAN ROQUE     | 647778.20 m E | 9587551.25 m S |

Fuente: Google Earth, Zona 17M, 2017



Figura 6. Localización de las estaciones de muestreo  
Fuente: ODEPLAN 2012\_WGS84, Autor, 2017

Las estaciones o sitios de muestreo se plantearon de la siguiente manera:

*Tabla 14. Ubicación de las estaciones de muestreo y sus características*

| <i>Estación o sitio</i>   | <i>Sector</i> | <i>Característica</i>   |
|---------------------------|---------------|---|
| Estación 1<br>(figura 7)  | La Garganta   | Ubicada cerca de la naciente del Río Piñas, con descargas de agua residual de una reducida cantidad de viviendas, incluyendo un criadero de pollos (figura 11).   |
| Estación 2<br>(figura 8)  | Juan Pablo II | Cantidad de viviendas aumenta, (por ende, las descargas de agua residual) en comparación con la estación 1.   |
| Estación 3<br>(figura 9)  | Molana        | Punto por donde atraviesan las descargas de aguas servidas de la mayor parte de viviendas del centro poblado, camal municipal (ubicado 1,25 km río arriba de esta estación) y un camal privado (figura 12). |
| Estación 4<br>(figura 10) | San Roque     | Ubicada en el punto más accesible y cerca de la desembocadura del río, ubicado al final del centro poblado y de criaderos de porcinos.  |

*Fuente: Autor, 2017*



*Figura 7. Estación 1, sector La Garganta*



*Figura 8. Estación 2, sector Juan Pablo II*



*Figura 10. Estación 3, sector Molana*



*Figura 9. Estación 4, sector San Roque*



Figura 11. Criadero de pollos ubicado cerca de la estación 1



Figura 12. Camal privado ubicado junto a la estación 3

### 3.3 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

Según la fórmula expuesta en el apartado 2.5 sobre el método para la determinación del caudal, se procede a medir la profundidad promedio y el ancho del río, tal como se aprecia en la figura 13, con el fin de calcular el área de la sección transversal del mismo. La profundidad promedio se calculó midiendo las diferentes profundidades que tiene el río con la ayuda de una varilla de madera y un flexómetro; el ancho del río se midió utilizando cintas métricas unidas entre sí, sobre todo donde el cauce del río era de mayor longitud.

Para el cálculo de la velocidad, el tiempo promedio se calculó con la ayuda de flotadores (bolitas de espuma de poliestireno) y un cronómetro midiendo el tiempo que tarda el flotador en recorrer la distancia establecida (12 m) (Chamorro de Rodríguez, 2011), este procedimiento se realiza tantas veces como se crea necesario, en este caso 4 veces por estación; luego de haber concluido con la medición de los tiempos, se los suma y se divide para el número de veces que se realizó el cronometraje en el mismo tramo, estableciendo un promedio entre los mismos; a la velocidad encontrada se le multiplicó por el coeficiente de corrección de velocidad superficial (tabla 1) perteneciente a dos tipos de sustrato: grava y arena; y arcilla, ya que un solo tipo de material de fondo del río no cumple con las características de la microcuenca.



Figura 13. Herramientas para medir la velocidad, profundidad, tiempo y ancho del río.

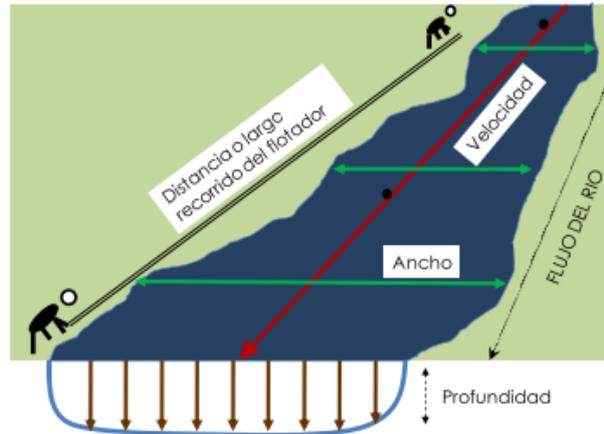


Figura 14. Diagrama para la medición del caudal por el método de aforo por flotadores.

### 3.4 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA

#### 3.4.1 TIPO DE MUESTRAS

Las muestras fueron de tipo compuestas, método que se emplea en aguas residuales, ya que la composición de esta varía elocuentemente durante un lapso de tiempo (Instituto de Toxicología de la Defensa, 2016). Para el procedimiento de la toma de muestras se tomó en cuenta el PROTOCOLO 4: Calidad Físicoquímica del Agua realizado por ETAPA EP, SENAGUA – DHS, Universidad de Cuenca, Programa PROMETEO de la SENEYCYT (Acosta R et al., 2014) con base en las normas NTE INEN 2 176:1998 y NTE INEN 2 169:98.

#### 3.4.2 FRECUENCIA Y PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

La toma de muestras se realizó manualmente, durante las dos estaciones climáticas que tiene el país, incluyendo una etapa de transición entre las estaciones, es decir invierno, transición de invierno a verano y verano en las fechas 05 de abril, 24 de mayo y 05 de julio del año 2017, respectivamente.

El procedimiento para la toma de muestras se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Mediante la utilización de equipos de sondas multiparamétricas (figura 15), debidamente calibrados, se midió la temperatura y la cantidad de Oxígeno disuelto presente en cada estación; se utilizó agua destilada para limpiar los electrodos antes de cada muestreo.
2. Para la toma de muestras para los demás parámetros se tomó en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a. Los recipientes a usarse fueron de plástico, los cuales se etiquetaron previamente (figura 16), y se colocaron en contra corriente al momento de recoger la muestra.
  - b. Para las muestras de coliformes fecales los envases se esterilizaron previamente.
  - c. Previo a la toma de muestras se homogenizó los envases con el agua de río.
  - d. Los recipientes se llenaron por completo hasta el tope, y cerraron debajo del agua con el fin de evitar que se quede aire en la parte superior de la muestra.
  - e. La muestra compuesta se formó por tres muestras sencillas tomadas de 1,5 L (figura 17).
3. Para conservar y trasladar las muestras se las mantuvo en un enfriador (figura 18) con gran cantidad de hielo con el fin de mantener la temperatura óptima de preservación de 4°C (Acosta R et al., 2014).
  4. El análisis de los parámetros se llevó a cabo en el Laboratorio de Ingeniería sanitaria de la Facultad de Ingeniería perteneciente a la Universidad de Cuenca.

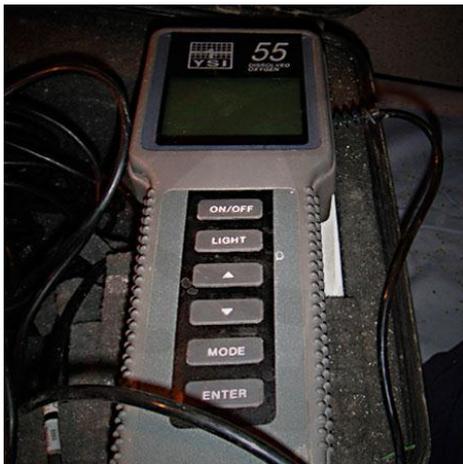


Figura 15. Equipo medidor de temperatura y pH insitu.



Figura 16. Recipientes para la toma de muestras de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.



Figura 17. Proceso para la toma de la muestra compuesta



Figura 18. Enfriadores de espuma de poliestireno para la conservación y traslado de las muestras

### 3.4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS

Con los datos obtenidos del laboratorio, se realizó la interpretación de los mismos, antes de realizar el análisis ICA; y con la ayuda del programa estadístico R 3.3.3 (R Development Core Team, 2017) se llevó a cabo el análisis mediante dos técnicas multivariadas como matriz de correlaciones y Análisis de Componentes Principales (ACP). Dentro de los parámetros evaluados se incluyó la variable temperatura, la cual se toma el fin de analizar cómo influyó este parámetro con las demás variables.

### 3.4.4 CALCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA DE MONTOYA 1997 (ICA)

Para el cálculo de este índice se excluyó 2 de las 18 variables propuestas para el ICA de Montoya 1997, debido a que el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria no cuenta con los equipos para la determinación de los parámetros detergentes y, grasas y aceites, razón por la cual se realizó con 16 variables, bajo el sustento teórico mencionado por Fernández Parada et al., (2005) donde indica que la fórmula del ICA, al ser un promedio aritmético ponderado, se presta para reducir o ampliar el escalamiento de la misma, dado el hecho de la tendencia de la fórmula a utilizar promedios.

Una vez obtenidos los datos del laboratorio, se utilizó la ecuación (4) expuesta en el apartado 2.6; para establecer la sumatoria en el dividendo se procedió a utilizar las ecuaciones funcionales presentadas en la tabla 2 de los parámetros utilizados, estos resultados individuales se los multiplicó por su coeficiente de ponderación de la tabla 3; para el divisor se realizó la sumatoria de los coeficientes de ponderación de las variables empleadas, al dividir ambas sumatorias se obtiene el puntaje del ICA, con el cual se realizó la comparación con los criterios generales de calidad y la clasificación según lo usos del agua, establecidos en las tablas 4 y 5, respectivamente.

### **3.5 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA**

Para identificar y determinar las características físicas de la microcuenca como: margen, lecho del río y calidad de la vegetación de ribera, la caracterización se llevó a cabo de manera visual en los sitios de muestreo; comparando lo observado con las categorías establecidas en los protocolos 1 y 2 de Acosta R et al., (2014); también tomando como referencia las imágenes que se incluyen en los mismos.

### **3.6 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE BMWP**

#### **3.6.1 TIPO DE MUESTREO**

A razón de que el índice BMWP se fundamenta en las comunidades de macroinvertebrados el muestreo deber ser de tipo cualitativo (Alba-Tercedor, 1996); con el fin de obtener una mayor representación de los macroinvertebrados se tomó tres muestras sencillas para formar una muestra compuesta. En cuanto al procedimiento de toma de muestras se tomó en cuenta el PROTOCOLO 5: Macroinvertebrados bentónicos realizado por ETAPA EP, SENAGUA – DHS, Universidad de Cuenca, Programa PROMETEO de la SENEYCYT (Acosta R et al., 2014).

#### **3.6.2 FRECUENCIA Y PROCEDIMIENTO DE MUESTREO**

El muestreo se realizó manualmente, en las mismas etapas y fechas planteadas para la toma de muestras del índice ICA.

El procedimiento para la toma de muestras fue el siguiente:

1. Se identificó los microhábitats donde se realizará la toma de muestras, teniendo en cuenta los tipos de sustratos, entre otros.
2. Para coleccionar las muestras se utilizó una red macro de 300 micras de ojo de malla (figura 19) que se colocó en contra corriente, apoyándola directamente en el fondo del cuerpo hídrico y sujetándola por un mango; con ayuda de una rama se buscó remover el sustrato a razón de que los macroinvertebrados que estén aferrados a este se suelten y puedan ser atrapados por la red (figura 20).
3. Siendo lo más conveniente, identificar los organismos sobre una bandeja plana blanca luego de recogerlos, ya que si estos se mueven hacen más fácil su localización (Alba-Tercedor, 1996), pero con el fin de obtener resultados más exactos se optó por llevarlos al laboratorio colocando las muestras en fundas con cierre hermético (Figuras 21 y 22); para conservar los macroinvertebrados se añadió alcohol al 96% y unas gotas de glicerina (Acosta et al., 2014); para su

traslado al laboratorio se las mantuvo en un enfriador de espuma de poliestireno con gran cantidad de hielo.

4. El procesamiento de las muestras de los macroinvertebrados se realizó en el laboratorio de Limnología de la Universidad del Azuay.



Figura 19. Red de 300 micras con mango



Figura 20. Remoción del sustrato mediante la ayuda de una rama



Figura 21. Fundas con cierre hermético



Figura 22. Los macroinvertebrados y el sustrato atrapado por la red se colocan en fundas con cierre hermético

### 3.6.3 CALCULO DEL ÍNDICE BMWP (BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY) MODIFICADO PARA COLOMBIA.

Luego de la identificación de las muestras en el laboratorio, se elabora un inventario con todas las familias presentes en las estaciones o sitios de muestreo, se busca la puntuación asignada a cada familia la cual se especifica en tabla 8; la sumatoria de las puntuaciones de las familias nos da como resultado el valor del índice por estación (Alba-Tercedor, 1996); a este valor se lo dividió para el número de familias encontradas y se obtuvo la variante ASPT, obteniendo de esta manera dos índices, cuyos puntajes se ubicaron y compararon con los valores de la tabla 9 para la determinación de la clase, calidad y significado ecológico del agua de la microcuenca.

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizados los análisis y por razones que se mencionan más adelante en el apartado 4.2 se asignó a la etapa de transición como caudal alto y la etapa de verano como caudal bajo; la etapa de invierno se consideró solo en análisis donde generó resultados importantes.

### 4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MICROCUENCA

#### 4.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL LECHO Y MARGEN DE LA MICROCUENCA

Tabla 15. Características del lecho y margen (hábitat fluvial) de la microcuenca del Río Piñas

| APARTADOS                               | ESTACIONES | CATEGORÍAS   |
|---|------------|--|
| 1. Inclusión y limitación del sustrato  | 1          | Inclusión 30% -60%                                     |
|   | 2          | Inclusión 30% -60%                                     |
|   | 3          | Inclusión > 60%  |
|   | 4          | Inclusión > 60%  |
| 2. Frecuencia de rápidos                | 1          | Ocurrencia ocasional de rápidos                        |
|   | 2          | Ocurrencia ocasional de rápidos                        |
|   | 3          | Ocurrencia ocasional de rápidos                        |
|   | 4          | Ocurrencia ocasional de rápidos                        |
| 3. Composición del sustrato             | 1          | Arena, grava, cantos rodados y limo                    |
|   | 2          | Arena, grava, cantos rodados y limo                    |
|   | 3          | Arena, grava, cantos rodados y limo                    |
|   | 4          | Bloques y piedras, arena, grava, cantos rodados y limo |
| 4. Regímenes de velocidad / profundidad | 1          | Lento somero   |
|   | 2          | Lento somero   |
|   | 3          | Rápido somero  |
|   | 4          | Rápido profundo  |
| 5. Sombra en el cauce                   | 1          | Totalmente expuesto                                    |
|   | 2          | Totalmente expuesto                                    |
|   | 3          | Grandes claros   |
|   | 4          | Sombreado con ventanas                                 |
| 6. Elementos de heterogeneidad          | 1          | Diques naturales y raíces expuestas                    |
|   | 2          | Diques naturales y raíces expuestas                    |
|   | 3          | Diques naturales y, hojarascas y ramas                 |
|   | 4          | Diques naturales y, hojarascas y ramas                 |
| 7. Cobertura de vegetación acuática     | 1          | Plocon: algas filamentosas                             |
|   | 2          | Plocon: algas filamentosas                             |
|   | 3          | Plocon: algas filamentosas y fanerógamas acuáticas     |
|   | 4          | Plocon: algas filamentosas                             |

Fuente: (Acosta R et al., 2014), Autor, 2017

## 4.1.2 VEGETACIÓN DE RIBERA

Tabla 16. Características de la vegetación de ribera en la microcuenca el Río Piñas

| APARTADOS  | ESTACIONES | CATEGORÍAS   |
|--|------------|--|
| 1.Grado de cubierta de la zona de ribera:        | 1          | Grado de la cubierta <10% y conectividad entre la vegetación de ribera y la adyacente >50% |
|  | 2          | Grado de la cubierta <10% y conectividad entre la vegetación de ribera y la adyacente >50% |
|  | 3          | Grado de la cubierta >80% y conectividad entre la vegetación de ribera y la adyacente >50% |
|  | 4          | Grado de la cubierta >80% y conectividad entre la vegetación de ribera y la adyacente >50% |
| 2.Estructura de la cubierta de la zona de ribera | 1          | Recubrimiento de la ribera sin árboles ni arbustos   |
|  | 2          | Recubrimiento de la ribera sin árboles ni arbustos   |
|  | 3          | Concentración de arbustos >50%   |
|  | 4          | Recubrimiento de árboles >75%  |
| 3.Calidad de la cubierta de ribera               | 1          | Ribera con todas las especies vegetales autóctonas   |
|  | 2          | Ribera con todas las especies vegetales autóctonas   |
|  | 3          | Ribera con todas las especies vegetales autóctonas y presencia de pastizales y ganadería   |
|  | 4          | Ribera con todas las especies vegetales autóctonas y presencia de pastizales y ganadería   |
| 4.Grado de naturalidad del canal fluvial         | 1          | Canal del río no ha sido modificado y presencia de vertidos y presencia de basuras         |
|  | 2          | Canal del río no ha sido modificado y presencia de vertidos y presencia de basuras         |
|  | 3          | Canal del río no ha sido modificado  |
|  | 4          | Canal del río no ha sido modificado  |

Fuente: (Acosta R et al., 2014) Autor, 2017

## 4.2 CAUDAL

### 4.2.1 ANÁLISIS DE CAUDAL

Durante el monitoreo se presentó una situación atípica generada por mayores precipitaciones en la época de transición que en la de invierno (variación promedio 19%) la cual se atribuye a que en este año se presentaron grandes precipitaciones para la región costa del país en el mes de mayo provocando lluvias de gran intensidad, 164% mayor al promedio histórico (Dato tomado del diario El Comercio publicado el día 05/2017, (Paucar 2017)); debido a esto se determinó a la época de transición como caudal alto.

Tabla 17. Caudales promedio ( $m^3/s$ ) para las etapas invierno y transición.

| ESTACIONES | SECTOR          | ETAPAS DE MONITOREO    |                          |
|------------|-----------------|------------------------|--------------------------|
|            |                 | INVIERNO<br>05/04/2017 | TRANSICIÓN<br>27/05/2017 |
| 1          | LA GARGANTA     | 0,057                  | 0,069                    |
| 2          | JUAN PABLO II   | 0,104                  | 0,126                    |
| 3          | MOLANA          | 1,018                  | 1,251                    |
| 4          | SAN ROQUE       | 1,379                  | 1,719                    |
|            | $\Sigma$        | <b>2,558</b>           | <b>3,165</b>             |
|            | <b>Promedio</b> | <b>0,639</b>           | <b>0,791</b>             |

Fuente: Autor, 2017

En la tabla 18 se observa los caudales promedio en  $m^3/s$ , para la etapa de caudal alto, los valores varían entre 0,069 (estación 1) y 1,719  $m^3/s$  (estación 4); y para la etapa de caudal bajo se presentaron valores entre 0,032 (estación 1) y 0,593  $m^3/s$  (estación 4); el porcentaje promedio de variación entre los dos caudales en las 4 estaciones de monitoreo es de 70%.

En la figura 23 se observa el comportamiento espacial y temporal del caudal de la microcuenca, donde a medida que el cauce del río continúa este va aumentando su caudal, lo que se atribuye a las descargas de aguas residuales y, altas (y constantes precipitaciones) en la etapa de caudal alto y en la etapa de caudal bajo principalmente a descargas de aguas residuales (se debe tomar en cuenta que las estaciones se ubicaron desde el nacimiento hasta la desembocadura de la microcuenca); las estaciones 1 y 2 son las que presentan menores caudales comparados con las estaciones 3 y 4.

La estación 1 muestra el menor caudal en relación con las demás estaciones, esto se atribuye a que se encuentra cerca del curso superior de la microcuenca; la estación 2, como ya se mencionó anteriormente en el capítulo III, se ubica en un sector donde existe poca densidad de viviendas (en relación con la estación 3) y se presentó un aumento de caudal de 45% en caudal alto y 61% en caudal bajo. La estación 3 muestra una diferencia más significativa de caudal donde el porcentaje de aumento para caudal alto fue 90% y caudal bajo 66%. La estación 4 se encuentra más cerca de la desembocadura del río por lo cual reúne las aguas residuales y aguas lluvias de las parroquias Piñas y San Roque, generando un porcentaje de aumento de caudal de 27% para caudal alto y 60% en caudal bajo.

Los caudales altos se presentaron en los meses de abril y mayo (sin tomar en cuenta la situación atípica), y los bajos en julio, esto se corrobora con la información mencionada en la investigación de Aguirre (2014) realizada en el cantón Zaruma (el

cual limita al sur con el cantón Piñas), donde la época de caudales altos se presenta en los meses de noviembre hasta abril y caudales bajos desde mayo a noviembre .

Tabla 18. Caudales promedio ( $m^3/s$ ) durante el monitoreo en las etapas seleccionadas

| ESTACIONES | SECTOR        | ETAPAS DE MONITOREO       |                           |
|------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
|            |               | CAUDAL ALTO<br>24/05/2017 | CAUDAL BAJO<br>05/07/2017 |
| 1          | LA GARGANTA   | 0,069                     | 0,032                     |
| 2          | JUAN PABLO II | 0,126                     | 0,081                     |
| 3          | MOLANA        | 1,251                     | 0,236                     |
| 4          | SAN ROQUE     | 1,719                     | 0,593                     |
|            | $\Sigma$      | <b>3,165</b>              | <b>0,942</b>              |
|            | Promedio      | <b>0,791</b>              | <b>0,235</b>              |

Fuente: Autor, 2017

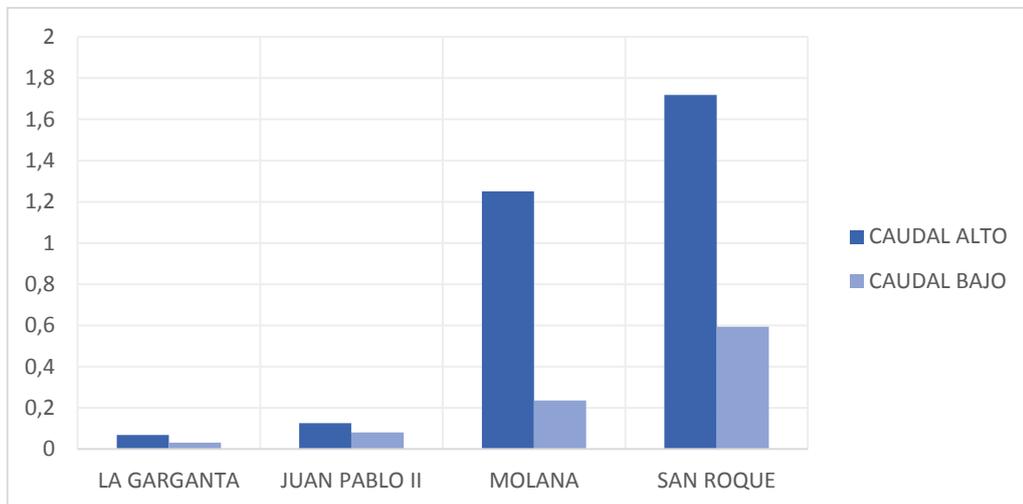


Figura 23. Variabilidad temporal de los caudales en las estaciones de muestreo.

Fuente: Autor, 2017

### 4.3 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) DE MONTOYA

#### 4.3.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS PARA DETERMINAR EL ICA

En este análisis se toma en cuenta la etapa de invierno, debido a los valores significativos presentados en distintos parámetros correspondientes a la estación 3, sector Molana, los cuales se puede observar en el anexo 1, tabla 30.

En la etapa catalogada como invierno (05/04/2017), cantidades elevadas de parámetros fisicoquímicos como color (288,0 UC, Pt Co), turbidez (1193,0 NTU, FTU), temperatura (24 °C), conductividad eléctrica (266,0  $\mu s/cm$ ), fosfatos totales (5,1 mg/l), sólidos suspendidos totales (1242,9 mg/l), sólidos disueltos totales (1242,9 mg/l), nitrógeno amoniacal (1,8 mg/l), DBO (34 mg/l), coliformes totales ( $7,80E+07$  NMP/100ml) y Coliformes fecales (*E. Coli*) ( $7,80E+07$  NMP/100ml) se atribuyen a la

presencia de aguas residuales domésticas y sobre todo materia orgánica biodegradable<sup>1</sup> (Ayora, 2010) (Montalvo et al., 2008).

Una vez ejecutado el análisis de los parámetros que se utilizan para el cálculo del índice ICA en ambos caudales, se determina las relaciones que existen entre los valores y las etapas de monitoreo. Los datos de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos identificados en caudal alto y caudal bajo, se pueden apreciar en el Anexo 1, tablas 31 y 32 respectivamente.

### Temperatura

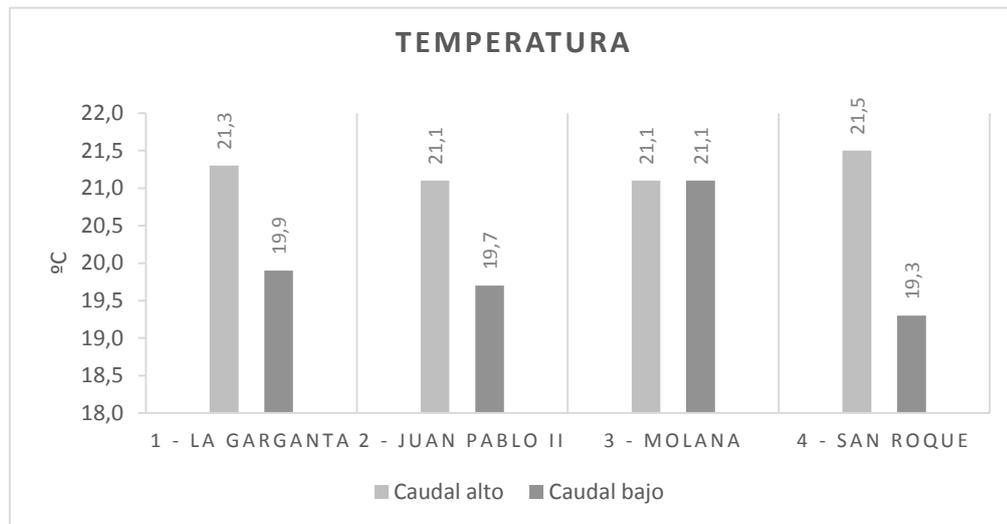


Figura 24. Temperatura en las etapas de caudal alto y bajo

Fuente: Autor, 2017

Las condiciones meteorológicas del día de la toma de muestras para caudal alto fueron soleado y nublado; y para caudal bajo con predominio de nubes. La temperatura máxima encontrada en la microcuenca (21,5°C) se obtuvo en la etapa de caudal alto, en la estación 4.

<sup>1</sup> Durante la toma de muestras para la estación 3, etapa de invierno, se evidenció en las aguas del río restos de ganado vacuno (piel y mandíbula) cuya procedencia se asume al camal situado junto al punto de toma de muestras, razón por la cual presenta una elevada carga contaminante.

## Color

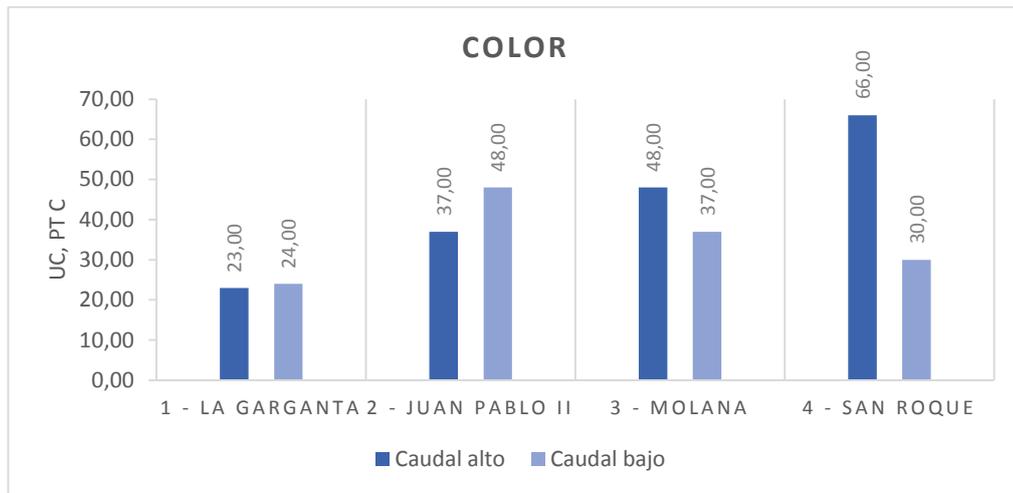


Figura 25. Color en las etapas de caudal alto y bajo  
Fuente: Autor, 2017

En este parámetro se presentó una tendencia de elevados valores en caudal alto y menores en caudal bajo; los valores mínimos y máximos en la etapa de caudal alto se presentaron en las estaciones 1 (23,0 UC, Pt C) y 4 (66,0 UC, Pt Co); y para caudal bajo en las estaciones 1 (24,0 UC, Pt Co) y 2 (48,0 UC, Pt C).

## Turbidez

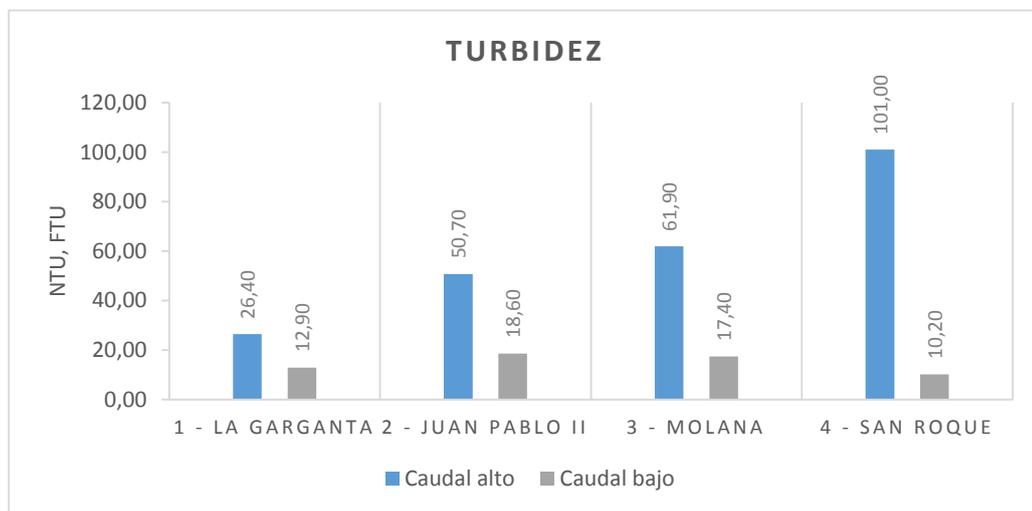


Figura 26. Turbidez en las etapas de caudal alto y bajo  
Fuente: Autor, 2017

Para la turbidez se presentó la inclinación de mayores valores en caudal alto y menores en caudal bajo al igual que en el estudio de Álvarez (2009) donde se menciona que la turbidez de los ríos se incrementa en épocas con precipitaciones, debido a la presencia de sustancias suspendidas de carácter orgánico (Ayora, 2010).

## Conductividad eléctrica

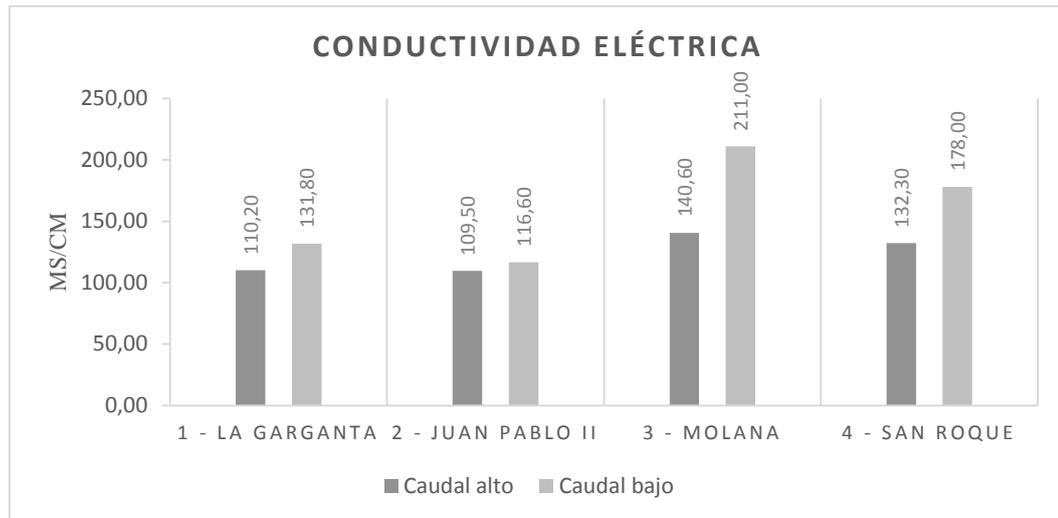


Figura 27. Conductividad eléctrica en las etapas de caudal alto y bajo

Fuente: Autor, 2017

Los valores de conductividad eléctrica presentaron una tendencia de aumento en caudales bajos, semejante al estudio de Álvarez (2009) donde menciona que por razones de caudal bajo la capacidad del río para diluir sustancias se reduce.

## Sólidos suspendidos totales

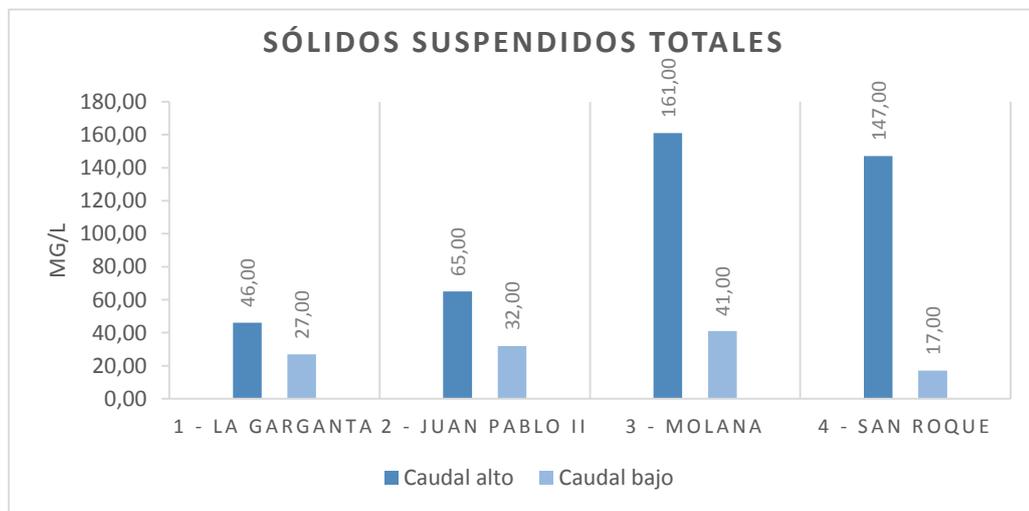


Figura 28. Sólidos suspendidos totales en las etapas de caudal alto y bajo

Fuente: Autor, 2017

Los sólidos suspendidos presentaron mayores valores en caudales altos, debido al arrastre de partículas que se genera en épocas lluviosas (Peñañiel Romero, 2014) y cantidades bajas de SST se atribuyen a la estabilidad hidrológica de la microcuenca (Álvarez, 2009).

## Sólidos disueltos totales

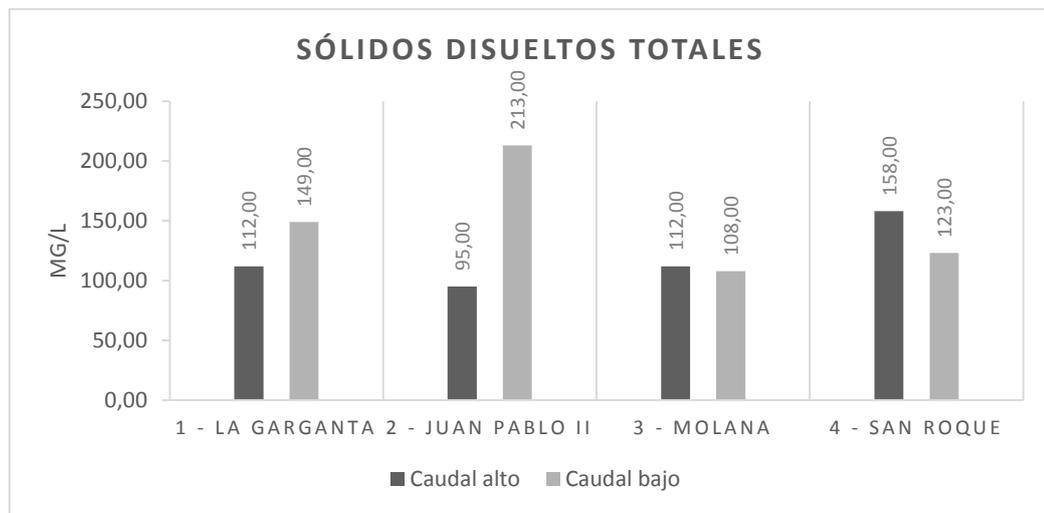


Figura 29. Sólidos disueltos totales en las etapas de caudal bajo y alto  
Fuente: Autor, 2017

Se observó la tendencia de, mayores valores de sólidos disueltos en caudal bajo y menores en caudales alto, resultados similares se obtuvieron en el estudio de Peñafiel Romero (2014) donde los SDT se disminuyeron en caudales altos y concentraron en caudales bajos.

## pH

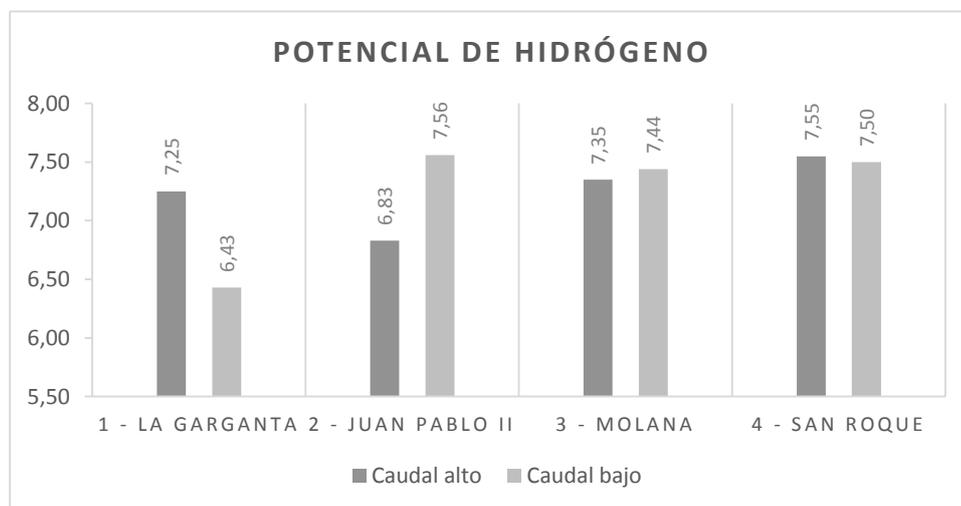


Figura 30. pH en las etapas de caudal alto y bajo  
Fuente: Autor, 2017

Para este parámetro se obtuvo dos valores de pH, los cuales (según la escala del mismo) catalogan como ligeramente ácido: en la etapa de caudal bajo estación 1 con 6,38 y para caudal bajo, estación 2 con 6,43; los cuales se pueden atribuir a la geología que atraviesa por estos puntos (lavas andesíticas a riolíticas, piroclastos pertenecientes a la formación Volcánicas Saraguro, que provocan sustancias ácidas (Vega Oyola, 2013) y al ser estaciones situadas cerca de la naciente del río, su

columna de agua es pequeña por lo tanto existe mayor intercambio de sustancias entre el agua superficial y el lecho del río, sin embargo para esta teoría no se evidenció un patrón definido.

### Alcalinidad

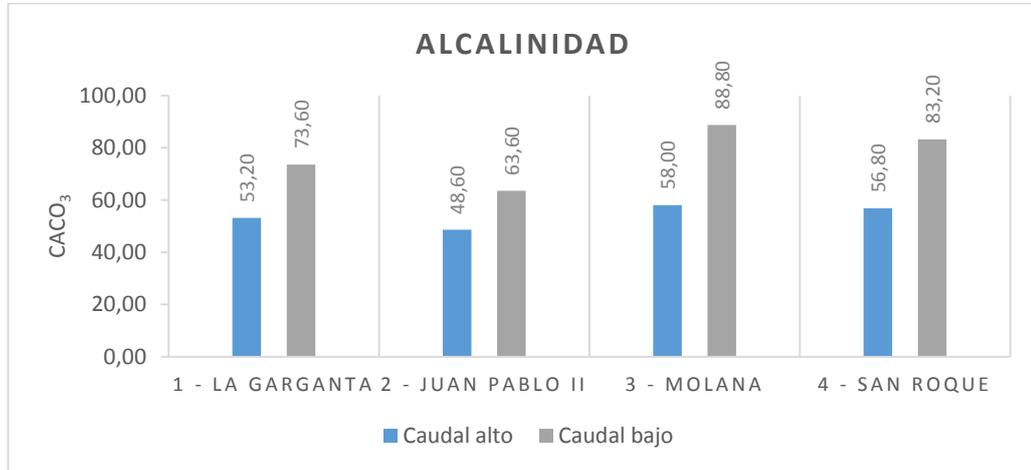


Figura 31. Alcalinidad en las etapas de caudal alto y bajo  
Fuente: Autor, 2017

Los valores de alcalinidad se concentraron en caudales bajos de modo que el promedio en esta etapa fue 77,3 mg/l, CaCO<sub>3</sub> y para el caudal alto 54,15 mg/l, CaCO<sub>3</sub>. La cifra máxima encontrada en ambos valores fue en la estación 3 (caudal alto = 58 mg/l, CaCO<sub>3</sub> y caudal bajo = 88,8 mg/l, CaCO<sub>3</sub>).

### Dureza total

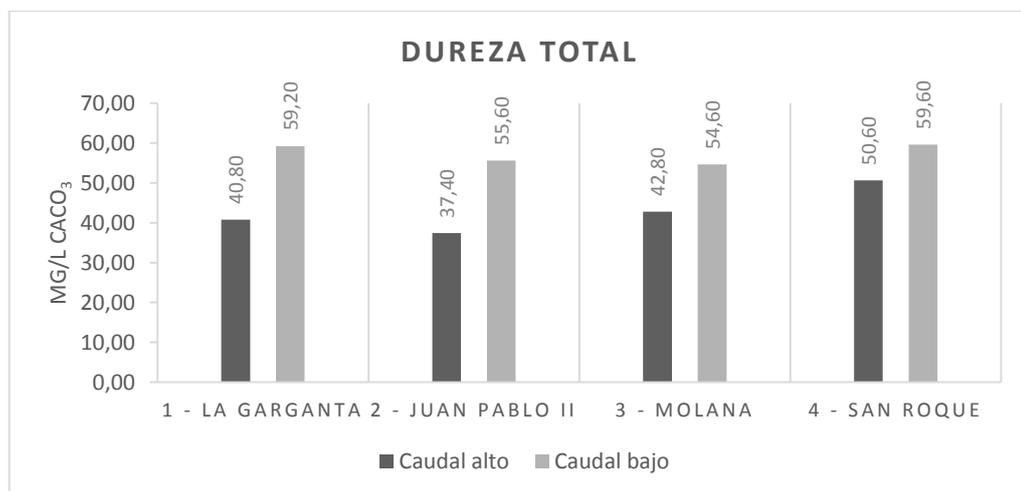
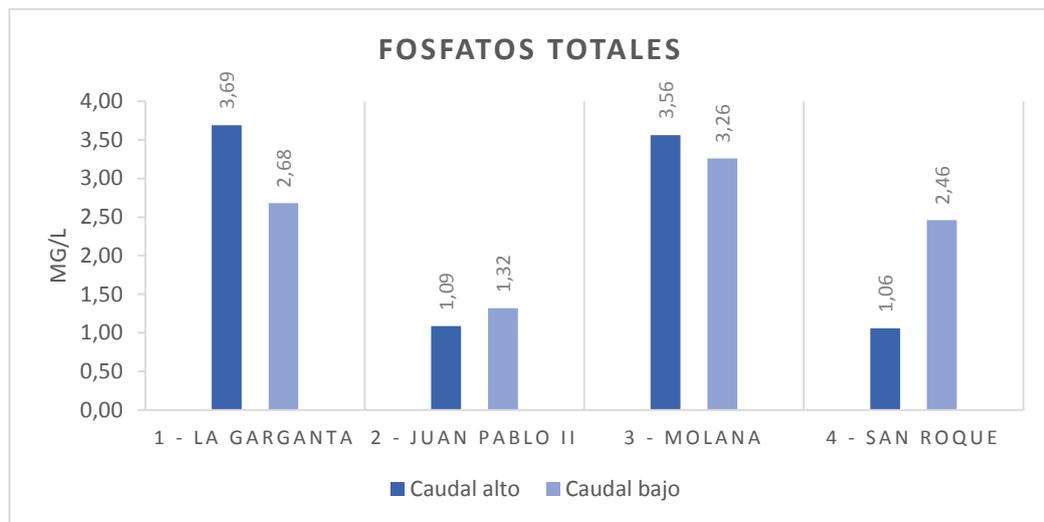


Figura 32. Dureza total en las etapas de caudal alto y bajo  
Fuente: Autor, 2017

Con base a la tabla citada por Auquilla (2005) sobre la clasificación del agua según la cantidad de mg/l de CaCO<sub>3</sub> presente, las aguas de la microcuenca durante el monitoreo se catalogaron como blandas.

## Fosfatos



Fuente: Autor, 2017

Altas cantidades de fosfato se atribuyen a la disolución de roca y minerales (Ayora, 2010) lo que posiblemente suceda con la estación 1 en ambos caudales de monitoreo, debido a que la columna de agua se separa pocos centímetros del lecho rocoso; en cambio para la estación 3, los altos valores de fosfatos se adjudican principalmente a aguas con presencia de detergentes (Jimenez Aznar, 2000).

## Cloruros

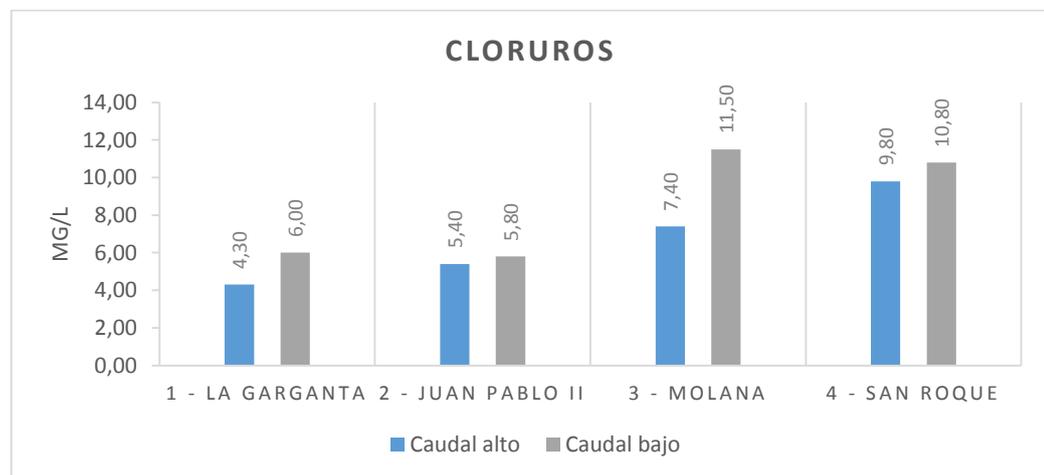


Figura 34. Cloruros en las etapas de caudal alto y bajo  
Fuente: Autor, 2017

En caudal alto se encontró valores de cloruros entre 4,3 a 9,8 mg/l y en caudal bajo entre 5,8 a 11,5 mg/l; estos compuestos son típicos indicadores de contaminaciones generados por aguas residuales domésticas (Ayora, 2010).

## Nitratos

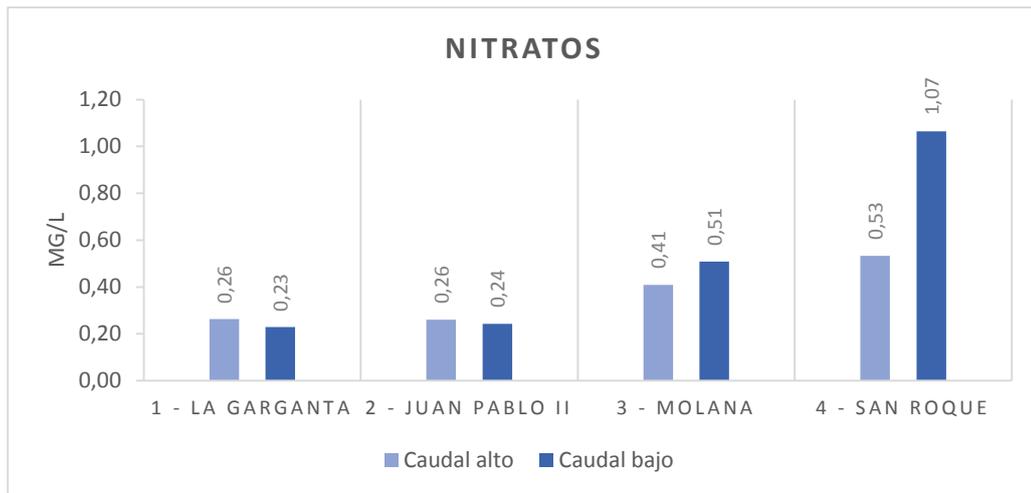


Figura 35. Nitratos en las etapas de caudal alto y bajo  
Fuente: Autor, 2017

Para los nitratos se presentó la tendencia de mayores concentraciones en caudales bajos y menores en caudales altos; también en ambos caudales presentaron el incremento a medida que avanza el cauce del río; la alta presencia de este compuesto en el agua es un indicador de la descomposición de materia animal y vegetal (Ayora, 2010).

## Nitrógeno amoniacal

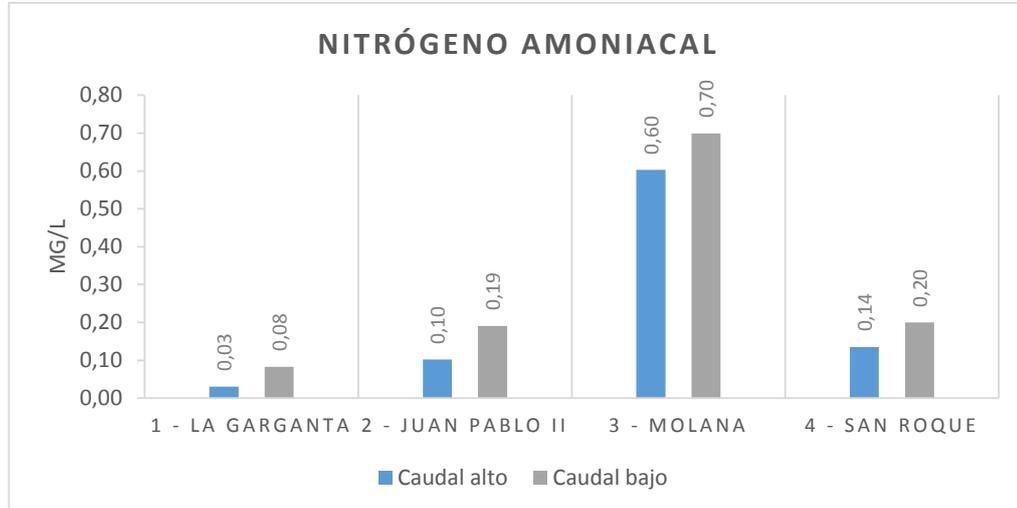


Figura 36. Nitrógeno amoniacal en las etapas de caudal alto y bajo  
Fuente: Autor, 2017

Los valores de nitrógeno amoniacal dentro del caudal alto estuvieron entre 0,031 a 0,630 mg/l y en la etapa de caudal bajo 0,083 a 0,699 mg/l al igual que el estudio de Peñafiel Romero (2014) donde el  $\text{NO}^3\text{-N}$  aumenta en caudales bajos, los máximos valores encontrados en ambos caudales fueron los de la estación 3 (caudal alto = 0,630 mg/l y caudal bajo= 0,699), lo cual se acredita a que este es directamente proporcional con la actividad biológica (Rivera Gutierrez, 2011).

### Oxígeno disuelto

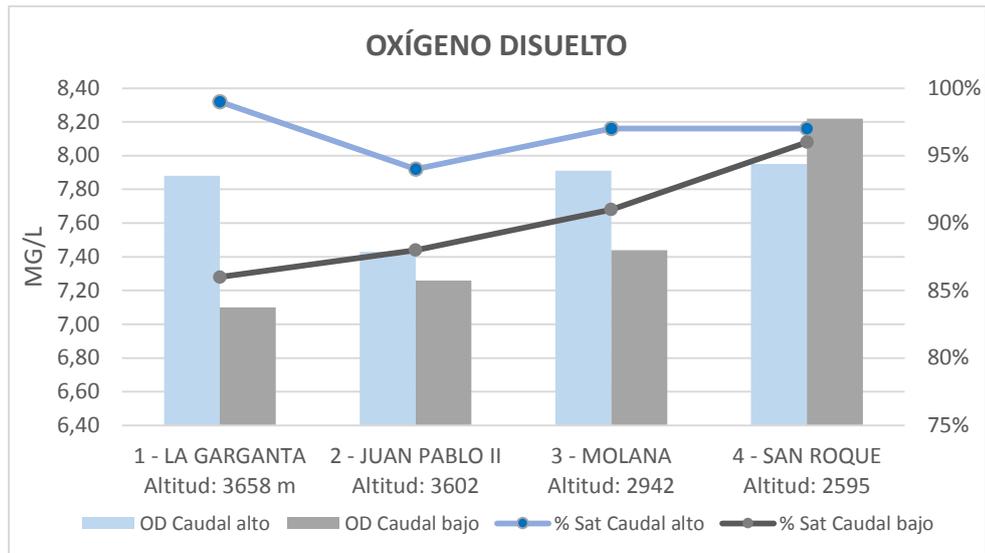


Figura 37. Oxígeno disuelto en las etapas de caudal alto y bajo  
Fuente: Autor, 2017

El oxígeno, generalmente en ambos caudales de monitoreo, se observa la tendencia de aumentar a medida que el cauce del río avanza; adjudicando esto al factor de altitud, ya que a medida que aumenta la elevación disminuye la cantidad de oxígeno disuelto (tomando en cuenta que las estaciones se ubicaron de mayor a menor altitud, debido a que el cauce del río avanza de mayor a menor altitud – ver figura 4) (Forsberg, 2013), tal como se puede apreciar en la figura 37. En la etapa de caudal bajo, estación 4 se evidenció anoxia con 8,2 mg/l; lo que se justifica con la presencia de materia orgánica en el agua (Montalvo et al., 2008). El promedio de “% de OD” saturado para la etapa de caudal alto fue 97% y en caudal bajo 90%.

### DBO

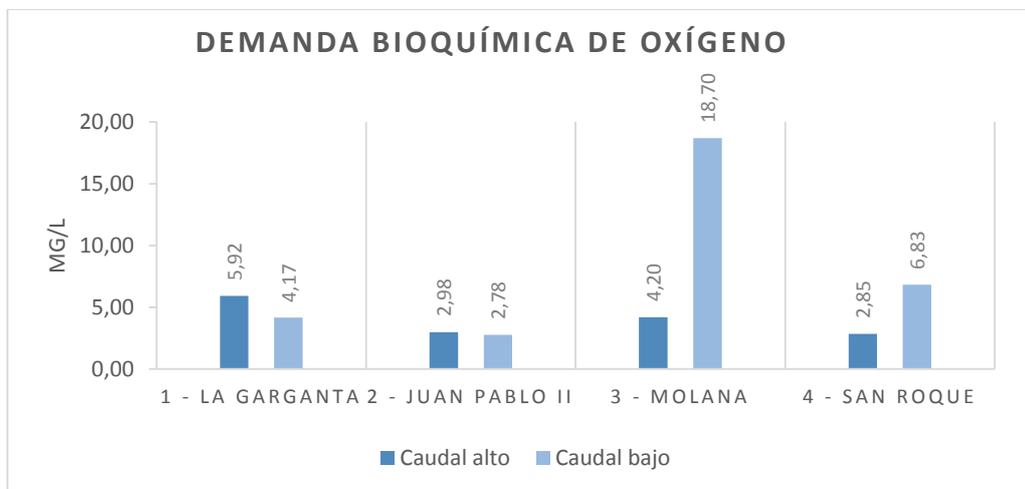


Figura 38. Demanda Bioquímica de Oxígeno en las etapas de caudal alto y bajo  
Fuente: Autor, 2017

Los datos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en la etapa asociada al caudal alto estuvieron entre 2,85 a 5,92 mg/l, donde el valor de 5,92 mg/l perteneciente a la estación 1 se asocia con la actividad microbiológica, generada por la descomposición de materia orgánica biodegradable (Montalvo et al., 2008) proveniente en su mayoría de un criadero de pollos ubicado cerca de esta estación; en el caudal bajo la cantidad de DBO varió entre 2,98 a 18,70 mg/l; siendo 18,70 mg/l dato que pertenece a la estación 3, el cual se puede adjudicar a una descarga puntual desde el camal privado ubicado a lado del sitio de toma de muestras, generando aumento en el proceso de biodegradación en la microcuenca (Rojas, 2002).

### Coliformes totales

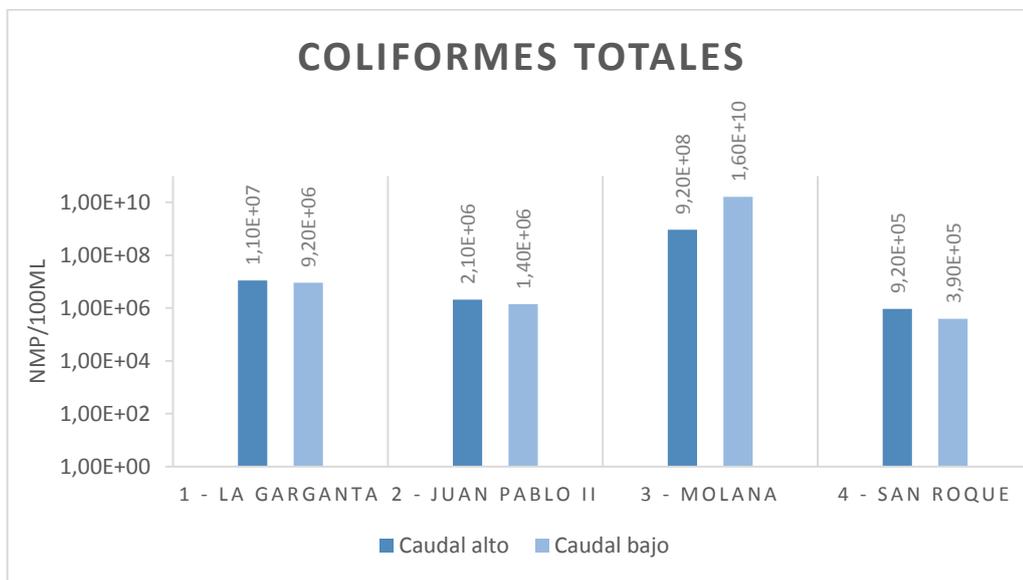


Figura 39. Coliformes totales en las etapas de caudal alto y bajo  
Fuente: Autor, 2017

Los valores más altos de coliformes totales encontrados en ambos caudales, pertenecen la estación 3 con 9,20 E+08 NMP/100ml en caudal alto y 1,60 E+10 NMP/100ml en caudal bajo, lo cual según Cocha Pallo (2009) se debe principalmente a la aportación de desechos orgánicos generados por animales de sangre caliente (ganado vacuno), además de la conglomeración de descargas de aguas residuales que atraviesa por esta estación de muestreo.

### Coliformes Fecales

Los valores de coliformes fecales en este estudio se representan por la abundancia de la bacteria patógena termotolerante *E. Coli*.

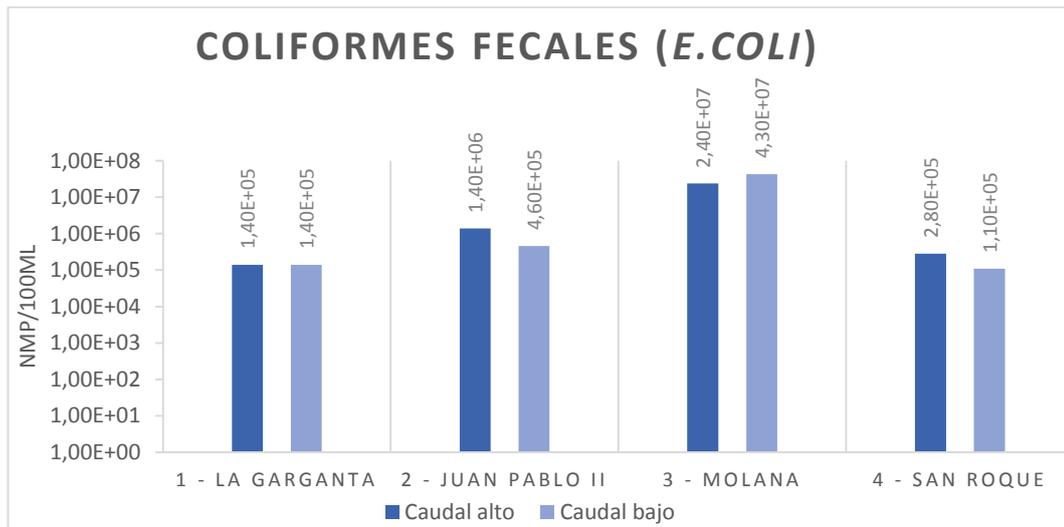


Figura 40. Coliformes fecales (*E. coli*) en las etapas de caudal alto y bajo  
Fuente: Autor, 2017

Los datos máximos de coliformes fecales (*E. Coli*) en ambos caudales se obtuvieron en la estación 3 con  $2,40 \text{ E}+07$  en caudal alto y  $4,30 \text{ E}+07$  NMP/100ml en caudal bajo, de modo que la presencia de esta bacteria patógena tuvo mayor predominancia en la estación 3; la estación 1 presentó una menor cantidad de organismos, tal como se observa en la figura 40.

Según los estudios de Álvarez (2009), Cocha Pallo (2009) y Peñafiel Romero (2014) la mayoría de las cifras altas de parámetros encontradas en las diferentes estaciones están ligadas a caudales bajos.

#### 4.3.1.1 ACP PARA LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN CAUDAL ALTO

El ACP para los parámetros fisicoquímicos se aplicó con el objetivo de identificar las interrelaciones entre las variables consideradas para determinar el grado de alteración de la microcuenca de estudio y simplificar su análisis, en este caso, se consideró 14 de los 17 parámetros fisicoquímicos analizados; la suma de los tres componentes constituye el 100% de la varianza.

En la figura 41 se aprecia el Análisis de Componentes Principales para las variables seleccionadas referente al análisis fisicoquímico, el componente 1 demuestra el 56% de varianza (figura 42) y se encuentra conformado por los parámetros CL,  $\text{NO}_3^-$  y DT. La variable CL tiene una fuerte correlación con las variables de CR, TURB, SST, SDT, DT y  $\text{NO}_3^-$  adjudicando a que todas estas variables denotan la contaminación antrópica al igual que los cloruros, mayores valores, mayor índice de contaminación (Pérez et al., 2013); la correlación entre los CL y DT ( $r = 0,88$ ) se debe a que la DT está influenciada por sales inorgánicas (incluido los CL), la correlación más significativa en este componente se presentó para la variable CR ( $r = 0,99$ ), la cual a

su vez se relaciona con los parámetros TURB ( $r = 0,99$ ) y SST ( $r = 0,84$ ), los cuales están totalmente influenciados por las precipitaciones (Peñañiel Romero, 2014). La TURB también se correlaciona fuertemente con los parámetros CL ( $r = 0,98$ ) y  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0,93$ ).

El componente 2 expone el 27,5% de la varianza (figura 42), constituido por las variables COLIF\_T, E\_COLI y  $\text{NH}_3\text{-N}$ , los cuales representan la contaminación causada por desechos de seres humanos, animales de sangre caliente y materia orgánica, presentes en aguas residuales domésticas (Rivera Usme, 2011). El  $\text{NH}_3\text{-N}$  tiene una correlación significativa con la COND\_E ( $r = 0,81$ ), la que a su vez se correlaciona con SST ( $r = 0,99$ ) y ALC ( $r = 0,90$ ), parámetros que se ven influenciados por la cantidad de materia orgánica particulada presente en el río (Rivera Usme, 2011).

El Componente 3 está conformado por las variables DBO, OD y FT, explicando el 16% de varianza (figura 42), se evidencia una correlación relevante entre DBO y FT ( $r = 0,88$ ) sabiendo que altas cantidades de fosfatos generan eutrofización de las aguas, por el crecimiento excesivo de algas, de manera que estas al ser degradadas influirán directamente en los valores de DBO (Barbaho, 2002). De manera que, cuando se presentó un incremento o disminución la DBO para este caudal, los FT presentaron la misma inclinación (ver anexo 1, tabla 31). Existe una fuerte correlación entre el OD y las variables ALC ( $r = 0,90$ ) y pH ( $r = 0,95$ ).

Existe una correlación importante entre pH y ALC ( $r = 0,91$ ) lo cual se atribuye a que la alcalinidad está influenciada por el pH (Barrenechea Martel, 2007), pese a lo señalado no se presentó un patrón definido relacionado con esta tendencia, sin embargo la estación 2 demostró esta inclinación, es decir que, donde se obtuvo el valor mínimo pH ( $\text{pH} = 6,38$ ; ver anexo 1, tabla 31), también se encontró la cifra mínima de ALC (alcalinidad = 48,6 mg/l,  $\text{CaCO}_3$ ; ver anexo 1, tabla 31).

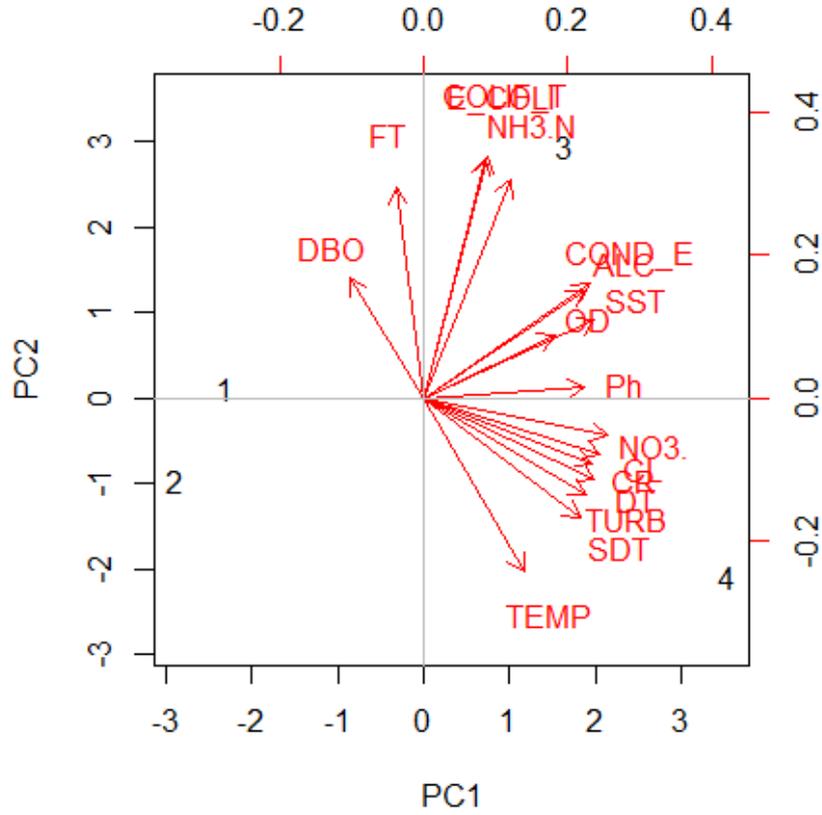


Figura 41. ACP para las variables fisicoquímicas en caudal alto  
Fuente: Autor, 2017

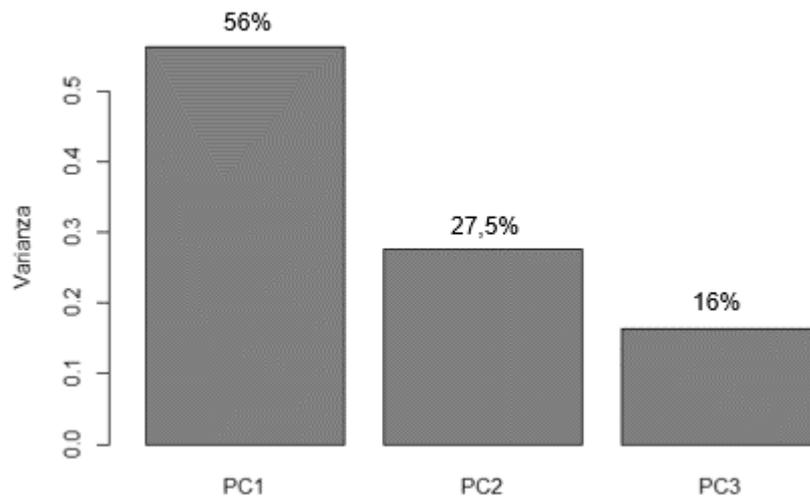


Figura 42. Varianza de los componentes principales en caudal alto  
Fuente: Autor, 2017

#### 4.3.1.2 ACP PARA LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN CAUDAL BAJO

En la figura 43, se aprecia el ACP de los parámetros fisicoquímicos para el caudal bajo, considerando 13 de 17 variables; los tres componentes conforman el 100% de la varianza.

El componente 1 explica el 52% de la varianza (figura 44) y está formado por las variables COLIF\_T y E\_COLI relacionadas negativamente, es decir al disminuir estas variables disminuye el valor del componente 1. Las variables de COLIF\_T y E\_COLI presentan una significativa relación con la TEMP ( $r = 0,94$ ), lo que se atribuye a que su mortalidad y capacidad de colonización depende del grado de temperatura al que están sometidas (Arcos et al., 2005); también se relacionan fuertemente con la DBO ( $r = 0,97$ ), donde al ser estas variables propias de aguas residuales domésticas, su descarga al río incrementa la actividad biológica del mismo (Quiroz, 2012). Por lo tanto, a medida que existe mayor cantidad de coliformes totales y fecales, la DBO aumenta (estación 3, DBO = 18,70 mg/l, COLIF\_T = 1,6 E+10, E\_COLI = 4,3 E+07 NMP/100ml – valores máximos encontrados).

El Componente 2, expresa el 33% de la varianza (figura 44) y se conforma de las variables DT y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, donde DT se correlaciona negativamente con los parámetros TURB ( $r = - 0,93$ ) y SST ( $r = - 0,90$ ) y a su vez estas variables tuvieron una correlación positiva importante entre sí ( $r = 0,86$ ), sabiendo que la turbidez determina la presencia de sustancias en suspensión, principalmente de tipo orgánico propias de aguas residuales domésticas (Ayora, 2010). El NO<sub>3</sub><sup>-</sup> presentó una alta relación con el parámetro OD ( $r = 0,98$ ), lo que se explica mediante la capacidad de oxidación y reducción de sustancias que posee la microcuenca, haciéndola rica en OD, al igual que en compuesto oxidados como los nitratos (Ayora, 2010) de tal manera que a mayor cantidad de Oxígeno disuelto (estación 1, OD = 8,22 mg/l; valor máximo) mayor cantidad de nitratos ( estación 1, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 1,06 mg/l; valor máximo).

El componente 3 refleja el 15 % de la varianza (figura 44) e incluye las variables FT y pH, este último valor correlacionado negativamente con el componente; entre los parámetros FT y ALC ( $r = 0,88$ ) se obtuvo una alta correlación positiva tomando en cuenta que el 50% del fósforo total se relaciona con la cantidad de detergentes (sabiendo que son aguas residuales domésticas) y depende directamente de los valores de pH, y este a su vez con la alcalinidad, teniendo en cuenta que esta variable se determina mediante valoración “ácido - base” (Ayora, 2010). Para la correlación negativa de la variable pH en cuanto al componente 3, se encontró la fuerte relación entre pH y CR ( $r = 0,73$ ) existiendo una analogía directa, es decir en la estación donde

se encontró el menor valor de pH (estación 3, pH = 6,43 mg/l) también se encontró el valor mínimo de color (estación 3, CR = 24 UC, Pt Co).

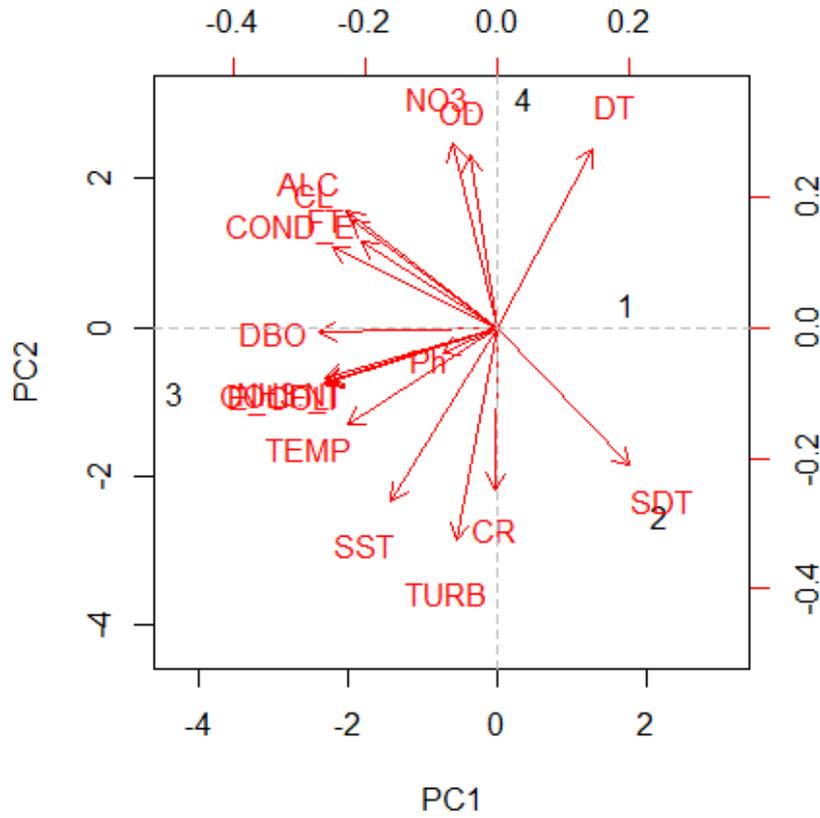


Figura 43. ACP de los parámetros fisicoquímicos para caudal bajo  
Fuente: Autor, 2017

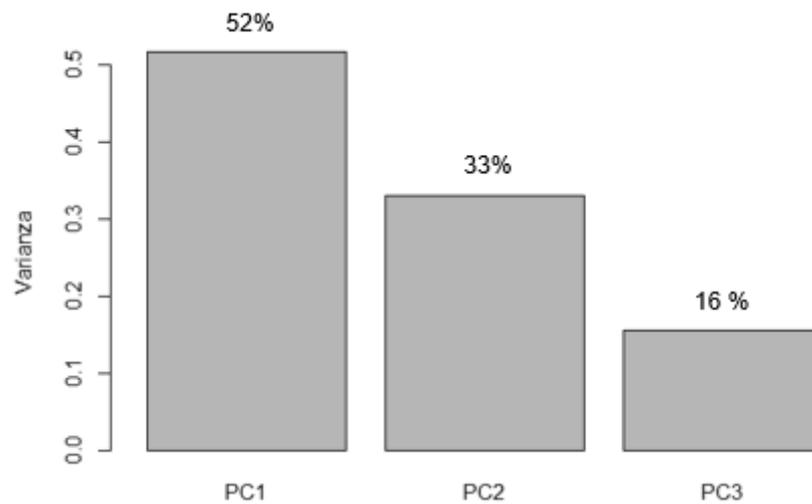


Figura 44. Varianza de componentes principales en caudal bajo  
Fuente: Autor, 2017

#### 4.3.2 ANÁLISIS DEL ÍNDICE ICA DE MONTOYA 1997

En este análisis se menciona la etapa invierno (monitoreo 05 de abril) donde el índice de calidad de agua para esta etapa fue de 48,92 como valor promedio (tabla 19); en general en la mayoría de las estaciones los valores estuvieron por encima de la mediana (respecto a los valores establecidos del ICA), excepto para la estación 3 en la cual se obtuvo 38,31; valor que se justifica con los mencionado en el análisis de los parámetros fisicoquímicos, donde la alta carga orgánica se evidenció con mayor fuerza en esta estación; para las estaciones 1 y 2 se obtuvo 4% de diferencia entre los índices lo que se atribuye a lo mencionado anteriormente sobre los vertidos del criadero de pollos cercano a la estación 1; para las estaciones 2 y 3 fue de 45%; y en las estaciones 3 y 4 se encontró 22% entre índices.

Tabla 19. ICA de Montoya en la etapa invierno

| ESTACIONES | SECTOR        | INVIERNO<br>05/04/2017 |
|------------|---------------|------------------------|
| 1          | LA GARGANTA   | 53,03                  |
| 2          | JUAN PABLO II | 55,42                  |
| 3          | MOLANA        | 38,31                  |
| 4          | SAN ROQUE     | 48,93                  |
| $\Sigma$   |               | 195,69                 |
| Promedio   |               | 48,9225                |

Fuente: Autor, 2017

Los valores del ICA generados en los caudales alto y bajo, con base en los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos se muestran en la tabla 20.

La etapa de caudal alto, generó mayores valores del ICA por efecto de dilución de contaminantes debido a la mayor columna de agua. El ICA promedio para esta etapa fue de 52,06; entre las estaciones 1 y 2 se obtuvo 4,83% de diferencia entre índices, siendo la estación 2 la que generó el valor máximo del ICA (56,03<sup>a</sup>), el valor mínimo se presentó en la estación 3 con 47,67<sup>b</sup> como resultado de mayores descargas de agua residual doméstica; para la estación 4 el ICA presentó un diferencia promedio con la estación 3 de 6,95% lo que se atribuye a los procesos de autodepuración (Ramos Sánchez, 2015) y dilución del río tomando en cuenta que el tramo de diferencia entre las estaciones 3 y 4 es de 4,97 km aproximadamente.

La etapa de estiaje (caudal bajo) presentó un valor promedio del ICA de 48,61; los estudios de Cocha (2009) y Peñafiel (2014) afirman estos resultados donde el ICA decrece en los caudales bajos lo cual está influenciado directamente por el caudal y

parámetros como coliformes totales, conductividad, DBO, entre otros; sobre todo en las zona con mayor urbanización, para esta etapa el valor máximo se encontró en la estación 2 (53,49<sup>a</sup>) y el mínimo en la estación 3 (41,81<sup>b</sup>). La diferencia entre estaciones fue de 3%, 28% y 12% respectivamente.

En ambos caudales, las estaciones 1 y 2 (ICA máximo) presentaron mayores valores para el ICA y las estaciones 3 (ICA mínimo) y 4 valores más bajos.

Por lo tanto, el criterio general del ICA obtenido en caudales alto y bajo (tabla 21) en su mayoría fue: estaciones 1 y 2 “**poco contaminado**”; y para las estaciones 3 y 4 “**contaminado**”, evidenciando la tendencia decreciente de calidad de agua; con la excepción de la estación 4 en caudal alto, que presentó un criterio de “**poco contaminado**” lo cual se relaciona con la capacidad de dilución de contaminantes presentes en un río. En el estudio de Peñafiel (2014) las estaciones alejadas de la zona urbana en su mayoría presentaron un criterio “aceptable”; mientras continua el cauce del río el criterio decrece a “poco contaminado” y para las estaciones cercas o dentro de la urbe el criterio fue “contaminado”.

Las variaciones de porcentaje promedio en ambos caudales entre las estaciones 1 – 2 (4%) y 3 – 4 (9%) no es muy significativa, la verdadera tendencia se presenta entre las estaciones 2 – 3 (23%).

Al igual que en los estudios de Cocha Pallo (2009) y Peñafiel Romero (2014) los resultados para las estaciones con alta influencia urbana presentaron valores bajos del ICA y para las estaciones más alejadas de la zona urbanizada, por ende con menor contaminación los valores del ICA fueron mayores.

Se debe tener presente que la estación 3 recibe las aguas domésticas residuales de aproximadamente 5929 viviendas de todo tipo (incluyendo los camales municipal y privado) de la parroquia Piñas (incluidas las parroquias rurales La Susaya y Piñas Grande) y para la estación 4, que comprende el casco urbano de la parroquia rural San Roque, que recibe aguas residuales de 362 viviendas (Datos tomados del Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial del Cantón Piñas 2015).

En la figura 45 se observa la tendencia decreciente del ICA a medida que avanza el río, confirmando la existencia de la disparidad espacial de la calidad de agua de la microcuenca.

Tabla 20. ICA de Montoya en las etapas seleccionadas

| ESTACIONES | SECTOR        | ETAPAS DE MONITOREO       |                           |          |
|------------|---------------|---------------------------|---------------------------|----------|
|            |               | 24/05/2017<br>CAUDAL ALTO | 05/07/2017<br>CAUDAL BAJO | Promedio |
| 1          | LA GARGANTA   | 53,33                     | 51,89                     | 52,61    |
| 2          | JUAN PABLO II | 56,03 <sup>a</sup>        | 53,49 <sup>a</sup>        | 54,76    |
| 3          | MOLANA        | 47,67 <sup>b</sup>        | 41,81 <sup>b</sup>        | 44,74    |
| 4          | SAN ROQUE     | 51,23                     | 47,27                     | 49,25    |
|            | Σ             | 208,26                    | 194,46                    |          |
|            | Promedio      | 52,06                     | 48,61                     |          |

<sup>a</sup> Valores máximos  
<sup>b</sup> Valores mínimos

Fuente: Autor, 2017

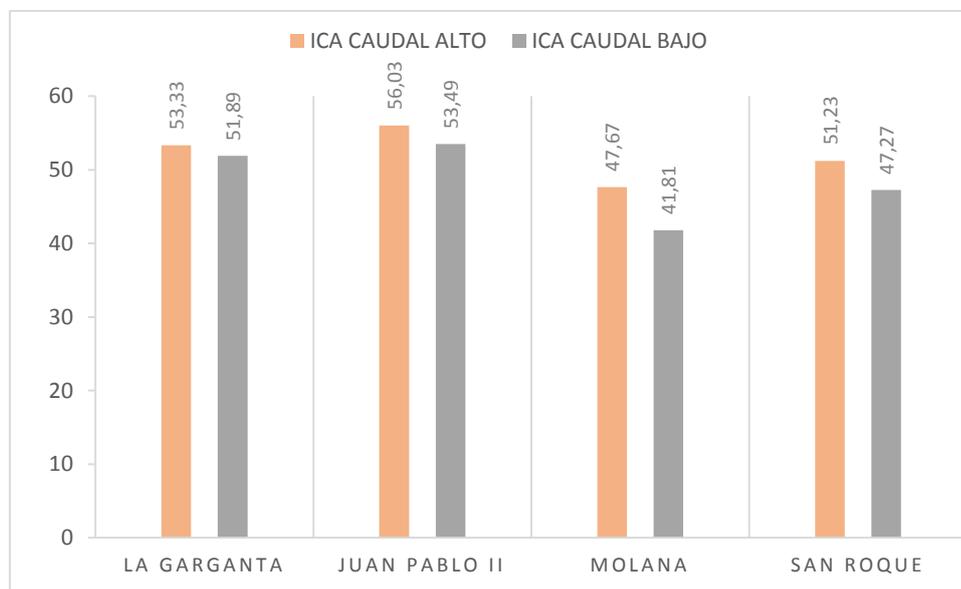


Figura 45. Comportamiento del ICA por estación durante el monitoreo.

Fuente: Autor

Tabla 21. Criterio general ICA en las etapas seleccionadas para el monitoreo.

| ESTACIONES | SECTOR        | ETAPAS DE MONITOREO       |                           |
|------------|---------------|---------------------------|---------------------------|
|            |               | CAUDAL ALTO<br>24/05/2017 | CAUDAL BAJO<br>05/07/2017 |
| 1          | LA GARGANTA   | POCO CONTAMINADO          | POCO CONTAMINADO          |
| 2          | JUAN PABLO II | POCO CONTAMINADO          | POCO CONTAMINADO          |
| 3          | MOLANA        | CONTAMINADO               | CONTAMINADO               |
| 4          | SAN ROQUE     | POCO CONTAMINADO          | CONTAMINADO               |

Fuente: Autor

Con los valores obtenidos del ICA se plantea los criterios para el uso del agua, los cuales fueron similares en las etapas de monitoreo y se pueden observar en las tablas 22 y 23.

Las estaciones 1 y 2 sobre el uso del agua de la microcuenca para abastecimiento público se ubicaron en el criterio **“requiere mayor necesidad de tratamiento”** y para las estaciones 3 y 4 en **“dudoso”**

En cuanto al uso del agua para la recreación, las estaciones 1 y 2 presentan un criterio **“aceptable pero no recomendable”** y para las estaciones 3 y 4 **“dudoso para el contacto directo”**, con excepción de la estación 4 perteneciente a la etapa de caudal alto donde el uso del agua del río para la recreación es **“aceptable pero no recomendable”**.

El uso del agua del río para la pesca y vida acuática en las estaciones 1 y 2 se ubica en el criterio **“dudoso para especies sensibles”** y para las estaciones 3 y 4 **“solo organismos resistentes”** lo cual se puede corroborar más adelante en el análisis de macroinvertebrados.

Por último, para el uso industrial y agrícola el criterio **“sin tratamiento para la industria normal”** se asignó para las estaciones 1 y 2; y para las estaciones 3 y 4 **“tratamiento en la mayor parte de la industria”**

Tabla 22. Criterios establecidos para los usos del agua según el ICA en la etapa de caudal alto

| Est. | SECTOR        | ICA   | CRITERIO GENERAL | ABASTECIMIENTO PÚBLICO         | RECREACIÓN                      | PESCA Y VIDA ACUÁTICA          | INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA                         |
|------|---------------|-------|------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|
| 1    | La Garganta   | 53,33 | POCO CONTAMINADO | MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO | ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE  | DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES | SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL      |
| 2    | Juan Pablo II | 56,03 | POCO CONTAMINADO | MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO | ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE  | DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES | SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL      |
| 3    | Molana        | 47,67 | CONTAMINADO      | DUDOSO                         | DUDOSO PARA EL CONTACTO DIRECTO | SOLO ORGANISMOS RESISTENTES    | TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |
| 4    | San Roque     | 51,23 | CONTAMINADO      | DUDOSO                         | ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE  | SOLO ORGANISMOS RESISTENTES    | TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |

Fuente: Autor

Tabla 23. Criterios establecidos para los usos del agua según el ICA en la etapa de caudal bajo

| Est. | SECTOR        | ICA   | CRITERIO GENERAL | ABASTECIMIENTO PÚBLICO         | RECREACIÓN                      | PESCA Y VIDA ACUÁTICA          | INDUSTRIAL Y AGRÍCOLA                         |
|------|---------------|-------|------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|
| 1    | La Garganta   | 51,89 | POCO CONTAMINADO | MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO | ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE  | DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES | SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL      |
| 2    | Juan Pablo II | 53,43 | POCO CONTAMINADO | MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO | ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE  | DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES | SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA NORMAL      |
| 3    | Molana        | 41,81 | CONTAMINADO      | DUDOSO                         | DUDOSO PARA EL CONTACTO DIRECTO | SOLO ORGANISMOS RESISTENTES    | TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |
| 4    | San Roque     | 47,27 | CONTAMINADO      | DUDOSO                         | DUDOSO PARA EL CONTACTO DIRECTO | SOLO ORGANISMOS RESISTENTES    | TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA |

Fuente: Autor

#### 4.4 ÍNDICE BIOLOGICAL MONITORING WORKING PARTY (BMWP)

##### 4.4.1 ANÁLISIS DE TAXAS E INDIVIDUOS ENCONTRADOS

Para el análisis de macroinvertebrados bajo el índice BMWP/Col la descripción de los datos se realizó en el nivel taxonómico de familia, pero con fines descriptivos se incluyó al nivel taxonómico superior catalogado como orden (Anexo 3, tablas 37, 38 y 39); se menciona la etapa de invierno (monitoreo mes de abril) con fines informativos debido a la diferencia significativa de familias e individuos con las dos etapas seleccionadas para el estudio general.

En las tablas 24, 25 y 26 se detallan las familias presentes en las etapas de monitoreo y las cuatro estaciones de muestreo.

Tabla 24. Macroinvertebrados presentes en la etapa invierno

|                     |                | ESTACIONES      |                   |            |               |
|---------------------|----------------|-----------------|-------------------|------------|---------------|
|                     |                | 05/04/2017      |                   |            |               |
| ORDEN               | FAMILIA        | (1) LA GARGANTA | (2) JUAN PABLO II | (2) MOLANA | (3) SAN ROQUE |
| Arrynchobdellida    | Glossiphonidae | x               |                   |            |               |
| Coleoptera          | Elmidae        | x               |                   |            |               |
| Diptera             | Chironomidae   | x               | x                 | x          | x             |
|                     | Muscidae       | x               | x                 |            |               |
|                     | Psychodidae    |                 |                   | x          | x             |
|                     | Simuliidae     | x               |                   |            |               |
| Ephemeroptera       | Leptohiphidae  |                 |                   |            | x             |
| (Clase) Oligochaeta | -              | x               | x                 | x          | x             |

Fuente: Autor

Tabla 25. Macroinvertebrados presentes en caudal alto

| ORDEN                      | FAMILIA               | ESTACIONES      |                   |            |               |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|------------|---------------|
|                            |                       | (1) LA GARGANTA | (2) JUAN PABLO II | (3) MOLANA | (4) SAN ROQUE |
| <b>24/05/2017</b>          |                       |                 |                   |            |               |
| Amphipoda                  | <b>Hyalellidae</b>    |                 |                   | X          |               |
| Arrynchobdellida           | <b>Glossiphonidae</b> |                 | X                 |            |               |
| Coleoptera                 | <b>Elmidae</b>        |                 | X                 | X          |               |
| Diptera                    | <b>Chironomidae</b>   | X               | X                 | X          | X             |
|                            | <b>Muscidae</b>       | X               | X                 |            |               |
|                            | <b>Psychodidae</b>    | X               |                   | X          | X             |
|                            | <b>Simuliidae</b>     |                 | X                 |            | X             |
| Ephemeroptera              | <b>Baetidae</b>       | X               |                   | X          | X             |
|                            | <b>Leptohyphidae</b>  | X               | X                 |            | X             |
| Homoptera                  | <b>Margarodidae</b>   |                 |                   | X          |               |
| Lepidoptera                | <b>Tortricidae</b>    | X               |                   |            |               |
| <b>(Clase) Oligochaeta</b> | <b>Turbificidae</b>   | X               | X                 | X          | X             |
| Trichoptera                | <b>Hydroptilidae</b>  |                 |                   | X          | X             |
| Tricladida                 | <b>Dugesidae</b>      |                 |                   |            | X             |

*Fuente: Autor*

Tabla 26. Macroinvertebrados presentes en caudal bajo

| ORDEN                      | FAMILIA               | ESTACIONES      |                   |            |               |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|------------|---------------|
|                            |                       | (1) LA GARGANTA | (2) JUAN PABLO II | (3) MOLANA | (4) SAN ROQUE |
| <b>05/07/2017</b>          |                       |                 |                   |            |               |
| Amphipoda                  | <b>Hyalellidae</b>    | X               |                   | X          |               |
| Arrynchobdellida           | <b>Glossiphonidae</b> | X               | X                 | X          |               |
| Diptera                    | <b>Chironomidae</b>   | X               | X                 | X          | X             |
|                            | <b>Empididae</b>      | X               | X                 | X          |               |
|                            | <b>Psychodidae</b>    |                 |                   | X          | X             |
|                            | <b>Syrphidae</b>      |                 |                   | X          |               |
|                            | <b>Tabanidae</b>      |                 |                   |            | X             |
| Ephemeroptera              | <b>Baetidae</b>       |                 |                   | X          |               |
|                            | <b>Leptohyphidae</b>  | X               | X                 | X          | X             |
| <b>(Clase) Gastropoda</b>  | <b>Lymnaeidae</b>     |                 |                   | X          |               |
| Odonata                    | <b>Libellulidae</b>   |                 |                   |            |               |
| <b>(Clase) Oligochaeta</b> | <b>Turbificidae</b>   | X               |                   | X          | X             |
| Veneroidea                 | <b>Sphaeridae</b>     |                 |                   | X          |               |

*Fuente: Autor*

En la etapa de invierno se encontraron 165 individuos y 8 familias, en la etapa seleccionada para caudal alto se identificó 285 individuos y 14 familias, y en la etapa de caudal bajo se encontró 799 individuos y 13 familias; siendo la etapa invierno donde se encontró el menor número de familias e individuos lo que se argumenta en lo descrito por Moya et al., (2010) sobre la abundancia de macroinvertebrados y su dependencia directa con la temperatura, donde el aumento de 1 °C influye en la disminución del 21% de familias, solo las más tolerantes o resilientes subsisten al incremento de 3 a 5 °C, al igual que en el estudio de Álvarez (2009), el cual señala la variación de la temperatura como la principal influyente en la composición y distribución de macroinvertebrados; en cambio la etapa de caudal bajo fue donde se presentó la mayor abundancia de macroinvertebrados lo que se atribuye a diversos factores como la cantidad de recursos tróficos, menor estrés por la disminución del caudal, estructura del sustrato, cúmulos de detritos (que se asocian más con la estación 3), presencia de hojarasca y raíces expuestas y según lo descrito por Álvarez (2009) y Rivera Usme (2011) en sus estudios, confirman que la riqueza taxonómica incrementa en caudales bajos a razón de una alta estabilidad en la hidrología del río.

Dentro de las familias encontradas durante el monitoreo en las 4 estaciones tenemos:

*Tabla 27. Características de las familias encontradas en caudal alto y bajo*

| Orden         | Familia             | Características   |
|---------------|---------------------|---|
| Amphipoda     | <b>Hyaellidae</b>   | - Habitan en cuerpos de agua dulce, diversos en Sudamérica  |
| Coleoptera    | <b>Elmidae</b>      | - Común en América<br>- Las larvas habitan en aguas de corrientes rocosas, de poca profundidad y alta oxigenación, asociadas a aguas con buena calidad.   |
| Diptera       | <b>Muscidae</b>     | - Se encuentran a las orillas de las corrientes, adheridos a las rocas.   |
|               | <b>Psychodidae</b>  | - Presentes en aguas lénticas con contaminación y materia orgánica en descomposición  |
|               | <b>Simuliidae</b>   | - Se encuentran en hábitats acuáticos en la zona bentónica de lagos y ríos.   |
|               | <b>Syrphidae</b>    | - Los individuos inmaduros se desarrollan tanto en ambientes acuáticos como terrestres, cuyas larvas y se pueden encontrar en una amplia gama de vegetación en proceso de descomposición (Thompson, 1982) |
|               | <b>Tabanidae</b>    | - Su fase larvaria es en el agua y su fase adulta en el medio terrestre, son conocidos como depredadores que soportan cierto grado de contaminación (Ladrera Fernández, 2012)                             |
| Ephemeroptera | <b>Chironomidae</b> | - Pertenecientes a aguas con alta contaminación, se pueden encontrar en la superficie de rocas, arena y fango.  |
|               | <b>Baetidae</b>     | - Grupo de insectos de carácter frágil, se  |

|                     |                        |   |
|---------------------|------------------------|---|
|                     |                        | encuentran principalmente en ríos y quebradas no contaminadas, son considerados una de las familias más sensibles de este género.                                     |
|                     | <b>Leptohyphidae</b>   | - Grupo de América del Sur, se encuentran en ríos y quebradas   |
| (Clase) Gastropoda  | <b>Lymnaeidae</b>      | - Algunos géneros de esta familia viven en aguas poco contaminadas.   |
| Odonada             | <b>Libellulidae</b>    | - Las larvas pueden vivir en una amplia gama de hábitats, principalmente en aguas de baja velocidad de corriente (Ladrera Fernández, 2012)                            |
| (Clase) Oligochaeta | <b>Turbificidae</b>    | - Se los puede encontrar en todo tipo de hábitats, pueden lograr altas densidades en hojarascas y parches de arena  |
| Tricladida          | <b>Dugesidae</b>       | - Son de amplia distribución y se encuentran en zonas litorales rocosas de agua dulce.  |
| Trichoptera         | <b>Hydroptilidae</b>   | - Familias más sensibles de este orden, se le considera como un grupo de insectos megadiverso que habitan en el agua dulce.<br>- Viven en aguas con alta oxigenación. |
| Rhynchobdellida     | <b>Glossiphoniidae</b> | - Sanguijuelas que viven en cuerpos de agua dulce poco turbulentos y poco profundos, se los puede hallar debajo de pedruscos y vegetación.                            |
| Veneroidea          | <b>Sphaeriidae</b>     | - Prefieren zonas al alto porcentaje de arenas y gravas, indican la presencia de un flujo direccional. (Font Caligiore, 2015)   |

Fuente: (Arango et al., 2016), Autor 2017

Familias como Chironomidae (quironómidos), Glossiphoniidae y la clase Oligochaeta (oligoquetos) se mantienen presentes durante todo el monitoreo (Anexo 3), los oligoquetos y los quironómidos se caracterizan por ser resistentes a la polución orgánica y pueden indicar baja calidad del agua (Álvarez, 2009); la familia Glossiphoniidae presenta una resistencia neutral a la contaminación con relación a los puntajes de la tabla 8 citada por Arango et al., (2008), ya que están relacionados positivamente con la conductividad del agua por la aportación de nutrientes y al ser organismos detritívoros también se relacionan con la presencia de materia orgánica disuelta; y los oligoquetos se presentan en mayor abundancia debido a las ventajas de adaptación a sustratos no adecuados para otros macroinvertebrados, y están asociados a situaciones de eutrofización y contaminación por materia orgánica (Rivera Usme, 2011)

Familias pertenecientes a la orden Odonata cumplen un papel importante en la regulación del número de otros organismos, principalmente dípteros (Rivera Usme, 2011), razón que se asume a la baja riqueza de estas familias en la estación 1 de la etapa verano (donde se presentó este orden).

Considerando lo descrito por Moya et al., (2010) sobre mayores altitudes y el factor viento, las familias pertenecientes al orden Trichoptera tienen una difícil recolonización

bajo estas circunstancias, argumento por el cual se explica que esta familia esté presente sólo en las estaciones 3 y 4.



Figura 49. Orden Diptera, familia Chironomidae  
Foto: Blgo. Agustín Sparer



Figura 46. Orden Rhynchobdellida, familia Glossiphoniidae  
Foto: Blgo. Agustín Sparer



Figura 48. Clase Oligochaeta, familia Turbificidae  
Foto: Blgo. Agustín Sparer



Figura 47. Orden Trichoptera, familia Hydroptilidae  
Foto: Blgo. Agustín Sparer

#### 4.4.2 ANÁLISIS DE BMWP/Col Y ASPT

Una vez obtenidos los puntajes de clasificación con la tabla 8 derivamos la tabla 28, el puntaje máximo del índice BMWP/Col se presentó en la estación 3 (35<sup>a</sup>) y el mínimo en la estación 2 (19<sup>b</sup>), ambos de la etapa caudal bajo. Para la variante ASPT el valor máximo se ubicó en la estación 2 en caudal bajo (4,75<sup>a</sup>) y el mínimo en la estación 3 (3,00<sup>b</sup>) y 4 (3,00<sup>b</sup>) en las etapas de caudal alto y bajo, respectivamente.

Tabla 28. Valores obtenidos para BMWP/Col y ASPT según las familias de macroinvertebrados presentes.

| ESTACIONES | ÍNDICES<br>SECTOR | 24/05/2017<br>CAUDAL ALTO |                   | 05/07/2017<br>CAUDAL BAJO |                   |
|------------|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
|            |                   | BMWP/Col                  | ASPT              | BMWP/Col                  | ASPT              |
| 1          | LA GARGANTA       | 24                        | 3,42              | 30                        | 4,28              |
| 2          | JUAN PABLO II     | 31                        | 4,14              | 19 <sup>b</sup>           | 4,75 <sup>a</sup> |
| 3          | MOLANA            | 21                        | 3,00 <sup>b</sup> | 35 <sup>a</sup>           | 3,27              |
| 4          | SAN ROQUE         | 32                        | 4,00              | 15                        | 3,00 <sup>b</sup> |
|            | Σ                 | 108                       | 14,6              | 98                        | 15,2              |
|            | Promedio          | 27                        | 3,64              | 24,75                     | 3,82              |

<sup>a</sup>Valores máximos  
<sup>b</sup>Valores mínimos

Fuente: Autor, 2017

Respecto a lo mencionado anteriormente, y tomando en cuenta que el índice BMWP solo se basa en el método de presencia – ausencia y no cuantifica la abundancia; se usó la variable ASPT para mayor entendimiento en cuanto a la calidad del agua, ya que esta variable es la relación entre el BMWP y los taxones presentes, debido a que en algunas estaciones se presenta una variedad de taxones lo cual no necesariamente indica resultados positivos sobre la calidad del agua de la microcuenca. Según Moya et al., (2010), la diferencia de familias de macroinvertebrados encontradas entre estaciones, se atribuye a la capacidad de adaptación de estos a los diferentes escenarios alimenticios.

Cabe mencionar que la familia Margarodidae (encontrada en la etapa de caudal alto) no se encontró en las tablas de puntajes de clasificación, a razón de que esta familia no es muy representada para el ambiente acuático y su hábitat principal es los tallos de las plantas (Granara de Willink y Claps, 2003).

Los factores antes mencionados influyen en el comportamiento de los índices en las diferentes épocas climáticas y a medida que avanza el cauce del río (figura 50); el puntaje promedio en la etapa caudal alto para el índice BMWP/Col fue 27; y para la etapa de caudal bajo 24,75; el puntaje promedio para la variante ASPT en la etapa caudal alto se obtuvo 3,64, y para la etapa caudal bajo 3,82.

En general, para BMWP/Col la etapa que presenta mejores condiciones para la vida acuática es en caudal alto y para el ASPT en caudal bajo (tabla 28).

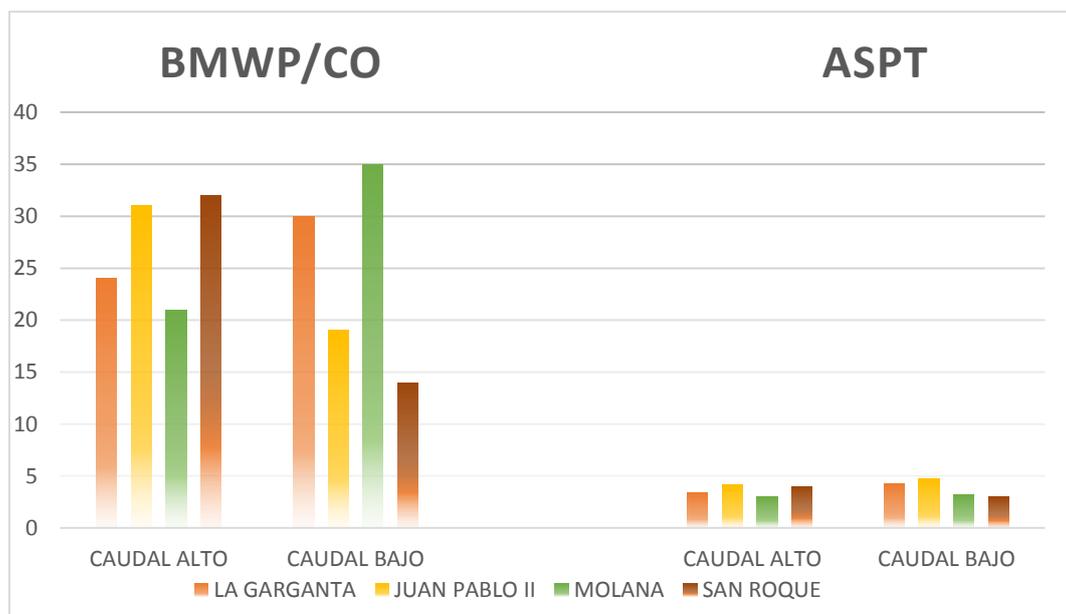


Figura 50. Comportamiento del BMWP/Col y ASPT durante el monitoreo  
Fuente: Autor, 2017

En la tabla 29 se describe la clase, calidad y significado ecológico de los índices analizados en esta sección. Con base en el índice BMWP/Col la microcuenca del Río Piñas pertenece a dos categorías de calidad: crítica y muy crítica, lo que se asocia a la constante descarga de aguas residuales en el río y los factores tanto físicos como ambientales (Moya et al., 2010), al igual que en el estudio de Arango et al., (2008) el BMWP/Col no monstro un patrón concreto por las razones antes mencionadas.

Para la variante ASPT la microcuenca se clasifica en 3 categorías, dudosa, crítica y muy crítica.

La etapa de caudal alto se clasificó en la categoría “**crítica**” para las cuatro estaciones (Tabla 29), lo que se asocia a la presencia de precipitaciones influyendo en la dilución de contaminantes (Cocha Pallo, 2009); en esta etapa se identificó 13 familias (sin tomar en cuenta la familia Margarodidae) de las cuales 6 se asocian a puntajes de tolerancia superiores a 5 (Hyaellidae, Baetidae, Elmidae, Simuliidae, Dugesiidae y Lepthohyphidae) según la tabla citada por Arango et al., (2008) (tabla 8); en cuanto a la variante ASPT, presentó la misma clasificación excepto para la estación 3 que se ubicó en la **clase V**, calidad “**crítica**” y significado ecológico “**aguas fuertemente contaminadas**”, evidenciando la presencia de materia orgánica en esta estación.

En la etapa de caudal bajo se presentaron dos categorías para el índice BMWP/Col “**crítica**”, **clase IV**, significado ecológico “**aguas muy contaminadas**” para las estaciones 1, 2 y 3; y para la estación 4 “**muy crítica**”, **clase V**, significado ecológico “**aguas fuertemente contaminadas**” (tabla 29). De las familias presentes en esta etapa, 4 tienen puntajes de tolerancia a perturbaciones ambientales mayores a 5

(Hyalellidae, Baetidae, Spaheridae y Lepthohyphidae) según la tabla citada por Arango et al., (2008) (tabla 8); por lo tanto, las familias con puntajes inferiores a 5 son las que predominan principalmente en la estación 4 (tabla 26).

El índice ASPT presenta tres categorías “**dudosa**”, **clase III**, significado ecológico “**aguas moderadamente contaminadas**” para la estación 2, para las estaciones 1 y 3 “**crítica**”, **clase IV**, significado ecológico “**aguas muy contaminadas**” y para la estación 4 “**muy crítica**”, **clase V**, significado ecológico “**aguas fuertemente contaminadas**”. En el estudio de Álvarez (2009) se adjudican estos resultados a la disposición de recursos tróficos y comportamiento hidrológico, sin embargo no recomienda establecer un patrón con base en esto, ya que son resultados de un solo año.

Al no contar con estudios detallados sobre análisis de calidad de agua mediante macroinvertebrados para la parte alta de la provincia de El Oro, se consideró el estudio general de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua en la provincia de El Oro de Villamarín (2017), usando el dato generado por el índice BMWP para el río Amarillo, perteneciente al cantón Portovelo, ubicado a 14 km del cantón Piñas, mostrado un puntaje de 15 en el mes de junio (caudal bajo, tomando en cuenta lo expuesto por Aguirre (2014) para el cantón Zaruma, estableciendo una relación ya que el cantón Portovelo limita con este cantón), ubicándolo en la clase V, calidad “muy crítica” y significado ecológico “aguas fuertemente contaminadas” considerando que este río está influenciado por descargas de carácter residual doméstico e industrial (minería), obteniéndose en esta investigación un resultado similar al estudio mencionado, sobre todo para la estación 4 en caudal bajo, cuya caracterización fue la misma.

Tabla 29. Clasificación y significado ecológico con los valores de BMWP/Col y ASPT

| ESTACIONES  |   | BMWP          | clase | Calidad | significado ecológico | ASPT                           | clase | calidad | significado ecológico |                                  |
|-------------|---|---------------|-------|---------|-----------------------|--------------------------------|-------|---------|-----------------------|----------------------------------|
| CAUDAL ALTO | 1 | LA GARGANTA   | 24    | IV      | Crítica               | Aguas muy contaminadas         | 3,42  | IV      | Crítica               | Aguas muy contaminadas           |
|             | 2 | JUAN PABLO II | 31    | IV      | Crítica               | Aguas muy contaminadas         | 4,14  | IV      | Crítica               | Aguas muy contaminadas           |
|             | 3 | MOLANA        | 21    | IV      | Crítica               | Aguas muy contaminadas         | 3     | V       | Muy Crítica           | Aguas fuertemente contaminadas   |
|             | 4 | SAN ROQUE     | 32    | IV      | Crítica               | Aguas muy contaminadas         | 4     | IV      | Crítica               | Aguas muy contaminadas           |
| CAUDAL BAJO | 1 | LA GARGANTA   | 30    | IV      | Crítica               | Aguas muy contaminadas         | 4,28  | IV      | Crítica               | Aguas muy contaminadas           |
|             | 2 | JUAN PABLO II | 19    | IV      | Crítica               | Aguas muy contaminadas         | 4,75  | III     | Dudosa                | Aguas moderadamente contaminadas |
|             | 3 | MOLANA        | 35    | IV      | Crítica               | Aguas muy contaminadas         | 3,18  | IV      | Crítica               | Aguas muy contaminadas           |
|             | 4 | SAN ROQUE     | 14    | V       | Muy Crítica           | Aguas fuertemente contaminadas | 3     | V       | Muy Crítica           | Aguas fuertemente contaminadas   |

Fuente: Autor, 2017

## CONCLUSIONES

- ✓ Debido a una situación atípica y con base a los resultados de caudal, la etapa de transición se seleccionó para describir las variaciones y observaciones del caudal alto y la etapa de verano para caudal bajo. La etapa de invierno se mencionó para explicar circunstancias dentro los análisis; las altas cifras encontradas en la estación 3 de la etapa de invierno se adjudicaron a la presencia de residuos de ganado vacuno, que derivan en un ICA relativamente bajo (38,31).
- ✓ El Análisis de Componentes Principales (ACP) de los parámetros fisicoquímicos para el caudal alto se explicó mediante tres componentes, el componente 1, expone el 56% de la varianza y se conforma por los parámetros Cloruros Totales (CL), Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y Dureza Total (DT). El componente 2 interpreta el 27,5% de la varianza Coliformes Totales (COLIF\_T), Coliformes fecales/(*E. Coli*) (E\_COLI) y Nitrógeno Amoniacal ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), variables que se relacionan con la contaminación causada por aguas residuales domésticas con gran influencia de desechos metabólicos de animales de sangre caliente, seres humanos y materia orgánica degradable (Rivera Usme, 2011). El componente 3 aclara el 26% de la varianza con las variables DBO, OD y FT.
- ✓ El ACP para el caudal bajo también se constituyó de tres componentes, donde el componente 1 define el 52% de varianza y se conforma por las variables Coliformes totales (COLIF\_T) y Coliformes fecales/(*E. Coli*) (E\_COLI), la cuales se correlacionaron fuertemente con la temperatura (TEMP) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO); expresando que, a medida que los valores de coliformes totales y fecales aumentaron las cifras de DBO y temperatura también aumentaron, lo que se atribuye a la actividad biológica como consecuencia de vertidos residuales (Quiroz, 2012). El componente 2 explica el 33% de la varianza y se constituye por los parámetros DT y  $\text{NO}_3^-$  y el componente 3 describe el 16% de la varianza con las variables FT y pH.
- ✓ La evaluación sobre el estado de la microcuenca del Río Piñas en los tramos propuestos para su estudio, indica la degradación espacial y temporal de la calidad del agua de la microcuenca; referente a los valores del ICA la etapa de caudal alto presenta el resultado promedio de 52,06 y en la etapa de caudal bajo de 48,61; a medida que el cauce del río continua la calidad del cuerpo hídrico

decrece; es decir, las estaciones 1 (promedio = 52,75) y 2 (promedio = 54,98) se encuentran más alejadas de la cabecera cantonal (donde se localiza el mayor grado de urbanización) son las que muestran menor contaminación con relación a las estaciones 3 (promedio = 42,59) y 4 (promedio = 49,14).

- ✓ La gran cantidad de descargas de aguas residuales al cuerpo hídrico, que se conglomeran en las estaciones 3 y 4 hace difícil su uso en actividades como abastecimiento público, recreación o pesca, y para el uso de este en la industria requiere tratamiento, lo cual lo hace improductivo.
- ✓ La presencia de precipitaciones que genera caudales altos compensa la dilución de los contaminantes, por esta razón en los caudales bajos es donde la mayor cantidad de estos se concentra (ICA promedio, caudal bajo = 48,61).
- ✓ Las características de la microcuenca del Río Piñas influyen directamente en la calidad del agua, de tal manera al encontrarse rápidos a lo largo del río se favorece a los procesos de autodepuración (Arango et al., 2008), al igual que para vida acuática las características físicas como homogeneidad del sustrato, presencia de diques naturales, raíces de ribera, entre otros; aportan refugio a las familias de macroinvertebrados en cuanto a las perturbaciones ambientales, lo cual pudo percibirse en la cantidad de taxas e individuos encontrados en el caudal alto (13 familias, 285 individuos) y bajo (113 familias, 799 individuos) (Álvarez, 2009).
- ✓ El análisis de macroinvertebrados mediante el índice BMWP/Col no muestra un patrón específico, sobre todo entre estaciones, pero en general para el caudal alto el promedio de puntaje fue 27 y para el caudal bajo 24,5; indicando que el caudal alto presenta mejores condiciones de calidad de la microcuenca; contrario a los resultados obtenidos con su variante ASPT, donde en caudal alto se obtuvo una valoración promedio de 3,65 y para el caudal bajo de 3,80 tomando en cuenta que el ASPT evalúa la calidad del agua en basándose en la riqueza taxonómica por lo tanto genera mejores resultados cuando la cantidad de familias es mayor.
- ✓ Familias que presentan alta tolerancia a las perturbaciones como Chironomidae, Glossiphonidae y la clase Oligochaeta estuvieron presentes durante todo el monitoreo, en todas las estaciones sobre todo la familia Chironomidae la cual fue la familia dominante y propia de aguas con un grado elevado de contaminación

(Rincón et al., 2016); en la etapa de caudal bajo se encontró mayores cantidades de individuos de la familia Leptohypidea (con relación a la etapa de caudal alto) la cual tiene ciertas capacidades de adaptación a los distintas características del río (Roldán-Pérez, 2016), la máxima cantidad de estos se encontró en la estación 1 (166 individuos).

- ✓ La permanente presencia de coliformes totales y fecales en la microcuenca provoca la contaminación constante en las distintas épocas del año (Cocha Pallo, 2009), razón por la cual su calidad no mejora a medida que avanza el río, más bien disminuye a medida que se aproxima a la zona urbanizada.
- ✓ La fuerte contaminación por la que atraviesa el Río Piñas hace énfasis en la necesidad de control de vertidos que se descargan al río y la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales, principalmente por lo mencionado por Mondaca y Campos (2005) sobre la presencia de organismos patógenos presentes en las aguas residuales domésticas, los cuales al ser portadores de enfermedades ponen en riesgo la salud de los habitantes de la zona.

## **RECOMENDACIONES**

- ✓ Continuar con los estudios de la microcuenca del Río Piñas basándose en el grado de contaminación que tienen los vertidos que se hacen en la misma.
- ✓ Efectuar estudios sobre el nivel de contaminación que aportan los criaderos de porcinos, aves y ganado vacuno.
- ✓ Realizar investigaciones sobre un plan de recolección de aguas residuales domésticas en puntos estratégicos, y con base a esto proponer la ubicación propicia de una planta de tratamiento que reúna la mayor cantidad de estas aguas.
- ✓ Desarrollar base de datos de familias de macroinvertebrados presentes en la microcuenca del Río Piñas con información en distintos años y de esta manera realizar análisis interanuales.
- ✓ Elaborar estudios sobre una única taxa ya sean organismos tolerantes u organismos intransigentes a las perturbaciones para entender de mejor manera la variabilidad espacial de la microcuenca.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta R., Hampel H., González H., Mosquera P., Sotomayor G., Galarza X. 2014. Protocolo de evaluación de la calidad biológica de los ríos de la región austral del Ecuador. ETAPA –EP. SENAGUA – DHS. Universidad de Cuenca. Programa PROMETEO de la SENE CYT.
- Aguirre, K. (2014). Diagnóstico de patrimonios y atractivos del cantón Zaruma Provincia de El Oro para su promoción turística enfocada en el turismo cultural, 210.
- Akbar Jan F, Ishaq M, Ihsanullah I, Asim SM. Multivariate statistical analysis of heavy metals pollution in industrial area and its comparison with relatively less polluted area: A case study from the City of Peshawar and district Dir Lower. *J Hazard Mater.* 2010; 176: 609-616.
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados Acuáticos Y Calidad De Las Aguas De Los Rios 1. *Isbn, II*, 203–213. <https://doi.org/10.1080/11250009409355910>
- Álvarez, M. (2009). Estudio de la variabilidad espacio-temporal de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en los ecosistemas fluviales de Cantabria. Repercusiones para la aplicación de la directiva marco del agua. *Universidad de Cantabria*.
- Arango, M. C., Álvarez, L. F., Arango, G. A., & Monsalve, A. de J. (2008). Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda , San Luis, Antioquia. *EIA*, 121–141.
- Arcos, P., Ávila de Navias, S., Estupiñan, M., & Gómez, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua . *NOVA, Publicación Científica*, 69–79.
- Auquilla, R. C. (2005). Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la Subcuenca del Río Jabonal , Costa Rica, 139.
- Ayora, M. J. (2010). Análisis de aguas. *Universidad Jaén*, Departamento de Física y Química Analítica 1–47.
- Barbaho, L. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. *Universidad Del Valle*.
- Barrenechea Martel, A. (2007). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua, Manual 1: Teoría, 55.

- Bermejo Campos, D. F. (2016). "remoción de plomo y cadmio presente en aguas residuales mineras mediante biosorción en columnas con bagazo de caña y cáscara de cacao." *Universidad de Cuenca*, 116.
- Cabrera, F., & Ortiz, E. (2005). Propuesta de diseño de una planta de tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas para la parroquia san pablo del lago.
- Calvo Rubio, F. C. (2000). La situación actual y problemas existentes y previsibles en la calidad de las aguas. *Libro Blanco Del Agua de España*, 196–217.
- Chamorro de Rodriguez, G. I. (2011). Guía de Hidrometría: Estimación del caudal por el Método de Flotadores. *Ministerio Del Ambiente: Dirección Regional de Lima*, 1(Lima, Perú), 18. Retrieved from [http://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/AFORO\\_X\\_FLOTADORES.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/AFORO_X_FLOTADORES.pdf)
- Chiliquina, C., & Donoso, H. (2012). Caracterización de la calidad de agua de la microcuenca del río Pachanlica de la provincia de Tungurahua tomando como base la metodología ICA de Montoya.
- Cocha Pallo, J. (2009). Estado actual de la calidad fisico-química, bacteriológica y biológica del agua de la subcuenca del Río Yanuncay en dos estaciones climáticas (invierno y verano) del cantón Cuenca Provincia del Azuay-Ecuador. *Diplomado Superior En Educación Universitaria Por Competencias*, 104. Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3281/1/10055.pdf>
- Del Carpio Rivera, A. (2016). Análisis Estadístico. *Universidad Ricardo Palma*, Perú.
- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2002). *Relaciones Tierra-Agua en cuencas hidrográficas rurales*. *Fao.Org*. Retrieved from <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/lw9s.pdf>
- Fernandez, N; Ramírez, A; Solano, F. (2001). Índices Fisicoquímicos de calidad de agua un estudio comparativo. *Test*, 81(3), 211–219.
- Fernández, M. A. (1996). Ciudades en riesgo: Degradación Ambiental, Riesgos Urbanos y desastres. *Red de Estudios de Prevención de Desastres En América Latina*, 142.
- Fernández Parada, N. J., Solano Ortega, F., & Ramos, G. (2005). Capítulo III Índices

- de calidad ( ICAs ) y de contaminación ( ICOs ) del agua de importancia mundial. *Universidad de Pamplona, Colombia*, 78.
- Font Caligiore, E. A. (2015). *Primer registro de sphaeriidae (mollusca, bivalvia) para la Provincia de San Luis, Argentina*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2498.1922>
- Forsberg, B. (2013). Limnología de la Cuenca del Río Inambari, *Water Conservation Society. Inambri.org*. 1–16.
- García, T. V. (2012). Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile, 157.
- García, F. (2015). Aforo por flotadores. En F. Garcia, *Calidad y Tratamiento de Agua* (pág. 137). Cuenca.
- Gil, J. A. G. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables fisicoquímicas y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del Río Garagoa Gil, J. A. G. (2014). Determinación de la calidad del agua mediante variables f, *XXXIII(2)*, 81–87. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Gobierno Provincial Autónomo de El Oro. (2014). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de El Oro, 2014 -2025. *Journal of Chemical Information and Modeling*, (9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gordon, D., Pilatasig, L., Palacios, O., & Sanchez, J. (2005). Proyecto multinacional andino: geociencias para las comunidades andinas Ecuador-Peru-Canada, 78.
- Granara de Willink, M., & Claps, L. (2003). Systematics , morphology and physiology Cochinillas ( Hemiptera : Coccoidea ) Presentes en Plantas Ornamentales de la Argentina, (December), 625–637.
- Instituto de Toxicología de la Defensa. (2016). Protocolo de toma de muestras de agua residual, 10.
- Jimenez Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental*, 2(23).
- Ladrera Fernández, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos, 24–29.
- López, J. (2011). Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales – escala laboratorio.

- Lozares, C., & López, P. (1991). El análisis de componentes principales: aplicación al análisis de datos secundarios, 37.
- Meza, M., Rubio, J., Días, A., & Walteros, L. (2012). Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del Río Chinchiná Water quality and composition of aquatic macroinvertebrates in the subwatershed of river Chinchiná. *Caldasia*, 34(2), 443–456. Retrieved from <http://www.icn.unal.edu.co/>
- Miravet, M. E., Ramírez, O., Montalvo, J., Delgado, Y., & Perigó, E. (2009). Índice Numérico Cualitativo Para Medir La Calidad De Las Aguas Costeras Cubanas De Uso Recreativo. *Serie Oceanologica*, (5), 45–56. Retrieved from <http://oceanologia.redciencia.cu/articulos/articulo53.pdf>
- Miravet Sánchez, B. L., García Rivero, A. E., Del Castillo, P. L., Alayón García, G., & Salinas Chávez, E. (2016). Calidad de las aguas del río Ariguanabo según índices físico-químicos y bioindicadores. (Spanish). *Water Quality of Ariguanabo River according to Physico-Chemical Indices and Bioindicators. (English)*, 37(2), 108–122. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=116563270&lang=es&site=eds-live>
- Mondaca, M. A., & Campos, V. (2005). Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales. *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamiento avanzado de aguas residuales domésticas, CAPITULO 1*, 155–167. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd57/riesgo.pdf>
- Montalvo, J. F., Garcia, I., Loza, S., Esponda, S. C., César, M., González De Zaya, R., & Hernández, L. (2008). Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de aguas interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Serie Oceanológica*, 4(4), 1–14. Retrieved from <http://oceanologia.redciencia.cu/articulos/articulo45.pdf>
- Moya, N., Oberdorff, T., & Rosales, C. (2010). Acuáticos En Ríos Intermitentes Y Permanentes Del Altiplano Boliviano: Implicaciones Para El Futuro Cambio Climático Comparison of Aquatic Macroinvertebrate Communities From Intermittent and Perennial Bolivian Headwater Andean Streams: Implications for. *Ecología Aplicada*, 8(2).
- Novillo, M. S. (1991). Índice de calidad del agua ICA, Universidad Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales (FIMCBOR),36.

- Paucar, E. (Mayo de 2017). Precipitaciones han batido récords en la Costa del país .  
*Diario El Comercio*.
- Paz Rocha, A. (2000). Proyecto de una planta de tratamiento de agua residual en la zona metropolitana del Valle de Mexico. *Administración Del Proceso En El Desarrollo de Proyectos de Vivienda*, (84330), 1–16. Retrieved from [http://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Maestria/Consejo\\_Radillo\\_Guillermo\\_Rogelio\\_45137.pdf](http://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Maestria/Consejo_Radillo_Guillermo_Rogelio_45137.pdf)
- Peñafiel Romero, A. G. (2014). Evaluación de la calidad del agua del Río Tomebamba mediante el índice ICA del Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua, tesis.
- Pérez, C., León, F., & Delgadillo, G. (2013). Tratamiento de aguas.
- PNUMA; CEPE; OMS; UNCBD; UNESCO; UNDESA; UNDU. (2002). Protección de los ecosistemas por el bien de la población y del planeta. Retrieved from [http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr1/pdf/chap6\\_es.pdf](http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr1/pdf/chap6_es.pdf)
- Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2006). Los Macroinvertebrados Como Indicadores De Calidad De Las Aguas. *Macroinvertebrados Benticos Sudamericanos*, 645.
- Quesada, A., & Kucherenko, V. (2014). Control de calidad de los de parámetros físicos de un agua potable, 20.
- Quiroz, H. (2012). *Microbiológica acuática, DBO y Microflora de aguas residuales*. Lambayeque.
- R Development Core Team. (2017). *R-project.org*. Obtenido de R-project.org: <https://www.r-project.org/>
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación. *CT Y F - Ciencia, Tecnología Y Futuro*, 1(3), 135–153.
- Ramos Sánchez, D. (2014). Calidad de las aguas Calidad del agua en ríos. *Universidad de Castilla-La Mancha, Escuela de ingenieros de caminos, canales y puertos de Ciudad Real*.
- Rincón, J., Diana, M., Rojas, D., Sparer, A., & Zárate, E. (2016). *Los macroinvertebrados acuáticos de los ríos del Parque Cajas*. Cuenca.
- Rivera Gutierrez, J. V. (2011). Evaluation of organic matter in the cold river supported in qual2K version 2 . 07, 131–139.

- Rivera Usme, J. J. (2011). *Relación entre la composición y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y las variables físicas y químicas en el humedal Jaboque Bogotá-Colombia*.
- Rojas, I. R. (2002). Conferencia sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente , División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de La Salud*, 19.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 40(155), 254. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Sager, R. (2001). Calidad de agua de bebida. relación con la suplementación mineral y problemas sanitarios, 1–5.
- Sánchez, L. E. (2002). Impactos sobre los ecosistemas. *II Curso Internacional De Aspectos Geológicos De Protección Ambiental. Unesco.*, 322–331. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/impacto-ecosis.pdf>
- Teixeira de Mello F. (2007). Efecto del uso del suelo sobre la calidad del agua y las comunidades de peces en sistemas lóticos de la cuenca baja del Río Santa Lucía (Uruguay), 58.
- Terrádez-Gurrea, M. (2006). Analisis De Componentes Principales. *Revista Chilena*, 71(1), 1–11. <https://doi.org/10.4067/S0717-75262006000100004>
- Thompson, F. C. (1982). SYRPHIDAE, (Thompson 1981), *Aquatic Biota of Mexico, Central America and the West Indies*, San Diego State University, San Diego, California 464–465.
- Tinoco Carrión, J. del C. (2015). Una revisión de la evaluación de la calidad del agua de los ríos Amarillo y Calera de la provincia de El Oro, 118.
- Toledo Espejo, J. P., Vivanco Merino, W., Cueva Masache, K., Aguilar Ramirez, A., & Valencia Celi, J. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantonal.
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para water quality index in surface sources used in water production for human consumption . A critical review. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79–94.



- Vaca Morán, F. M. (2014). Evaluación ambiental de la calidad del Agua Del Río Santa Rosa Y Lineamientos Para Un Plan Ambiental, 165. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/6946>
- Valencia, R., Ortiz, E., Gomez, J. L., & Sanchez, J. (2007). La contaminación de los ríos, otro punto de vista, (November 2016), 16.
- Vázquez, G., Castro, G., González, I., Pérez, R., & Castro, T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua.
- Vega Oyola, A. G. (2013). Cálculo de Reservas de la Veta “Paraíso” Mina Paraíso – Distrito Ponce Enríquez TESIS, 101.
- Villamarín, S. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua en la provincia de El Oro.
- Vinuesa, P. (2016). Tema 8 - Correlación: teoría y práctica, CCG-UNAM. <http://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/>, 1–26.

**ANEXOS**

**ANEXO 1: DATOS DE LABORATORIO**

Tabla 30. Datos de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos para la etapa invierno.

**LABORATORIO DE SANITARIA**

**RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA**

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Muestra procedencia:        | Río Piñas.- Cantón Piñas.- Provincia de El Oro |
| Tipo de fuente:             | Superficial                                    |
| Condiciones climatológicas: | Soleado  |
| Fecha de toma y análisis:   | 05 de abril de 2017                            |
| Análisis solicitado por:    | Sra. María Rosa Pontón                         |

| PARAMETROS                    | 4<br>San Roque | 3<br>Molana | 2<br>Juan Pablo II | 1<br>La Garganta | UNIDAD          | OBSERVACIONES  |
|-------------------------------|----------------|-------------|--------------------|------------------|-----------------|----------------|
| HORA                          | 8:30:00        | 10:00:00    | 12:00:00           | 11:20:00         |                 |                |
| TEMPERATURA                   | 20,8           | 24,0        | 23,1               | 22,3             | °C.             | in situ        |
| CAUDAL                        | 1,379          | 1,018       | 0,104              | 0,057            | m3/s            |                |
| COLOR REAL                    | 28,0           | 288,0       | 17,0               | 18,0             | UC, Pt.Co       |                |
| TURBIEDAD                     | 48,0           | 1193,0      | 29,0               | 46,5             | NTU, FTU        |                |
| CONDUCTIVIDAD                 | 150,8          | 266,6       | 119,8              | 121,7            | microsiemens/cm |                |
| SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES   | 50,0           | 1242,9      | 43,0               | 74,0             | mg/l            |                |
| SOLIDOS DISUELTOS TOTALES     | 185,0          | 254,3       | 127,0              | 123,0            | mg/l            |                |
| pH                            | 7,98           | 7,38        | 7,52               | 7,46             |                 |                |
| ALCALINIDAD TOTAL             | 54,0           | 86,0        | 54,6               | 52,0             | mg/l, CaCO3     |                |
| DUREZA TOTAL                  | 79,6           | 85,6        | 41,4               | 43,0             | mg/l, CaCO3     |                |
| FOSFATOS TOTALES              | 0,894          | 5,10        | 0,225              | 1,670            | mg/l            | como Fósforo   |
| CLORUROS                      | 8,9            | 10,1        | 4,8                | 7,3              | mg/l            |                |
| NITRATOS                      | 0,664          | 0,495       | 0,256              | 0,239            | mg/l            | como Nitrogeno |
| N.AMONIACAL                   | 0,206          | 1,770       | 0,155              | 0,153            | mg/l            | como Nitrogeno |
| OXIGENO DISUELTO              | 7,81           | 8,37        | 7,36               | 7,27             | mg/l            |                |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO | 3,14           | 34,00       | 4,13               | 5,86             | mg/l            |                |
| COLIFORMES TOTALES            | 3,40E+05       | 7,80E+07    | 1,70E+06           | 2,60E+06         | NMP/100 ML      | 37°C.24H       |
| E. COLI                       | 1,10E+05       | 7,80E+07    | 1,10E+06           | 1,10E+06         | NMP/100 ML      | 37°C.24H       |

UNIVERSIDAD DE CUENCA  
Facultad de Ingeniería  
LABORATORIO DE  
INGENIERIA SANITARIA

  
Dra. Guillermina Pauta  
QUIMICO-ANALISTA

Responsable:

Fuente: Laboratorio de Ingeniería sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca

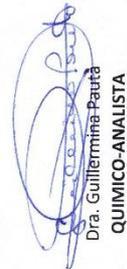
Tabla 31. Datos de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos en caudal alto.

**LABORATORIO DE SANITARIA**
**RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA**

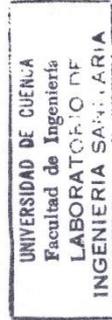
Muestra procedencia: Río Piñas. - Cantón Piñas. - Provincia de El Oro  
 Tipo de fuente: Superficial  
 Condiciones climatológicas: Nublado  
 Fecha de toma y análisis: 24 de Mayo de 2017  
 Análisis solicitado por: Srta. Maria Rosa Pontón

| PARAMETROS                    | 4<br>San Roque | 3<br>Molana | 2<br>Juan Pablo II | 1<br>La Garganta | UNIDAD                  | OBSERVACIONES  |
|-------------------------------|----------------|-------------|--------------------|------------------|-------------------------|----------------|
| HORA                          | 7:35           | 8:30        | 9:50               | 10:40            |                         |                |
| TEMPERATURA                   | 21,5           | 21,1        | 21,1               | 21,3             | °C                      | in situ        |
| CAUDAL                        | 1,719          | 1,251       | 0,126              | 0,069            | m <sup>3</sup> /s       |                |
| COLOR REAL                    | 66,0           | 48,0        | 37,0               | 23,0             | UC, Pt Co               |                |
| TURBIEDAD                     | 101,0          | 61,9        | 50,7               | 26,4             | NTU, FTU                |                |
| CONDUCTIVIDAD                 | 132,3          | 140,6       | 109,5              | 110,2            | microsiemens/ cm        |                |
| SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES   | 147,0          | 161,0       | 65,0               | 46,0             | mg/l                    |                |
| SOLIDOS DISUELTOS TOTALES     | 158,0          | 112,0       | 95,0               | 112,0            | mg/l                    |                |
| pH                            | 7,55           | 7,35        | 6,38               | 7,25             |                         |                |
| ALCALINIDAD TOTAL             | 56,8           | 58,0        | 48,6               | 53,2             | mg/l, CaCO <sub>3</sub> |                |
| DUREZA TOTAL                  | 50,6           | 42,8        | 37,4               | 40,8             | mg/l, CaCO <sub>3</sub> |                |
| FOSFATOS TOTALES              | 1,06           | 3,56        | 1,09               | 3,69             | mg/l                    | como Fósforo   |
| CLORUROS                      | 9,8            | 7,4         | 5,4                | 4,3              | mg/l                    |                |
| NITRATOS                      | 0,533          | 0,409       | 0,260              | 0,263            | mg/l                    | como Nitrógeno |
| N AMONIACAL                   | 0,135          | 0,630       | 0,102              | 0,031            | mg/l                    | como Nitrógeno |
| OXIGENO DISUELTO              | 7,95           | 7,91        | 7,43               | 7,88             | mg/l                    |                |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO | 2,85           | 4,20        | 2,98               | 5,92             | mg/l                    |                |
| COLIFORMES TOTALES            | 9,20E+05       | 9,20E+08    | 2,10E+06           | 1,10E+07         | NMP/100 ML              | 37°C.24H       |
| E. COLI                       | 2,80E+05       | 2,40E+07    | 1,40E+06           | 1,40E+05         | NMP/100 ML              | 37°C.24H       |

Responsable:



Dra. Guillermina Pautá  
 QUIMICO-ANALISTA



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
 Facultad de Ingeniería  
 LABORATORIO DE  
 INGENIERIA SANITARIA

Tabla 32. Datos de laboratorio de los parámetros fisicoquímicos en caudal bajo

**LABORATORIO DE SANITARIA**
**RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA**

Muestra procedencia: Río Piñas.- Cantón Piñas.- Provincia de El Oro  
 Tipo de fuente: Superficial  
 Condiciones climatológicas: Nublado  
 Fecha de toma y análisis: 05 de Julio de 2017  
 Análisis solicitado por: Srta. María Rosa Pontón

| PARAMETROS                    | 4<br>San Roque | 3<br>Molana | 2<br>Juan Pablo II | 1<br>La Garganta | UNIDAD                  | OBSERVACIONES  |
|-------------------------------|----------------|-------------|--------------------|------------------|-------------------------|----------------|
| HORA                          | 7:45           | 11:30       | 11:50              | 12:20            |                         |                |
| TEMPERATURA                   | 19,3           | 21,1        | 19,7               | 19,4             | °C.                     | in situ        |
| CAUDAL                        | 0,593          | 0,236       | 0,081              | 0,032            | m <sup>3</sup> /s       |                |
| COLOR REAL                    | 30,0           | 37,0        | 48,0               | 24,0             | UC, Pt.Co               |                |
| TURBIDIDAD                    | 10,2           | 17,4        | 18,6               | 12,9             | NTU, FTU                |                |
| CONDUCTIVIDAD                 | 178,0          | 211,0       | 116,6              | 131,8            | microsiemens/ cm        |                |
| SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES   | 17,0           | 41,0        | 32,0               | 27,0             | mg/l                    |                |
| SOLIDOS DISUELTOS TOTALES     | 123,0          | 108,0       | 213,0              | 149,0            | mg/l                    |                |
| pH                            | 7,50           | 7,44        | 7,56               | 6,43             |                         |                |
| ALCALINIDAD TOTAL             | 83,2           | 88,8        | 63,6               | 73,6             | mg/l, CaCO <sub>3</sub> |                |
| DUREZA TOTAL                  | 59,6           | 54,6        | 55,6               | 59,2             | mg/l, CaCO <sub>3</sub> |                |
| FOSFATOS TOTALES              | 2,46           | 3,26        | 1,32               | 2,68             | mg/l                    | como Fósforo   |
| CLORUROS                      | 10,8           | 11,5        | 5,8                | 6,0              | mg/l                    |                |
| NITRATOS                      | 1,065          | 0,509       | 0,243              | 0,229            | mg/l                    | como Nitrogeno |
| N.AMONIACAL                   | 0,200          | 0,699       | 0,191              | 0,083            | mg/l                    | como Nitrogeno |
| OXIGENO DISUELTO              | 8,22           | 7,44        | 7,26               | 7,10             | mg/l                    |                |
| DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO | 6,83           | 18,70       | 2,78               | 4,17             | mg/l                    |                |
| COLIFORMES TOTALES            | 3,90E+05       | 1,60E+10    | 1,40E+06           | 9,20E+06         | NMP/100 ML              | 37°C 24H       |
| E. COLI                       | 1,10E+05       | 4,30E+07    | 4,60E+05           | 1,40E+05         | NMP/100 ML              | 37°C 24H       |

Responsable:

Dra. Guillermina Pautu  
 QUIMICO-ANALISTA

UNIVERSIDAD DE CUENCA  
 Facultad de Ingeniería  
 LABORATORIO DE  
 INGENIERIA SANITARIA

**ANEXO 2: COMPONENTES PRINCIPALES Y MATRIZ DE CORRELACIONES***Tabla 33. Componentes principales de los parámetros fisicoquímicos caudal alto*

|                               | <b>PC1</b> | <b>PC2</b> | <b>PC3</b> |
|-------------------------------|------------|------------|------------|
| <b>TEMP</b>                   | 0,173      | -0,302     | 0,31       |
| <b>CR</b>                     | 0,293      | -0,115     | -0,2       |
| <b>TURB</b>                   | 0,282      | -0,17      | -0,19      |
| <b>COND_E</b>                 | 0,287      | 0,2        | -0,08      |
| <b>SST</b>                    | 0,296      | 0,136      | -0,16      |
| <b>SDT</b>                    | 0,272      | -0,209     | 0,175      |
| <b>pH</b>                     | 0,279      | 0,018      | 0,302      |
| <b>ALC</b>                    | 0,278      | 0,187      | 0,182      |
| <b>DT</b>                     | 0,297      | -0,143     | 0,148      |
| <b>FT</b>                     | -0,04      | 0,369      | 0,35       |
| <b>CL</b>                     | 0,307      | -0,099     | -0,131     |
| <b>NO3-</b>                   | 0,319      | -0,065     | -0,028     |
| <b>NH3-N</b>                  | 0,15       | 0,381      | -0,192     |
| <b>OD</b>                     | 0,22       | 0,111      | 0,401      |
| <b>DBO</b>                    | -0,127     | 0,209      | 0,479      |
| <b>COLIF_T</b>                | 0,112      | 0,422      | -0,125     |
| <b>E_COLI</b>                 | 0,1        | 0,41       | -0,155     |
| <b>Desviación estándar</b>    | 3,08       | 2,16       | 1,66       |
| <b>Porcentaje de varianza</b> | 0,561      | 0,275      | 0,163      |

Fuente: Autor, 2017



Tabla 34. Matriz de correlación de los parámetros fisicoquímicos en caudal alto

|         | TEMP   | CR           | TURB        | COND_E       | SST    | SDT    | pH           | ALC   | DT           | FT           | CL           | NO3-   | NH3-N        | OD    | DBO   | COLIF_T      |
|---------|--------|--------------|-------------|--------------|--------|--------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------|--------------|-------|-------|--------------|
| CR      | 0,469  |              |             |              |        |        |              |       |              |              |              |        |              |       |       |              |
| TURB    | 0,541  | <b>0,992</b> |             |              |        |        |              |       |              |              |              |        |              |       |       |              |
| COND_E  | 0,118  | 0,745        | 0,661       |              |        |        |              |       |              |              |              |        |              |       |       |              |
| SST     | 0,155  | <b>0,848</b> | 0,777       | <b>0,981</b> |        |        |              |       |              |              |              |        |              |       |       |              |
| SDT     | 0,904  | 0,777        | 0,81        | 0,511        | 0,559  |        |              |       |              |              |              |        |              |       |       |              |
| pH      | 0,705  | 0,6          | 0,579       | 0,713        | 0,666  | 0,856  |              |       |              |              |              |        |              |       |       |              |
| ALC     | 0,358  | 0,575        | 0,506       | <b>0,9</b>   | 0,827  | 0,63   | <b>0,912</b> |       |              |              |              |        |              |       |       |              |
| DT      | 0,827  | 0,825        | 0,837       | 0,647        | 0,683  | 0,985  | <b>0,904</b> | 0,74  |              |              |              |        |              |       |       |              |
| FT      | -0,293 | -0,534       | -0,61       | 0,131        | -0,059 | -0,317 | 0,196        | 0,372 | -0,24        |              |              |        |              |       |       |              |
| CL      | 0,536  | <b>0,99</b>  | <b>0,98</b> | 0,783        | 0,867  | 0,835  | 0,702        | 0,665 | <b>0,886</b> | -0,442       |              |        |              |       |       |              |
| NO3-    | 0,599  | 0,947        | <b>0,93</b> | 0,824        | 0,877  | 0,883  | 0,823        | 0,78  | 0,94         | -0,288       | <b>0,981</b> |        |              |       |       |              |
| NH3-N   | -0,46  | 0,324        | 0,204       | <b>0,817</b> | 0,756  | -0,074 | 0,272        | 0,638 | 0,093        | 0,401        | 0,335        | 0,358  |              |       |       |              |
| OD      | 0,575  | 0,349        | 0,313       | 0,636        | 0,535  | 0,678  | 0,953        | 0,907 | 0,736        | 0,476        | 0,471        | 0,63   | 0,311        |       |       |              |
| DBO     | -0,083 | -0,74        | -0,766      | -0,267       | -0,444 | -0,304 | 0,079        | 0,086 | -0,305       | <b>0,886</b> | -0,648       | -0,492 | -0,067       | 0,365 |       |              |
| COLIF_T | -0,523 | 0,15         | 0,032       | 0,735        | 0,644  | -0,182 | 0,23         | 0,607 | -0,015       | 0,555        | 0,178        | 0,223  | <b>0,982</b> | 0,324 | 0,109 |              |
| E_COLI  | -0,554 | 0,16         | 0,036       | 0,72         | 0,64   | -0,2   | 0,189        | 0,574 | -0,041       | 0,523        | 0,174        | 0,209  | <b>0,985</b> | 0,227 | 0,072 | <b>0,998</b> |

Fuente: Autor, 2017

Tabla 35. Componentes principales de los parámetros fisicoquímicos en caudal bajo

|                               | <b>PC1</b> | <b>PC2</b> | <b>PC3</b> |
|-------------------------------|------------|------------|------------|
| <b>TEMP</b>                   | -0,284     | -0,185     | 0,19       |
| <b>CR</b>                     | -0,003     | -0,309     | -0,418     |
| <b>TURB</b>                   | -0,076     | -0,406     | -0,096     |
| <b>COND_E</b>                 | -0,312     | 0,152      | -0,065     |
| <b>SST</b>                    | -0,2       | -0,332     | 0,103      |
| <b>SDT</b>                    | 0,25       | -0,263     | -0,148     |
| <b>pH</b>                     | -0,103     | -0,049     | -0,581     |
| <b>ALC</b>                    | -0,286     | 0,222      | 0,039      |
| <b>DT</b>                     | 0,181      | 0,34       | 0,156      |
| <b>FT</b>                     | -0,259     | 0,164      | 0,314      |
| <b>CL</b>                     | -0,277     | 0,204      | -0,186     |
| <b>NO3-</b>                   | -0,083     | 0,35       | -0,308     |
| <b>NH3-N</b>                  | -0,325     | -0,098     | -0,076     |
| <b>OD</b>                     | -0,052     | 0,329      | -0,372     |
| <b>DBO</b>                    | -0,337     | -0,009     | 0,019      |
| <b>COLIF_T</b>                | -0,326     | -0,105     | 0,044      |
| <b>E_COLI</b>                 | -0,325     | -0,108     | 0,042      |
| <b>Desviación estándar</b>    | 2,96       | 2,36       | 1,62       |
| <b>Porcentaje de varianza</b> | 0,515      | 0,329      | 0,155      |

Fuente: Autor, 2017



Tabla 36. Matriz de correlación de los parámetros fisicoquímicos en caudal bajo

|         | TEMP         | CR           | TURB          | COND_E | SST           | SDT    | pH     | ALC          | DT     | FT    | CL    | NO3-         | NH3-N | OD     | DBO          | COLIF_T      |
|---------|--------------|--------------|---------------|--------|---------------|--------|--------|--------------|--------|-------|-------|--------------|-------|--------|--------------|--------------|
| CR      | 0,121        |              |               |        |               |        |        |              |        |       |       |              |       |        |              |              |
| TURB    | 0,563        | 0,813        |               |        |               |        |        |              |        |       |       |              |       |        |              |              |
| COND_E  | 0,59         | -0,181       | -0,121        |        |               |        |        |              |        |       |       |              |       |        |              |              |
| SST     | 0,898        | 0,469        | <b>0,864</b>  | 0,248  |               |        |        |              |        |       |       |              |       |        |              |              |
| SDT     | -0,427       | 0,613        | 0,47          | -0,888 | 0,009         |        |        |              |        |       |       |              |       |        |              |              |
| pH      | 0,018        | <b>0,732</b> | 0,329         | 0,341  | 0,115         | 0,073  |        |              |        |       |       |              |       |        |              |              |
| ALC     | 0,504        | -0,419       | -0,324        | 0,968  | 0,1           | -0,974 | 0,137  |              |        |       |       |              |       |        |              |              |
| DT      | -0,727       | -0,768       | <b>-0,934</b> | -0,233 | <b>-0,909</b> | -0,165 | -0,498 | -0,014       |        |       |       |              |       |        |              |              |
| FT      | 0,634        | -0,623       | -0,279        | 0,796  | 0,236         | -0,935 | -0,292 | <b>0,887</b> | 0,03   |       |       |              |       |        |              |              |
| CL      | 0,388        | -0,138       | -0,231        | 0,967  | 0,057         | -0,839 | 0,48   | 0,931        | -0,128 | 0,663 |       |              |       |        |              |              |
| NO3-    | -0,309       | -0,265       | -0,664        | 0,581  | -0,589        | -0,581 | 0,45   | 0,614        | 0,408  | 0,256 | 0,755 |              |       |        |              |              |
| NH3-N   | 0,877        | 0,266        | 0,46          | 0,822  | 0,735         | -0,541 | 0,44   | 0,687        | -0,736 | 0,585 | 0,718 | 0,108        |       |        |              |              |
| OD      | -0,396       | -0,158       | -0,62         | 0,491  | -0,622        | -0,457 | 0,528  | 0,504        | 0,39   | 0,114 | 0,688 | <b>0,989</b> | 0,044 |        |              |              |
| DBO     | 0,862        | 0,007        | 0,242         | 0,914  | 0,616         | -0,735 | 0,279  | 0,837        | -0,546 | 0,773 | 0,801 | 0,213        | 0,965 | 0,12   |              |              |
| COLIF_T | <b>0,946</b> | 0,145        | 0,447         | 0,796  | 0,782         | -0,578 | 0,257  | 0,691        | -0,7   | 0,68  | 0,65  | -0,004       | 0,98  | -0,087 | <b>0,972</b> |              |
| E_COLI  | <b>0,947</b> | 0,152        | 0,453         | 0,793  | 0,786         | -0,572 | 0,26   | 0,686        | -0,705 | 0,675 | 0,647 | -0,008       | 0,981 | -0,09  | <b>0,971</b> | <b>0,999</b> |

Fuente: Autor, 2017

**ANEXO 3: DATOS MACROINVERTEBRADOS**

Tabla 37. Base de datos para el cálculo de BMWP/Col y ASPT en la etapa invierno

| Orden                   | Familia                | Estación  |           |           |           |
|-------------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                         |                        | 1         | 2         | 3         | 4         |
| <i>Arrynchobdellida</i> | <i>Glossiphoniidae</i> |           |           | 12        |           |
| <i>Coleoptera</i>       | <i>Elmidae</i>         |           |           | 1         |           |
| <i>Diptera</i>          | <i>Chironomidae</i>    | 55        | 24        | 39        | 11        |
|                         | <i>Muscidae</i>        |           |           | 2         | 1         |
|                         | <i>Psychodidae</i>     | 1         | 2         |           |           |
|                         | <i>Simuliidae</i>      |           |           | 3         |           |
| <i>Ephemeroptera</i>    | <i>Leptohyphidae</i>   | 1         |           |           |           |
| <i>Oligochaeta</i>      | -                      | 3         | 3         | 9         | 1         |
| <b>Total:</b>           |                        | <b>60</b> | <b>29</b> | <b>66</b> | <b>13</b> |

Fuente: Blgo. Agustín Sparer, Laboratorio de Limnología, Universidad del Azuay

Tabla 38. Base de datos para el cálculo de BMWP/Col y ASPT en caudal alto

| Orden                   | Familia               | Estación  |           |           |           |
|-------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                         |                       | 1         | 2         | 3         | 4         |
| <i>Amphipoda</i>        | <i>Hyaellidae</i>     |           | 1         |           |           |
| <i>Arrynchobdellida</i> | <i>Glossiphonidae</i> |           |           | 15        |           |
| <i>Coleoptera</i>       | <i>Elmidae</i>        |           | 1         | 1         |           |
|                         | <i>Chironomidae</i>   | 82        | 39        | 53        | 20        |
| <i>Diptera</i>          | <i>Muscidae</i>       |           |           | 2         | 1         |
|                         | <i>Psychodidae</i>    | 1         | 2         |           | 1         |
|                         | <i>Simuliidae</i>     | 2         |           | 5         |           |
| <i>Ephemeroptera</i>    | <i>Baetidae</i>       | 4         | 6         |           | 3         |
|                         | <i>Leptohyphidae</i>  | 1         |           | 8         | 2         |
| <i>Homoptera</i>        | <i>Margarodidae</i>   |           | 1         |           |           |
| <i>Lepidoptera</i>      | <i>Tortricidae</i>    |           |           |           | 1         |
| <i>Oligochaeta</i>      | -                     | 6         | 3         | 11        | 1         |
| <i>Trichoptera</i>      | <i>Hydroptilidae</i>  | 1         | 3         |           |           |
| <i>Tricladida</i>       | <i>Dugesidae</i>      | 1         |           |           |           |
| <b>Total general</b>    |                       | <b>99</b> | <b>60</b> | <b>96</b> | <b>30</b> |

Fuente: Blgo. Agustín Sparer, Laboratorio de Limnología, Universidad del Azuay

Tabla 39. Base de datos para el cálculo de BMWP/Col y ASPT en caudal bajo

| Orden                          | Familia               | Estación  |           |           |           |
|--------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                                |                       | 1         | 2         | 3         | 4         |
| <b><i>Amphipoda</i></b>        | <i>Hyalellidae</i>    | 1         |           |           |           |
| <b><i>Arrynchobdellida</i></b> | <i>Glossiphonidae</i> | 15        |           |           |           |
| <b><i>Coleoptera</i></b>       | <i>Elmidae</i>        | 1         |           | 1         |           |
|                                | <i>Chironomidae</i>   | 82        | 39        | 53        | 20        |
| <b><i>Diptera</i></b>          | <i>Muscidae</i>       |           |           | 2         | 1         |
|                                | <i>Psychodidae</i>    | 1         | 2         | 1         |           |
|                                | <i>Simuliidae</i>     | 2         | 5         |           |           |
| <b><i>Ephemeroptera</i></b>    | <i>Baetidae</i>       | 4         | 6         | 3         |           |
|                                | <i>Leptohyphidae</i>  | 1         | 8         |           | 2         |
| <b><i>Homoptera</i></b>        | <i>Margarodidae</i>   | 1         |           |           |           |
| <b><i>Lepidoptera</i></b>      | <i>Tortricidae</i>    | 1         |           |           |           |
| <b><i>Oligochaeta</i></b>      | -                     | 6         | 3         | 11        | 1         |
| <b><i>Trichoptera</i></b>      | <i>Hydroptilidae</i>  | 1         | 3         |           |           |
| <b><i>Tricladida</i></b>       | <i>Dugesidae</i>      | 1         |           |           |           |
| <b>Total general</b>           |                       | <b>99</b> | <b>60</b> | <b>96</b> | <b>30</b> |

Fuente: Blgo. Agustín Sparer, Laboratorio de Limnología, Universidad del Azuay