



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MAGÍSTER EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**TEMA: DETERMINACIÓN DE LA CARGA TOTAL MÁXIMA  
DIARIA (TMDL) DE CONTAMINANTES EN LA CUENCA ALTA  
DEL RÍO PITA**

**AUTOR: MEDRANO MOYA, VÍCTOR ANIBAL**

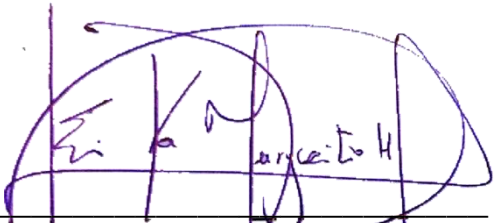
**DIRECTOR: MGS. MURGUEITIO, ERIKA**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Víctor A. Medrano Moya, bajo mi supervisión.



Mgs. Quim. Erika Murgueitio  
**DIRECTORA DE TESIS**

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Víctor Aníbal Medrano Moya, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



---

Ing. Víctor A. Medrano M.

## AUTORIZACIÓN

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

Ing. Víctor A. Medrano M.

## **DEDICATORIA**

A mi familia en las personas de esposa, hijos y nietos para confirmar los principios de superación y sacrificio encaminados a alcanzar los deseos y objetivos trazados en nuestras vidas.

## **AGRADECIMIENTO**

Las oportunidades manifestadas en su debido momento para facilitar y mejorar la formación profesional al interior de la Institución brindadas por las autoridades; el apoyo y sacrificio compartido por la familia en momentos críticos de dedicación personal; y, la atinada designación de maestros que con sobrado conocimiento y técnica guían en la ejecución de temas de interés; por todos estos aspectos no puedo dejar de expresar mi agradecimiento más efusivo a todos que los que fueron parte activa en este esfuerzo, pero un agradecimiento especial para:

- La Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE
- Mi esposa Silvana, mis hijos Víctor, Paola, Andrea y nietos.
- Para los docentes y compañeros que desinteresadamente han impulsado y colaborado como: Dr. Vicente Delgado, Ing. Esthela Salazar, Dr. Modesto Correoso, Ing. Mario Cruz e Ing. Paulina Guevara.
- La Quim. Erika Murgueitio, Directora de Tesis, por su paciencia y carisma en la consecución de este gran final.

## INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
INDICE.....	
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
CAPÍTULO I .....	1
1. ASPECTOS GENERALES .....	1
1.1 Tema de investigación .....	1
1.2 Motivación y contexto .....	1
1.2.1 Descripción del problema .....	1
1.2.2 Planteamiento del problema .....	3
1.3 Preguntas de investigación .....	6
1.4 Justificación e importancia.....	6
1.5 Objetivo General.....	7
1.6 Objetivos Específicos.....	7
1.7 Hipótesis y operacionalización de variables .....	8
1.7.1 Hipótesis.....	8
1.7.2 Operacionalización de factores de estudio.....	8
Tabla 1.....	
Operacionalización de factores de estudio.....	
1.8 Metodología de Investigación.....	9
1.8.1 Recopilación Bibliográfica .....	9
1.8.2 Caracterización del Área .....	9
1.8.3 Análisis de Componentes Ambientales.....	10

1.8.4 Evaluación de la Calidad del Agua.....	10
1.8.5 Análisis de Macro invertebrados .....	11
1.8.6 Análisis de datos y procesamiento en gabinete utilizando el modelo WASP 7. ...	11
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>12</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	12
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES .....	15
2.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SITIO .....	15
2.2.2 CARACTERIZACIÓN DE ASPECTOS BIOTICOS.....	28
2.2.3 CARACTERIZACIÓN DE ASPECTOS HUMANOS. ....	30
2.2.4 CARACTERIZACIÓN DE ASPECTOS CULTURALES Y DE PAISAJE.....	30
2.3 MÉTODOS E INSTRUMENTOS PARA CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA. ....	31
2.3.1 Parámetros de la Calidad de Agua .....	32
2.3.1.1 Parámetros Físicos-químicos .....	33
2.3.1.2 Parámetros Biológicos.....	35
2.4 PROCESO DE ANÁLISIS Y RECONOCIMIENTO DE MACROINVERTEBRADOS.....	38
2.5 PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TMDL, SEGÚN LA EPA.....	47
2.6 ANÁLISIS Y USO DEL MODELO WASP 7. ....	58
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>73</b>
<b>INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>73</b>
3.1 MAPA DE LOS SITIOS DE TOMA DE MUESTRAS. ....	73
3.2 DATOS OBTENIDOS: .....	76
3.2.1 PARA LAS PROPIEDADES DE CALIDAD DE AGUA.....	76
3.2.2 INDICE DE CALIDAD .....	79
3.2.3 PARA LOS MACROINVERTEBRADOS.....	82
3.3 Trabajo en laboratorio. ....	87
3.2.4 LIMITES DE APLICACIÓN DEL WASP 7 .....	95
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>99</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	<b>99</b>
4.1 Índice de calidad de agua.....	99



4.2 Análisis de biodiversidad según el estudio de macro invertebrados béticos .....	100
4.3 Simulación del modelo WASP 7 .....	103
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>109</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>109</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	109
5.2. RECOMENDACIONES.....	114
Bibliografía.....	115
<b>ANEXOS.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXO 3 .....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO 4 .....</b>	<b>134</b>
4.1.2 Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico.....	134
<b>ANEXO 5 .....</b>	<b>136</b>
<b>RECOPIACIÓN FOTOGRÁFICA .....</b>	<b>136</b>
Paisajística del entorno de la cuenca alta del río Pita.....	136
Actividades de campo, toma de muestras, lectura de datos y otros.....	137
Actividades varias en laboratorio para análisis físico químico. ....	138
Actividades varias en laboratorio para macroinvertebrados. ....	139
Posibles fuentes de contaminación .....	140
Paisajes naturales.....	140

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 La cuenca hidrográfica.....	3
Figura 2 Los recursos naturales y la población, elementos de una cuenca... 4	4
Figura 3 Caracterización de la cuenca del río Pita.....	12
Figura 4 Ortofoto del área de estudio: cuenca alta del río Pita .....	14
Figura 5 Cascada del Cóndor Machay.....	16

Figura 6 Tipo de suelo en la microcuenca del río Pita .....	18
Figura 7 Descripción Geomorfológica de la Cuenca Alta del río Pita.....	24
Figura 8 Uso del suelo .....	27
Figura 9 El River Continuum Concept.....	37
Figura 10 Diversidad de Taxones .....	42
Figura 11 Fuentes puntuales .....	51
Figura 12 Fuentes no puntuales .....	51
Figura 13 Proceso para el desarrollo del TMDL.....	52
Figura 14 Ejemplo conceptual.....	54
Figura 15 Unidades de medida para cálculos del TMDL .....	56
Figura 16 Parametrización del modelo .....	60
Figura 17 Modelo de simulación para los resultados de intervalo.....	61
Figura 18 Modelo de pantalla para la definición del segmento .....	62
Figura 19 Definición del Sistema modelo I (Sistemas).....	62
Figura 20 Factores de escala del parámetro segmento .....	63
Figura 21 Definición de las series de tiempo .....	64
Figura 22 Definición de series de tiempo de aspectos ambientales .....	65
Figura 23 Entrada de datos de flujo (Flujos) .....	66
Figura 24 Factores de escala de los parámetros de segmento .....	68
Figura 25 Función de dispersión.....	69
Figura 26 Series temporales de las condiciones de frontera. ....	70
Figura 27 Ubicación de sitios de muestreo .....	75
Figura 28 Malla Surber      Figura 29 Tamiz metálico .....	84
Figura 30 Método de recolección de muestras en campo y laboratorio. ....	85
Figura 31 Determinación de segmentos de ríos .....	103
Figura 32 Resultados de ejecución del modelo WASP.....	106
Figura 33 Lugar adecuado para medición de caudal por .....	125
Figura 34 Recolección de muestras con malla .....	129
Figura 35 Etiquetado de frascos .....	130
Figura 36 Rotulación.....	130

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de factores de estudio .....	8
Tabla 2 Parámetros a evaluar y métodos .....	10
Tabla 3 Coordenadas UTM, Datum WGS 84 del área de estudio .....	13
Tabla 4 Promedio de Precipitación Y Temperatura en el Sector. ....	17
Tabla 5 Cobertura Vegetal de la microcuenca del Pita, área y porcentaje. .	25
Tabla 6 Coordenadas de los Puntos de Muestreo. ....	74
Tabla 7 Sólidos Totales .....	77
Tabla 8 Sólidos en suspensión. ....	77
Tabla 9 Análisis y Preservación de Resultados (Cálculos). ....	78
Tabla 10 Factores de Normalización Ci. ....	80
Tabla 11 Clasificación de los Índices de Calidad. ....	81
Tabla 12 Índice de Biodiversidad EPT. ....	88
Tabla 13 Variedad de macroinvertebrados encontrados en la cuenca alta del rio Pita. ....	92
Tabla 14 Sumario de Consideraciones Técnicas para Seleccionar una aproximación en el desarrollo de un TMDL. ....	96
Tabla 15 Comparativa de Resultados. ....	105
Tabla 16 Sumatoria de cargas asignadas no puntuales. ....	107
Tabla 17 Aguas de consumo humano .....	134

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Tipos de muestreo para macroinvertebrados. ....	40
Cuadro 2 Curva de Especies/Área. ....	41

**ÍNDICE DE FÓRMULAS**

Fórmula 1 Índice de Simpson. ....	43
Fórmula 2 Índice de Shannon-Wiener. ....	43
Fórmula 3 Índice de Helsinhoff o FBI.....	44
Fórmula 4 Índice EPT. ....	45
Fórmula 5 Cálculo del TMDL. ....	50
Fórmula 6 Índice de Calidad del Agua. ....	79
Fórmula 7 Cálculo de Sólidos Totales. ....	121
Fórmula 8 Cálculo de Sólidos Suspendidos. ....	123
Fórmula 9 Cálculo de la velocidad del flotador. ....	125
Fórmula 10 Cálculo del área transversal. ....	126
Fórmula 11 Cálculo del caudal del río.....	127

## RESUMEN

La opción de generar investigación sobre el futuro de la escasez de agua dulce en el país, propicia la inquietud de experimentar con la aplicación de métodos de monitoreo y control nacionales o internacionales, que satisfagan efectividad y menores costos para su realización. El estudio de la funcionalidad del modelo implementado por la EPA, denominado TMDL para determinar la carga máxima diaria que un cuerpo de agua pueda soportar sin que pierda sus características de calidad del agua, bien sea para consumo, cuanto para entretenimiento. Por otro lado, la realización de análisis físico químico de las aguas del río Pita aún es fundamental para que a través del ajuste a índices de calidad como el ICA, con ingentes gastos económicos, también determine la condición de calidad del agua. De igual forma, se pone a prueba en esta investigación la condición de vida en los ríos de montaña, como son los macroinvertebrados o bentos, especies que en la actualidad se han convertido en indicadores de calidad del agua y que al mismo tiempo se vuelven trabajos de campo que no consumen presupuesto exagerado. Los resultados obtenidos de las prácticas mencionadas reflejan que para aguas de altura 3500 msnm, con temperaturas promedio del ambiente de 16,5 °C y 14 – 15 °C en la capa superficial del flujo de agua del río Pita, la presencia de especies EPT que son especies sensibles a los cambios de calidad de agua aunque su diversidad no sea alta, mientras que el ICA conforme la tabla comparativa de Bascaron califica como agua regular a buena con un índice entre 70 y 80, corroborando que esta fuente de agua del río Pita continuará soportando las necesidades de la población al menos del DMQ. Como recomendación se cree necesario el mantenimiento y mayor apoyo para la continuidad de los estudios en ésta u otra cuenca hidrográfica de nuestro país.

### **PALABRAS CLAVES:**

- TMDL, Carga Total Máxima Diaria
- ICA , Índice de Calidad del Agua
- EPT, Índice de Biodiversidad
- EPA, Agencia de Protección del Ambiente
- MACROINVERTEBRADOS

## ABSTRACT

The option of generating research on the future of the scarcity of fresh water in the country, promotes the concerns of experience with the application of monitoring methods of control either national or international, which meet effectiveness and lower costs for its realization. The study of the functionality of the model implemented by the EPA, called TMDL to determine the maximum daily load that a water body can withstand without losing its water quality characteristics, either for consumption, as for entertainment. On the other hand, conducting physical and chemical analysis to the waters of Pita River is still essential for through adjustment based on quality as ICA, with huge economic costs; also determine the status of water quality. Similarly, is tested in this research the living conditions of the river's mountain, such as benthic macroinvertebrates or species that today have become indicators of water's quality and at the same time become work fields who do not consume excessive budget. The results from these practices reflect that the water over 3500 m in height, with average ambient temperatures of 16.5 ° C and 14-15 ° C in the surface layer of water flow of Pita's River, the presence of EPT species that are sensitive to changes in water quality even though it's not high in species diversity, while the ICA under the table Bascaron comparative qualifies as a good regular water at a rate between 70 and 80, confirming that this source of water of Pita's River continues to support the needs of the population at least of the DMQ. By the way is recommended the maintenance and increased support for the continuation of studies in this or any other watershed in our country it is deemed necessary.

### KEYWORDS:

- TMDL
- ICA
- EPT
- EPA
- MACROINVERTEBRATES

## **CAPÍTULO I**

### **1. ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1 Tema de investigación**

“Determinación de la Carga Total Máxima Diaria (TMDL) de sólidos, análisis físico químico y de macro invertebrados del recurso agua en la cuenca alta del río Pita, Provincia de Pichincha”.

#### **1.2 Motivación y contexto**

##### **1.2.1 Descripción del problema**

Es conocida la vigencia del Acta de Agua Limpia (Clean Water Act), firmada por el Gobierno Federal de los Estados Unidos; esta Acta requiere que cada Estado debe identificar las aguas superficiales (ríos pequeños, ríos grandes, lagos) que están “desmejorados”, significando con ello, que sus aguas no cumplen los estándares de calidad de agua. Por lo que los Estados han sido dispuestos a monitorear aquellas aguas y mejorarlas. (Harden, 2010)

La Institución responsable de ejecutar el cumplimiento del Acta de Agua Limpia, es la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA); según esta Agencia:

Las comunidades de macro invertebrados de origen béntico de agua fresca están compuestos primeramente de larvas de insectos, moluscos y gusanos. Ellos son un enlace esencial en el proceso alimenticio acuático, proveyendo alimentos para pescados y consumiendo algas y vegetación acuática (U.S. EPA, 206b).

La presencia y distribución de los macro invertebrados en los ríos puede variar a través de las ubicaciones geográficas basadas en criterios de elevación, gradiente de los ríos, del sub estrato (Barbour, 1999).

Estos organismos son sensibles a desórdenes en la parte química y hábitat físico en los ríos, bien sea en el canal de los ríos y a lo largo de la zona ribereña, y alteraciones al hábitat físico o química del agua de los ríos pudiendo tener impactos directos o indirectos sobre la estructura de su comunidad. A causa de su relativo largo ciclo de vida (aproximadamente un año) y limitada migración, los macro invertebrados bénticos son particularmente susceptibles a estrés en sitios específicos. (Barbour et al., 1999).

Los Estados en coordinación con diversas entidades, siendo una de ellas las universidades mediante sendos convenios, han creado proyectos y asignado ingentes recursos presupuestarios a fin de que se asuma esta responsabilidad de monitoreo del agua y la vida en las corrientes de los ríos y lagunas.

En el caso del Ecuador, existen leyes y reglamentos vigentes que regulan el uso, manejo y conservación del recurso agua, pero no en forma explícita y particular; más bien, se orienta a la generalidad de mantener un estándar de calidad en base al cumplimiento de los índices de contaminación propios del agua para consumo humano. (Ministerio de Ambiente, 2015)

La ESPE, a través de sus políticas y estrategias proyectadas hasta el año 2016, con la intervención y responsabilidad de sus Departamentos, debe cumplir con tareas académicas, de investigación y vinculación con la colectividad; por lo que acoge lo expresado e impulsa a sus Grupos de

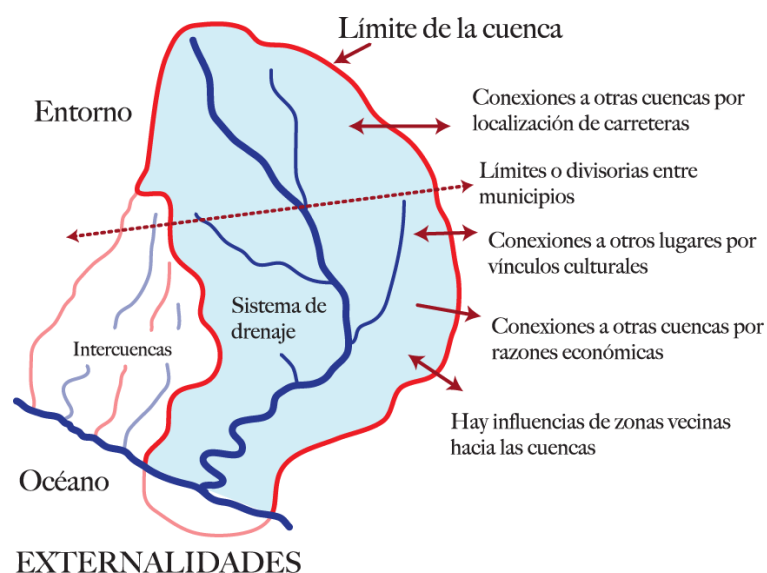


Investigación a participar en el desafío de tener y propender al mantenimiento de un ambiente equilibrado.

### 1.2.2 Planteamiento del problema

Se ha mencionado en el numeral anterior a las aguas superficiales, manifestadas a través de ríos pequeños, ríos grandes o lagos; ellos de alguna forma no se encuentran aislados uno de otros, lo que hace necesario abordarlos bajo un criterio integrador de "cuenca hidrográfica".

La cuenca hidrográfica (Ver Figura 1) se define como "El territorio o espacio de terreno que está limitado por cerros, partes elevadas y montañas, de los cuales se configura una red de drenaje superficial, que en presencia de precipitación de lluvias, forma el escurrimiento de un río, para conducir sus aguas a un río más grande o a otro río principal, lago o mar".



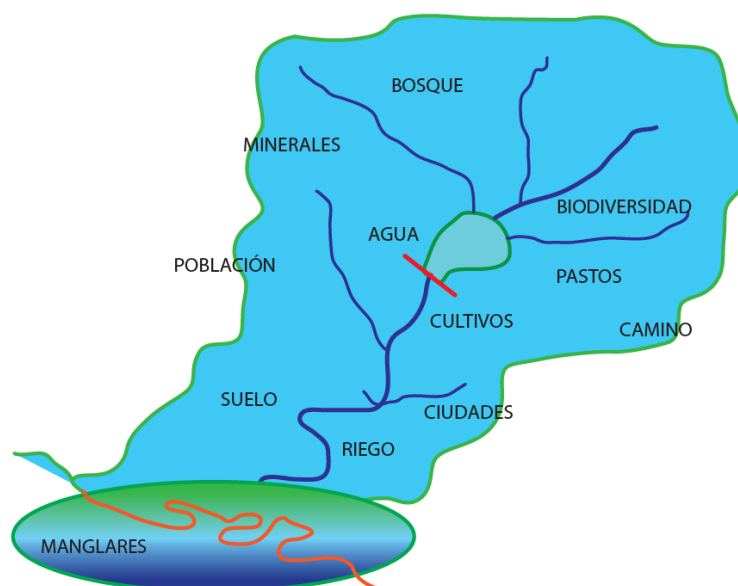
**Figura 1 La cuenca hidrográfica**

**Fuente: Modificado, Medrano, 2015**

En la cuenca hidrográfica se ubican todos los recursos naturales y actividades que realiza la población allí interactúan el sistema biofísico con el

socioeconómico y están en una dinámica integral que permite valorar el nivel de intervención del ser humano, los problemas generados en forma natural y antrópica.

Todo punto de la tierra puede relacionarse con el espacio de una cuenca hidrográfica, a veces corresponde a las partes altas, laderas, lugares ondulados, sitios planos y zonas bajas, que pueden localizarse hasta en las zonas costeras, cuando la cuenca conduce su drenaje a un océano, como lo indica la Figura 2.



**Figura 2 Los recursos naturales y la población, elementos de una cuenca.**

**Fuente: Modificado, Medrano, 2015**

## VOCACIÓN Y POTENCIALIDADES DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

Así, la cuenca está integrada principalmente por sus recursos y los usuarios de ellos, la valoración de los recursos expresa la potencialidad de oportunidades, pero fundamentalmente define los límites o niveles de intervención sobre el medio físico.

La oferta de recursos, su calidad y distribución determinan posibilidades para el hombre y sus actividades, de ella dependen para qué sirve la cuenca o cual es el uso predominante.

Esto explica la necesidad de entender los fenómenos geológicos, que en el tiempo, han tenido que ver con la fragilidad o capacidad de carga de sus suelos, como ejemplo se puede mencionar los suelos volcánicos que existen en determinadas cuencas que permitirán una mayor carga animal sobre el suelo, según la disponibilidad, tipo y calidad de pastos.

Tierras con altas pendientes, suelo superficial y bajo en fertilidad, tendrá fuertes limitantes para agricultura intensiva, allí los cultivos anuales deberán emplear sistemas agroforestales o la mayor parte de la cuenca será forestal o de protección.

De esta forma corresponde, hacer énfasis en la potencialidad de la cuenca hidrográfica, con fines de estudio continuo y profundo ya que está asociada a aspectos económicos de los recursos naturales y a las actividades que se pueden lograr sobre la base de sus usos, muchas veces los recursos están subutilizadas o el valor agregado tiene un mínimo de desarrollo. (CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA, Turrialba, Costa Rica 2007, 2007)

Se considera así la importancia que reviste la riqueza integral de una cuenca hidrográfica y el riesgo que significa descuidar su administración y cuidado, más si observamos de cerca los problemas ambientales relacionados con el calentamiento global, la reducción de los glaciares, el crecimiento de la población y las necesidades por ella creadas, **siendo el agua uno de los elementos más preciados para la vida humana.**

Por ello, la Constitución del Ecuador (2008) reconoce “el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay” (Art.-14); y, el

respeto a la naturaleza mediante el “compromiso de incentivar a las personas naturales y jurídicas para que protejan la naturaleza” (Art.- 71). (Asamblea Nacional, 2008)

Mientras que en la Ley de Aguas, Título II, De la Conservación y Contaminación de las Aguas, Capítulo II, De la Contaminación, Art.- 22 se establece: Prohíbese toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna”. (Reyes, Silva, & Balarezo, 2012)

### **1.3 Preguntas de investigación**

¿Cuál es el estado actual de los componentes ambientales existentes en el sector de la Cuenca alta del río Pita?

¿Qué tipo de calidad de agua posee el agua el río Pita del sector de la Cuenca alta del Río Pita?

¿Existe algún nivel de contaminación antropogénica que se evidencie en el sector?

### **1.4 Justificación e importancia**

El país y los gobiernos seccionales requieren un mayor y mejor conocimiento del hábitat de los lechos de los ríos (macro invertebrados bénticos) y de la distribución espacial de los mismos; para identificar el daño que éste puede tener por acción de varios factores naturales o de origen antrópico (sedimento fino en los ríos, sector productivo), a fin de encaminar los objetivos prevención, de conservación o de restauración y la implementación de medidas que mejor se ajusten a las condiciones de cada región.

El TMDL, cuyo origen se fundamentó en el límite máximo permitido de la cantidad de un contaminante específico en el agua, tal como el sedimento, la bacteria o los fosfatos; en la actualidad, contempla que cada Estado sustente un Plan Declarado y Aprobado por la respectiva autoridad

ambiental para reducir los actuales niveles de contaminación del agua tanto que ellos permanezcan por debajo del límite.

Así el plan, propuesto anteriormente dependiente de la escala geográfica, sistemáticamente determina la distribución espacial de los lechos de los ríos y relaciona su ocurrencia a otras características de las líneas divisorias de las aguas para sustentar la implementación de dicho Plan, en relación a los sedimentos, bacterias o fosfatos conforme a la Carga Máxima Total Diaria (TMDL) en estas regiones.

De esta manera, la presente Tesis de Investigación quiere encontrar las respuestas a las preguntas acerca de la distribución espacial de los ríos y sus rápidos, lo cual nos ayudaría a comprender mejor el destino de los sólidos embebidos en los lechos y poder aplicar de mejor manera los niveles de Carga Máxima Total Diaria (TMDL) en las corrientes de los ríos, para lo cual se desarrollará un estudio previo para el levantamiento de la línea base ambiental mediante la caracterización de la zona de estudio y con toma de muestras para análisis de parámetros físico-químicos y de macro invertebrados de origen béntico.

### **1.5 Objetivo General**

Determinación de la Carga Total Máxima Diaria (TMDL) de contaminantes: sólidos, análisis físico químico y presencia de los macro invertebrados, del recurso agua en la cuenca alta del río Pita, Provincia de Pichincha.

### **1.6 Objetivos Específicos**

- Análisis del modelo WASP 7 para evaluación de la Carga Total Máxima Diaria (TMDL), mediante uso de las variables físico-químicas y de sólidos de la calidad del agua, en un sector de la Cuenca alta del río Pita.

- Estudio y evaluación de la calidad del agua en un sector de la cuenca alta del río Pita, mediante análisis del índice de calidad de agua.
- Análisis de la población de macro invertebrados de origen béntico en aguas superficiales como bio indicadores de la calidad del agua.
- Elaboración de un sistema de representación de los resultados obtenidos, con el uso de la herramienta ArcGIS.

## 1.7 Hipótesis y operacionalización de variables

### 1.7.1 Hipótesis

- El modelo Wasp 7 es aplicable para proporcionar información confiable sobre la Carga Total Máxima Diaria (TMDL) de contaminantes.
- El índice de calidad de agua del río Pita en la Cuenca alta es excelente.
- Los macro invertebrados constituyen un índice de biodiversidad alto.

### 1.7.2 Operacionalización de factores de estudio.

**Tabla 1 Operacionalización de factores de estudio**

Factor de estudio	Dimensiones	Indicadores.
<b>Modelo WASP 7</b>	Ambiental	- Análisis de sólidos sedimentables - Análisis de sólidos suspendidos. - Análisis de caudales
<b>Índice de calidad de agua</b>	Ambiental	- Análisis físico químico. - Índice de calidad ICA - Parámetros, Acuerdo No. 061 Libro VI

**CONTINÚA** 

<b>Índice de biodiversidad</b>	Ambiental	- Estudio de macro invertebrados de origen béntico.
--------------------------------	-----------	-----------------------------------------------------

Fuente: Medrano V., 2015

## **1.8 Metodología de Investigación**

Métodos utilizados para el análisis de la carga total máxima diaria (TMDL): de sólidos, análisis físico químico y de macro invertebrados del recurso agua, en la cuenca alta del río Pita, Provincia de Pichincha.

### **1.8.1 Recopilación Bibliográfica**

Elaborar un sistema documentado de uso de recursos materiales como de mapas, cartas topográficas, fotografías aéreas y otra información y opinión de expertos, experiencias de campo de biólogos acuáticos.

### **1.8.2 Caracterización del Área**

Recolección y procesamiento de la información para evaluar y generar nueva información necesaria para el completamiento de los criterios de contaminación al agua y distribución espacial de los sitios de muestreo sobre el río (rápidos); esto es, aspectos físicos de ubicación, geomorfológicos, hidrográficos, uso de suelo, aspectos climáticos.

### 1.8.3 Análisis de Componentes Ambientales

Visita de campo, familiarización y levantamiento de fichas de observación. Se complementará con existencia bibliográfica de estudios relacionados.

### 1.8.4 Evaluación de la Calidad del Agua

Estudio de localización geográfica y toma de muestras de agua en puntos representativos del cauce alto del río Pita.

- Mediciones de caudal, velocidad de la corriente del río.
- Análisis de parámetros físico-químicos, tales como :
  - “in situ”: pH, TDS, Conductividad, Alcalinidad, Temperatura
  - En laboratorio: Oxígeno disuelto, DQO, Color, Turbidez. Ver Tabla 2.

**Tabla 2 Parámetros a evaluar y métodos**

Variables	Unidad	Material y/o Método	Comentario
<b>Temperatura del agua</b>	° C	Termómetro	In situ
<b>Conductividad</b>	µmhos/cm	Conductímetro	Potenciométrico
<b>Turbidez</b>	NTU	Turbidímetro	Nefelométrico
<b>Sólidos totales</b>	mg/l	Gravimétrico	Secado en mufla a 103-105 ° C
<b>Oxígeno disuelto</b>	mg/l	Winkler (300 ml)	Modificación de ácida
<b>pH</b>	---	pH-metro	Potenciométrico

CONTINÚA 



---

<b>DQO. Demanda Química de Oxígeno</b>	mg/l	Espectrofotometría
------------------------------------------------	------	--------------------

---

Fuente: Standard Methods, 2008.

### **1.8.5 Análisis de Macro invertebrados**

Colecta y análisis en situ y laboratorio de macro invertebrados bénticos en el lecho del río Pita; clasificación de especies y comparación con patrones de vademécum de macro invertebrados de la región; técnica de recolección con la malla SURBER.

### **1.8.6 Análisis de datos y procesamiento en gabinete utilizando el modelo WASP 7.**

El modelo a utilizarse denominado Programa para la Simulación de Análisis de la Calidad de Agua, responden a sus siglas en inglés Water Quality Analysis Simulation Program (WASP 7), se refiere a la simulación del comportamiento de los contaminantes en los ríos.

Este modelo es extraordinariamente amplio en términos de aplicación, al involucrar individualidades de los lechos de ríos, redes de lechos y cuencas llegando al estudio cinético de las aguas. Por ello, se aplicará este modelo como un intento de promover en el futuro inmediato la investigación a fondo del funcionamiento del mismo, los componentes y sus variables, su lógica y filosofía de ejecución, para recomendar su uso y lo más importante, el desarrollo de un modelo propio que se ajuste a las exigencias de nuestro entorno.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El río Pita recorre por la provincia de Pichincha y abarca tres cantones: Rumiñahui (parroquias Sangolquí y Cotogchoa), Mejía (parroquias de Tambillo y Machachi) y Quito (Píntag y en mínima proporción Amaguaña), ( FONAG, 2011). De igual manera, el río Pita conforma una microcuenca que a su vez es parte de la subcuenca del río Guayllabamba. Ver Fig. 3

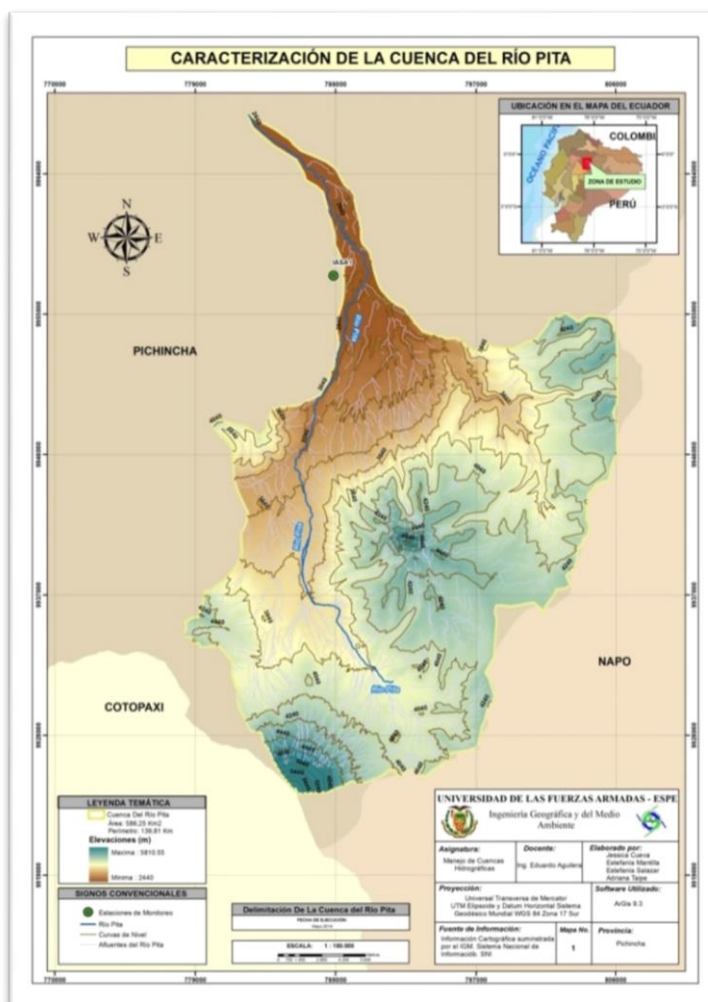


Figura 3 Caracterización de la cuenca del río Pita

Fuente: Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE

La microcuenca del río Pita tiene una superficie de 586,25 Km<sup>2</sup>, determinando la posibilidad de dividirla para su estudio en las denominadas cuenca alta, media y baja; por lo que, durante su recorrido manifiesta un rango altitudinal entre 2480 y 5880 msnm, existiendo un desnivel de 3400 m (Newvi, 2011), permitiendo observar las pendientes en la microcuenca oscilan entre 5 % y 15%, mientras que en la zona montañosa oscilan entre 25% y 60% alcanzando valores superiores a 100% (De Bievre & Coello, 2008).

Conforme lo expresado en el tema de esta investigación, el estudio más bien está orientado a la parte alta de esta microcuenca, por razones fundamentales, siendo la más gravitante procurar conocer el comportamiento de la calidad del agua, en este gran segmento, por el beneficio que presta a gran parte de la población de Pichincha para el consumo humano.

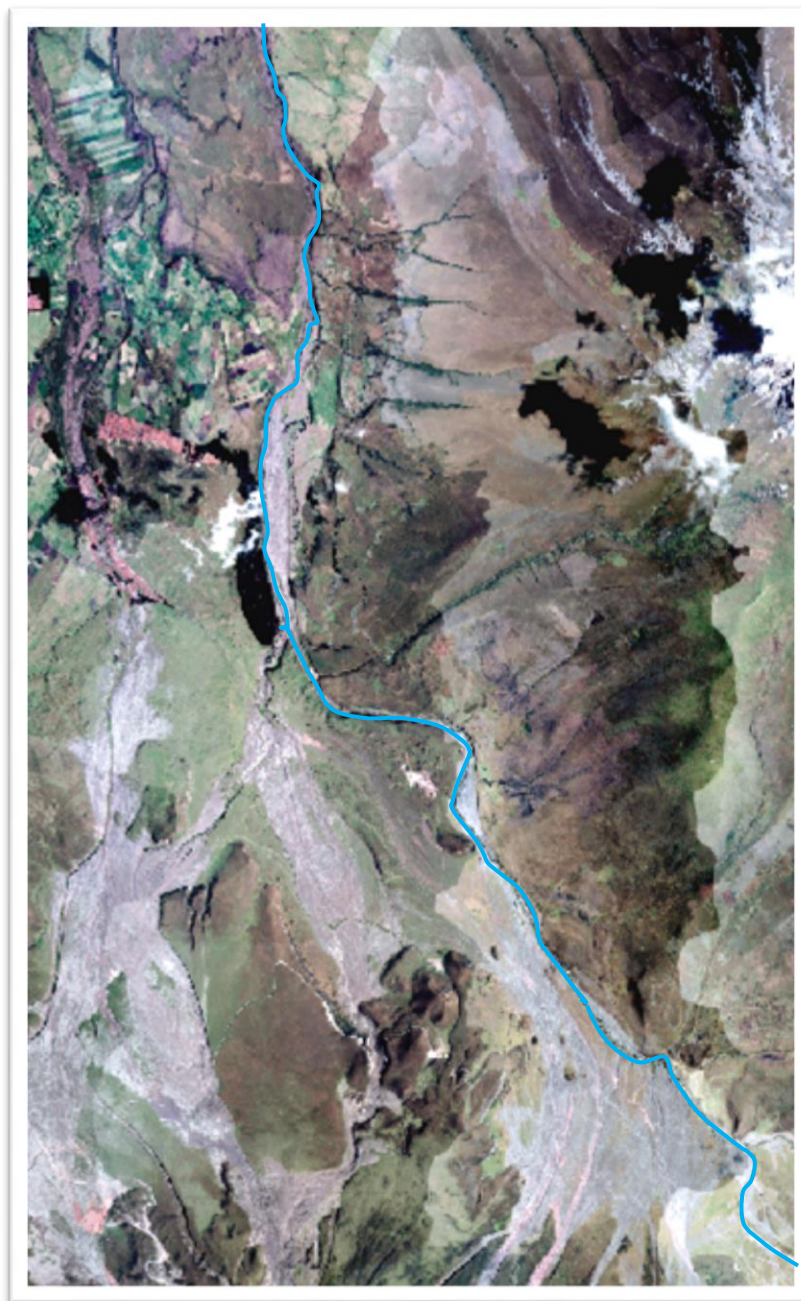
El área de trabajo considerada se encuentra entre las coordenadas UTM, datum WGS84: Ver Tabla 3

**Tabla 3 Coordenadas UTM, Datum WGS 84 del área de estudio**

<b>Coordenadas</b>	<b>X (m)</b>	<b>Y(m)</b>
<b>NE</b>	787671	9944819
<b>NW</b>	779173	9947279
<b>SE</b>	782119	9932488
<b>SW</b>	789899	9933306

Fuente: Medrano, Autor. 2015

Una parte del área se encuentra reflejada en la imagen de satélite en la que se encuentran los puntos que limitan la zona de estudio. (Ver Figura 5.)



**Figura 4 Ortofoto del área de estudio: cuenca alta del río Pita**

**FUENTE: IGM. Modificado, Medrano. 2015**

## **2.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES AMBIENTALES**

Esto significa realizar el levantamiento de la línea base ambiental que incluirá en esta ocasión al medio físico, un análisis rápido del clima, la geología y la geomorfología, la hidrogeología, la hidrología y la edafología. De igual forma lo hará con el medio biótico, ya que es parte esencial del presente estudio; la situación humana en cuanto al despliegue de sus actividades sociales, económicas, demográficas y finalmente, aquellos aspectos culturales, turísticos y arqueológicos que puedan en un momento dado ser parte afectada con procesos de contaminación provenientes de fuentes natural o antrópica.

### **2.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SITIO**

Tras el descenso abrupto de las aguas lluvias y deshielos provenientes de las faldas de las montañas que circundan el río Pita, se origina la red de drenaje que conforman la parte alta de la microcuenca: el Cotopaxi (5.897 msnm), Sincholagua (4.783 msnm) en el Sur, Pasochoa en el noroccidente (4.199 msnm); sin embargo, la red se compone en su mayoría de quebradas, siendo los únicos afluentes del río Pita los ríos Guapal y Gualpaloma (Fundación Natura y FONAG, 2003).

Se debe destacar que el Control Norte del Parque Nacional Cotopaxi, solamente da protección a la microcuenca de forma parcial o nula, por lo que su nacimiento que es en la unión de dos quebradas Gualpaloma y Carcelén, provienen del Sincholagua más no del Cotopaxi como se pretende.

Durante este recorrido superior, cerca de 15 km, cuya característica es la de ofrecer un paisaje pleno de hermosura, este ancho y caudaloso río presenta con frecuencia aguas rápidas rodeadas de vegetación paramera y frío. La presencia de pendientes en este segmento del río Pita manifiesta un cambio suave de 5% a 10%, lo que hace de este lugar más bien de naturaleza plana.

Una vez que el río el Salto se une al río Pita, se produce el espectáculo más importante de caída de agua, la cascada del Cóndor Machay; lugar turístico que ha venido en un desarrollo económico por el gran número de visitas nacionales e internacionales.



**Figura 5 Cascada del Cóndor Machay**

[http://www.terraecuador.net/revista\\_58/58\\_fotos/58\\_mapa\\_pita\\_grande.jpg](http://www.terraecuador.net/revista_58/58_fotos/58_mapa_pita_grande.jpg)

### **Precipitación, temperatura y clima.**

En la microcuenca del río Pita se registran precipitaciones medias anuales de 1000 mm en la zona oriental, existiendo un ascenso de la pluviosidad hasta valores de 1500 mm conforme se avanza al occidente de la misma.

En cuanto a la temperatura, se registran valores de 6 °C en la zona sur e incrementa hasta 8 °C cuando se avanza hacia el norte (De Bievre et al, 2008).

Mientras que de acuerdo a los datos obtenidos de la Estación Meteorológica del IASA, durante un período de 13 años, se puede concluir que el clima es templado y frío, tanto por la influencia de los pisos altitudinales (3.200 – 3.600 msnm) en la que se encuentra el segmento de estudio con precipitaciones promedio de 1368 mmm, lo que determina también temperaturas de 8°C a 14°C. (Ver Tabla 4).

**Tabla 4 Promedio de Precipitación Y Temperatura en el Sector.**

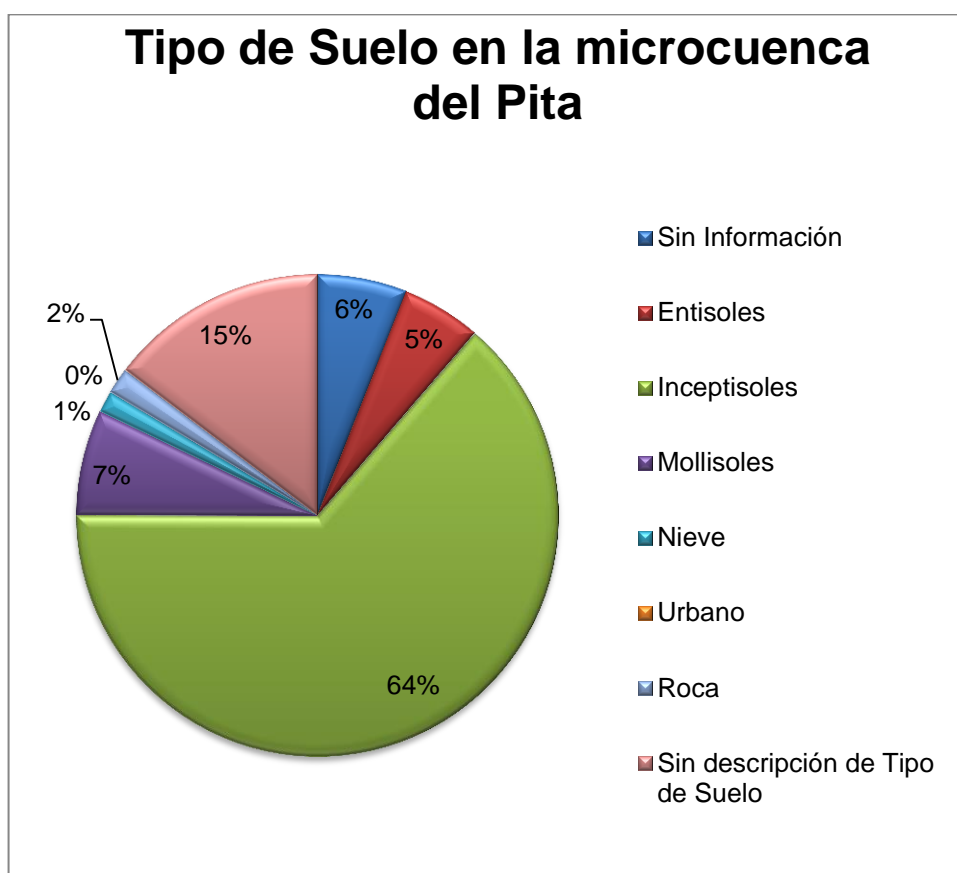
<b>INSTITUTO AGROPECUARIO SUPERIOR ANDINO, IASA</b>					
<b>HACIENDA EL PRADO ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA</b>					
<b>CÓDIGO: MA-56    LONGITUD: 70° 24' 44" W    LATITUD: 0° 23' 20" S</b>					
<b>ALTITUD 2,748 msnm</b>					
<b>AÑO</b>	<b>TEMPERATURA (° C)</b>			<b>PRECIPITACIÓN (mm)</b>	
	<b>MAX</b>	<b>MIN</b>	<b>MED</b>	<b>MEDIA</b>	<b>SUMA</b>
<b>1998</b>	20,10	8,33	14,22	101,97	1223,68
<b>1999</b>	19,16	7,47	13,32	127,13	1525,6
<b>2000</b>	18,71	8,05	13,38	117,48	1409,7
<b>2002</b>	19,71	9,08	14,40	99,44	1193,22
<b>2003</b>	19,69	8,90	14,29	99,24	1190,9
<b>2004</b>	20,39	8,23	14,31	96,72	1160,64
<b>2005</b>	20,76	7,71	14,23	95,79	1149,48
<b>2006</b>	20,58	6,90	13,74	128,77	1545,24
<b>2007</b>	20,81	7,19	14,00	111,26	1335,13
<b>2008</b>	20,20	7,31	13,75	164,62	1975,38
<b>2009</b>	21,23	7,46	14,35	93,09	1117,1
<b>2010</b>	21,33	7,53	14,43	102,31	1227,7
<b>2011</b>	21,16	7,11	14,13	144,02	1728,2
<b>PROMEDIO</b>	<b>20,30</b>	<b>7,79</b>	<b>14,04</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>1367,84</b>

Fuente: Estación Meteorológica IASA.

### Tipo de Suelos, Cobertura vegetal e Hidrozonas

El orden de tipo de suelo predominante corresponde a los Inceptisoles con 64% y le sigue el grupo denominado sin suelo con 14% y en menor porcentaje se tienen suelos de tipo Mollisoles. (FONAG, 2011)

(Ver Figura 6.)



**Figura 6 Tipo de suelo en la microcuenca del río Pita**

**Fuente: MAG-PRONAREG, 2008**

Los conceptos dados en el cuadro anterior que corresponden a toda la sub cuenca del río Pita, son explicados a continuación, con el objeto de comprender más adelante el uso del suelo en toda su área y que particularmente se viene dando en la cuenca; así como, determinar porqué existe la predominancia de los inceptisoles como tipo de suelo más generalizado en este trayecto o segmento.



## Orden Entisoles

Son aquellos suelos que tienen muy poca o ninguna evidencia de formación de horizontes pedogénicos. Existen muchas razones por las cuales no se han desarrollado o formado los horizontes; en muchos de los suelos el tiempo de formación ha sido corto, otros se encuentran sobre fuertes pendientes sujetas a erosión y otros se encuentran sobre planicies de inundación. (Bravo, Et al, 2006)

Se presentan por lo general en cualquier régimen climático. Se presentan sobre pendientes fuertes, donde la pérdida del suelo es más rápida que su formación; o en lugares donde la acumulación de materiales es continua, como en llanuras aluviales, dunas, estuarios; o en lavas.

Estas condiciones limitan su uso; los principales problemas para su aprovechamiento constituyen la erosión, rocosidad, excesivos materiales gruesos, susceptibilidad para la inundación y la saturación permanente de agua.

## Orden Inceptisoles

Son aquellos suelos que evidencian un incipiente desarrollo, dando lugar a la formación de algunos horizontes alterados. Tienen una subsiguiente evolución con respecto a los entisoles, pero son considerados inmaduros en su evolución.

Se encuentran en cualquier tipo de clima y se originan a partir de diferentes materiales parentales (materiales resistentes o cenizas volcánicas); en posiciones de relieve extremo, fuertes pendientes o depresiones o superficies geomorfológicas jóvenes.

El uso de estos suelos es muy diverso y variado, las áreas de pendientes son más apropiadas para la reforestación mientras que los suelos de depresiones con drenaje artificial pueden ser cultivados intensamente.

Los subórdenes se clasifican según la humedad, temperatura y mineralogía del suelo.

Suborden Andepts: Son los inceptisoles formados de cenizas volcánicas y su ocurrencia está en o cerca de las montañas que tiene actividad volcánica. Se presentan casi sin restricciones de drenaje. Tienen una baja densidad aparente, alta capacidad de intercambio catiónico y alto contenido de material piroclástico. Se encuentran bajo diversas formas de vegetación de acuerdo a la región climática.

Normalmente presentan un alto contenido de carbón orgánico, con excepción de los suelos de cenizas muy recientes. La característica principal de estos suelos es que debido a que pueden ser originados de diferentes aportes volcánicos, presentan muchas veces horizontes “enterrados” que corresponden a anteriores capas superficiales ricas en materia orgánica. Los grandes grupos se definen en función de los criterios de saturación de bases y retención de humedad.

- Distrandepts: Son los andepts que poseen una retención de humedad inferior al 100%, gran cantidad de carbón orgánico y un bajo contenido en bases. Los minerales normalmente han sido alterados, existiendo gran cantidad de vidrio volcánico dentro del primer metro de profundidad. Poseen un alto poder de fijación de fósforo, lo cual limita su uso. Son profundos y de color muy negro.

Se localizan en las partes altas de las montañas bajo condiciones climáticas húmedas y nubosas; presentan texturas medias: franco a

franco limoso, alto contenido de materia orgánica y potasio, pobres en nitrógeno y fósforo.

Cuando la temperatura es inferior a los 10° C se los denomina Criandepts. Se encuentran bajo cultivos de altura (cereales, papas y pastizales), así también bajo bosques y vegetación natural.

Los factores limitantes para su uso agropecuario son las fuertes pendientes, la baja fertilidad y bajas temperaturas.

- Vitrandepts: Son caracterizados por la presencia de grandes cantidades de materiales piroclásticos como vidrio, ceniza y pómez. Tiene texturas francas, franco arenoso y a veces gravillosos, la naturaleza de bases es variable de acuerdo a la naturaleza de la ceniza o la pómez y la precipitación. Son profundos de color pardo oscuro, con un bajo contenido de materia orgánica; ph ligeramente ácido y baja retención de humedad. Son aptos para los cultivos, especialmente bajo riego, teniendo como limitaciones su permeabilidad y baja fertilidad.
- Distropepts: Son los tropepts ácidos, parduscos o rojizos, formados a partir de rocas ácidas de diverso origen o bajo condiciones de altas precipitaciones. Estas precipitaciones pueden ser bien distribuidas o estacionales. Tienen muy baja saturación de bases, texturas finas y pesadas, y muy baja fertilidad. El uso de estos suelos es bastante restringido por sus limitantes de baja fertilidad y toxicidad alumínica.

#### Orden Mollisoles

Son suelos ricos en bases de cambio y muy comunes en las planicies. Han dado lugar a la formación de un horizonte superior de gran espesor, oscuro y con un gran contenido de materia orgánica. Tienen una consistencia y estructura favorables al desarrollo radicular. Es importante la

acción de los microorganismos y lombrices en este tipo de suelo. La mayoría de estos suelos son de color negro.

## DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA.

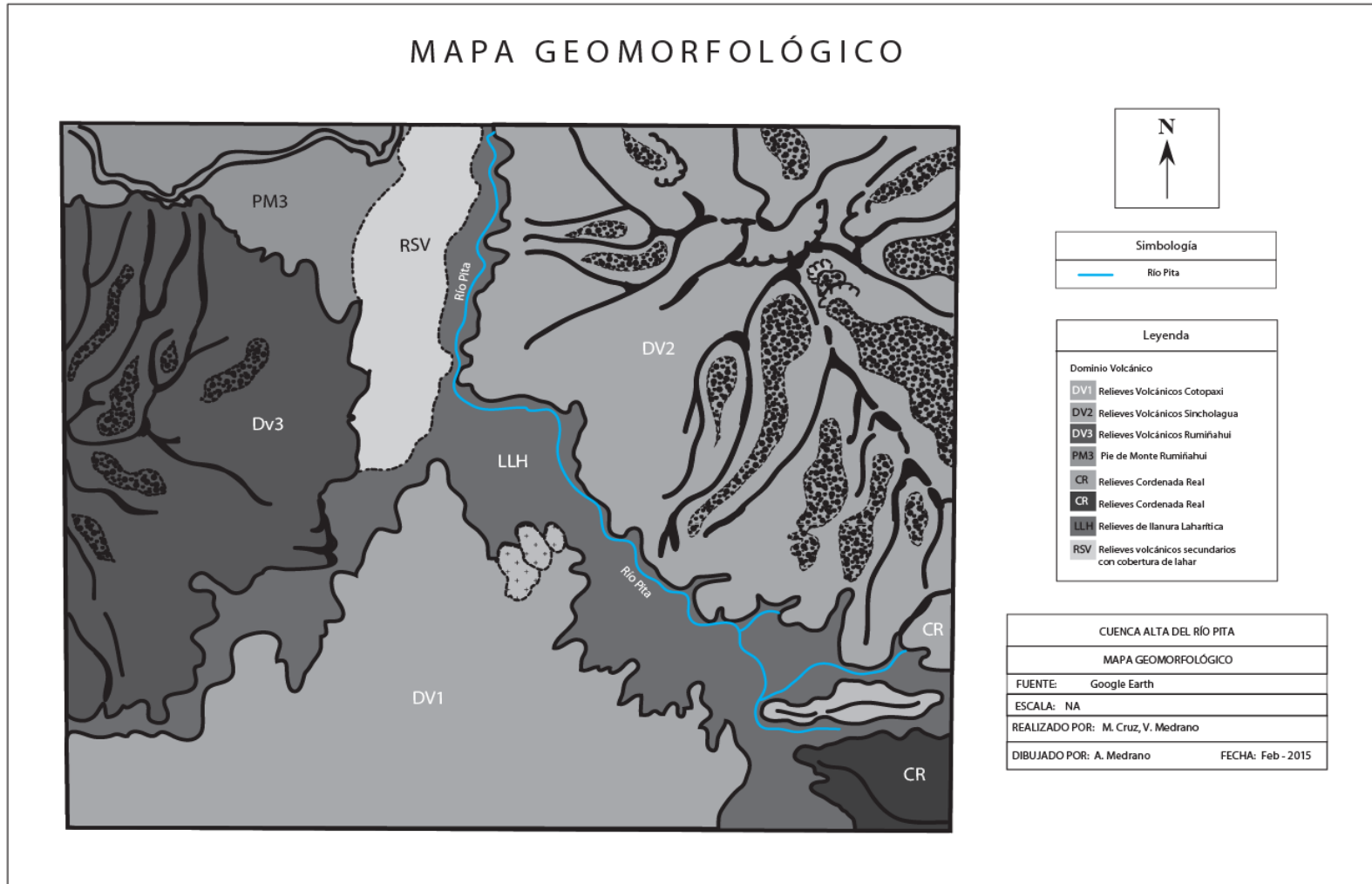
La zona de la cuenca alta del río Pita está enmarcada en lo que se puede denominar como “Dominios Volcánicos”, es decir, los paisajes volcánicos; hacia los lados del río Pita, este paisaje volcánico se manifiesta por la presencia al lado oeste de los volcanes Rumiñahui, al este por el Sincholagua y el más importante por sus propias características hacia el sur el Cotopaxi.

Desde el punto de vista geomorfológico, estos paisajes se pueden asociar y al mismo tiempo diferenciar entre ellos así:

- Éstos a su vez se constituyen en grandes reservorios de agua, los mismos que dan origen a fuentes de agua de los ríos, que de acuerdo, a su orientación y sentido se convierten en afluentes del río Pita.
- La característica anterior es más notoria en el sector del Sincholagua, debido a la influencia y presencia de humedad proveniente de la parte oriental de toda la cuenca amazónica.
- La dirección y sentido de los valles y circos glaciares tienden hacia la parte más baja cerca a la desembocadura con el río Pita, constituyendo lo que se conoce como morrenas.
- Las morrenas son zonas de depósito o de ablación glaciar antes de llegar al río, y se reconoce como “till glaciar” cuya conformación y consistencia es limo-arcillosa, lo que le da el carácter y condición de impermeabilidad.
- Mientras en el volcán Cotopaxi, que también dispone de acción glaciar, más por su actividad volcánica permanente, esa acción se encuentra oculta.

- Lo más notorio en este sector es el aporte de lahares, los mismos que sirven para rellenar las planicies del sector norte del Cotopaxi, generadas en las faldas del volcán, con incidencia en la cuenca alta del río Pita.
- Consecuentemente, la cuenca alta del río Pita, recibe la contribución fuerte de sedimentos provenientes del Cotopaxi, del Sincholagua y un poco menos del Rumiñahui; es importante mencionar que estos sedimentos están compuestos fundamentalmente de material arenoso de grano fino y medio, no siempre será de material que permite la suspensión de los mismos en agua, lo que determina que el cauce y cama del río sea rocoso y duro, con excepción de los eventos de fuertes lluvias o períodos invernales que de alguna forma alteran la presencia de sedimentos en la corriente del río Pita.
- Por ello en la cuenca alta del río Pita, esta última situación influye en la turbidez del agua, siendo ésta de un nivel bajo lo que hace que la misma sea clara, transparente y de visualización cristalina.

(Ver figura 7)



**Figura 7 Descripción Geomorfológica de la Cuenca Alta del río Pita**

**Fuente: Interpretación Imagen Google Earth, Cruz M. Modificado: Medrano V**

## USO DEL SUELO.

En la microcuenca del río Pita existen 15 tipos de cobertura vegetal predominado los pastos ya sean naturales o cultivados con 46% del área total, en menor porcentaje se tiene páramo de pajonal con 32% y áreas erosionadas-eriales-arenales con 10%. El resto de coberturas está en porcentajes inferiores al 5%. A continuación se detalla la cobertura vegetal del área y porcentajes respectivos (Verduga, L. et al, 2008). (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2011) Ver Tabla 5

**Tabla 5 Cobertura Vegetal de la microcuenca del Pita, área y porcentaje.**

ECOSISTEMA	Área (Km2)	Porcentaje
Agua	0,89	0,15
Asentamientos humanos	2,60	0,44
Bosque Siempre verde Montano Alto de los Andes Orientales	0,00	0,00
Bosque de pino	27,18	4,64
Bosque montano norte andino siempre verde	0,09	0,01
Cultivos	3,63	0,62
Derrames lávicos	8,68	1,48
Nieve - Hielo	3,60	0,61
Pastos	272,52	46,49
Páramo de pajonal	190,45	32,49
Páramo erosionado herbáceo	8,92	1,52
Páramo herbáceo de almohadillas	5,81	0,99
Súper Páramo	0,00	0,00
Súper Páramo azonal	1,89	0,32
Áreas erosionadas-eriales-arenales	59,99	10,23
<b>TOTAL</b>	<b>586,25</b>	<b>100,00</b>

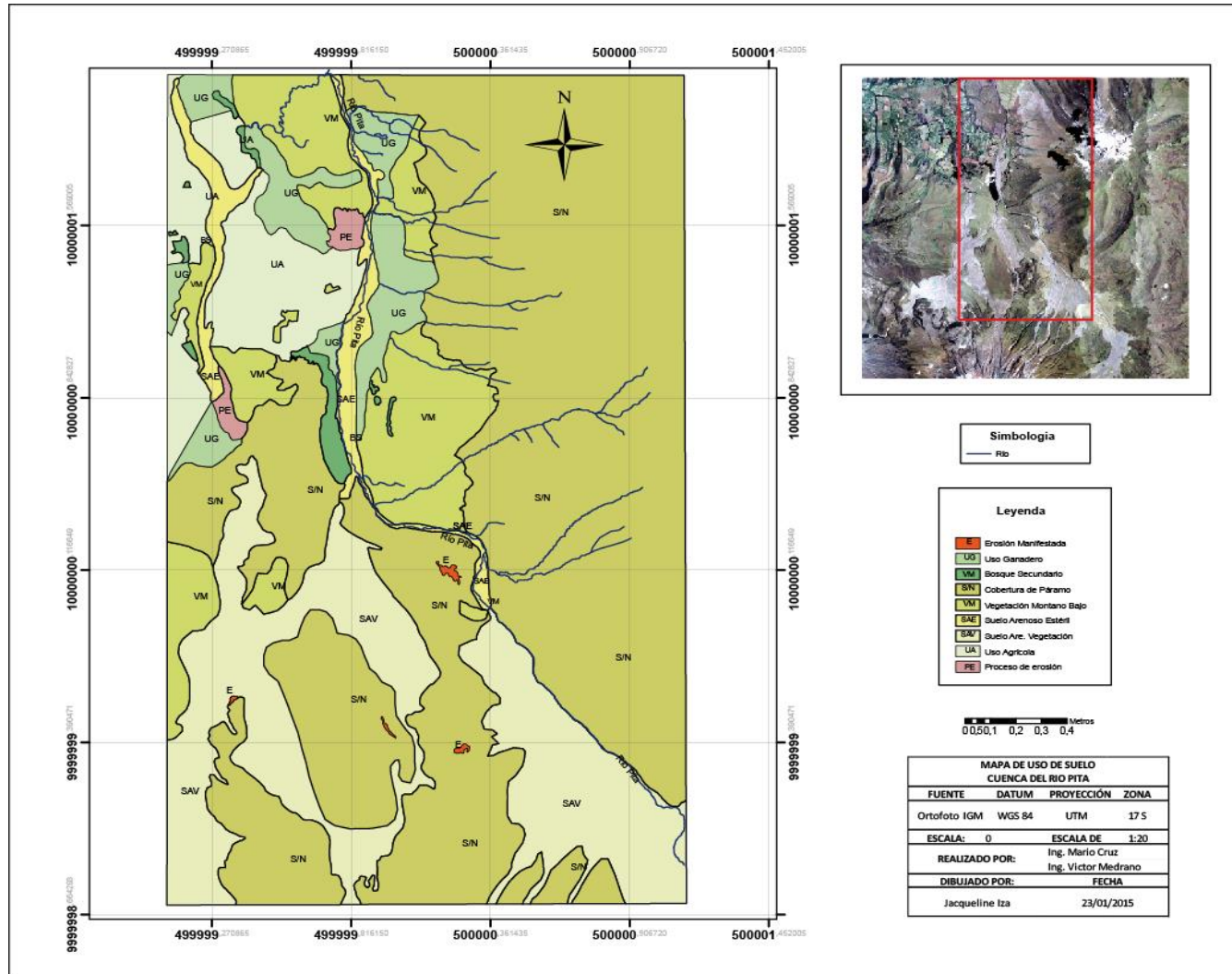
Fuente: Verduga, L. et al, 2008

Sin embargo, de manera particular para el lugar de estudio, lo expresado en numerales anteriores y en base a la labor de interpretación de la imagen tomada desde el satélite mediante la ortofoto del sector de estudio, a escala 1:5000, con detalle de pixel de 35 SDG cuyo detalle permite observar uso actual del suelo; de esta forma se puede deducir de la información expresada en la Fig. 8, cuya leyenda indica:

- Erosión manifestada
- Uso ganadero
- Bosque secundario
- Cobertura de páramo
- Vegetación montano baja
- Suelo arenoso estéril
- Suelo arenoso con vegetación
- Uso agrícola
- En proceso de erosión

El predominio en el sector es de cobertura de páramo, una presencia alternada de cobertura de suelo con vegetación montana baja, de igual forma áreas definidas de bosque de páramo; además se puede observar pequeñas áreas de uso ganadero como de uso agrícola. Esta última manifestación de uso de suelo se la observa con cierta frecuencia en la parte norte del recorrido del río. En general cualquier otra especie vegetal cuya presencia es manifiesta en los bordes del río, tienen relación con vegetación arbustiva y baja, típica de páramo. Ver Figura 8.





**Figura 8** Uso del suelo  
Fuente: Ortofoto IGM, Cruz M. y Medrano V

## 2.2.2 CARACTERIZACIÓN DE ASPECTOS BIOTICOS.

La vegetación en el sector de estudio es variada, se puede observar árboles nativos de la zona como “polilepis, pino, capulí” y otras especies como “chuquiragua, pumamaqui, mortiño, romerillo, quinua, chochos” entre otros.

Debido a los deshielos en Cotopaxi, se puede encontrar algunos ríos, lagunas y cascadas como la laguna de Salitre, laguna de Limpiopungo y el mismo río Pita.

Algunos animales mamíferos también se puede observar como lobos, cervicabra, pumas, venados, caballos salvajes, toros bravos, alpacas conejos, osos entre otros.

Los pájaros que viven en la zona son los imponentes Cóndores andinos, gígles, gavián de espalda roja, curiangué, águilas, torcaza, gaviota andina, perdiz de páramo, gallareta, pato punteado y quilico. Las aves más importantes son el gavián, halcón, pato, búho, lechuza, el caracara, el cóndor, el tucán andino y colibríes.

Quedan pocos bosques nativos tupidos ya que el resto han sido destruidos por incendios o talados para sembrar gramíneas. Existen paramos extensos con 'Stipa ichu', paja de páramo que es la gramínea predominante en la región. A medida que se asciende aparecen plantas representativas como chuquiragua, alchemila, colonias de plantas en forma de almohadillas, musgos, líquenes, romelios, quishuar o árbol de dios, y mortiño.

En el entorno de estudio existen cuatro pisos climáticos o zonas de vida: el bosque húmedo de montaña, el páramo pluvial sub-andino, tundra pluvial andina, y el piso nival, por la presencia de las elevaciones como el Sincholagua, Rumiñahui, Pasochoa y el Cotopaxi.

Si consideramos el segmento en estudio, éste se caracteriza por el bosque húmedo montano representa la parte más baja del Parque, entre los 3.400 y 3.900 m.s.n.m.; con temperaturas entre los 6° y 12° C y precipitaciones promedio de 1.000 a 2.000 mm por año. La característica principal es que sus árboles se encuentran deformados y son de poca altura, son bosques de muy difícil acceso y hay pocas muestras de esta zona dentro del área: ej. Cráter del volcán Rumiñahui y flancos occidentales del Cotopaxi; esto se debe a las actividades de pastoreo y quema anual, aunque en los últimos años estas acciones se han reducido considerablemente, ayudando un poco a la recuperación de este ecosistema. (Jácome, 2009)

En 1981 en una investigación se encontró como especies más abundantes *Stipa ichu* (paja de páramo) y musgo. En menor cantidad se encontraron especies como: *Halenia weddelliana* (Tarugacacho), *Gentiana sedifolia* (Lligllisisa-sachamor), *Bromus pubescens*, *Alchemilla orbiculata*, *Archirophorus quitensis*, *Pernetia* sp. *Chuquiragua jussieui* (Chuquirahua) y *Lycopodium* sp. En las parte más bajas de esta zona, se encuentran algunas especies de árboles entre las que sobresalen: *Oreopanax andreanus* (Pumamaqui), *Prunus serótina* Capulí) y *Gynoxys* sp. (Yanachilca-chilca negra).

A los alrededores del PNC existen grandes plantaciones de pino (*Pinus radiata*), especie nativa de California-Norteamérica, que fue introducida en 1976 y las cuales se las realizan con fines comerciales; estas plantaciones han creado “microhábitats” que en la mayoría han desplazado al páramo característico, y también han cambiado la dinámica de los ecosistemas, de manera que también en algunos casos han servido de refugio para algunas especies de animales como el venado de cola blanca y especies de aves pequeñas. (FONAG, 2011).

En cuanto se refiere al aspecto biótico en los ríos, la actividad acuática en el segmento de estudio, toma vital trascendencia en razón de investigar el estado de vida de sus especies, con especial atención a los

macro invertebrados que por sus características de período de vida, pueden ser considerados como indicadores de calidad del agua. Si bien es cierto no existen estudios específicos en este orden como tampoco en número, su análisis será desarrollado en el presente estudio.

### **2.2.3 CARACTERIZACIÓN DE ASPECTOS HUMANOS.**

De acuerdo con los Censos Nacionales de población y vivienda realizados, no se cuenta con la población puntual del sector, sino solamente se toma en cuenta datos de la cabecera parroquial y de toda la parroquia. La población aproximada es de 150 habitantes, muy dispersa y al mismo tiempo flotante si se considera el crecimiento de instalaciones turísticas relativamente cercanas al eje vial que es paralelo al río Pita.

Si se considera un crecimiento poblacional del 2% para el sector rural, que es muy bajo, entonces el ritmo de crecimiento en el sector de estudio, él es extraordinariamente bajo.

Se destaca el asentamiento indígena de San Rafael, quienes han sido autorizados a vivir en comuna dentro de una determinada área, que es la que se encuentra conformada por 16 familias y que a decir de ellos, han puesto límites a sus propiedades y la han calificado de propiedad privada, aspecto que no permitió continuar con el levantamiento de información. (Existe restricción de ingreso).

### **2.2.4 CARACTERIZACIÓN DE ASPECTOS CULTURALES Y DE PAISAJE.**

La mayor expresión de los aspectos mencionados en el sector de estudio constituye la inclusión de una parte del segmento del río Pita al interior del Parque Nacional Cotopaxi; este hecho le da ciertas características al sector ya que en cierta forma la naciente del río en su parte más alta (hacia el sur) goza de cierta prolijidad, cuidado y protección respecto de cualquier manifestación de contaminación excepto aquella que

podría caer en el concepto “contaminación natural”, es decir, por acciones provenientes de ciertos eventos de la naturaleza y en un mínimo por intervención del hombre, ya que no existen grandes industrias o una agricultura y ganadería extensiva que afecte la carga de los ríos.

Por otro lado, el área es apropiada para la pesca en el río, la misma que en la actualidad tiene una prohibición para la pesca, cuya especie característica de la zona es la trucha; por esta razón se ha venido a menos la pesca deportiva de trucha en piscinas construidas para ese efecto, lo que ha significado que a la presente fecha éstas se han cerrado.

Obviamente el paisaje creado por el volcán Cotopaxi en sí mismo, es espectacular y valorada tanto para la observación visual cuanto por las excursiones a la cima del volcán o los sitios preparados para el contacto con los sistemas ecológicos de páramo.

### **2.3 MÉTODOS E INSTRUMENTOS PARA CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA.**

“La polución de aguas es la presencia en el agua de contaminante en concentraciones y permanencia superiores o inferiores a las establecidas en la legislación vigente capaz de deteriorar la calidad del agua.” (Ministerio de Ambiente, 2015)

El concepto de contaminación del agua es poco preciso ya que nada nos dice acerca del material contaminante o de su fuente. La contaminación de los recursos hídricos puede ser consecuencia directa de la descarga de aguas negras e industriales, llamadas fuentes puntuales (point sources), o consecuencia indirecta de la contaminación del aire y suelo, llamadas fuentes no puntuales (non point sources).

Los sistemas acuáticos tienen medios efectivos de hacerle frente a estos problemas de contaminación, por medio de la dilución y la capacidad de auto purificación. (Henry & Heinke, 1999)

Las masas de agua también poseen organismos y microorganismos que metabolizan y reaccionan con las sustancias contaminantes, degradándolas y haciéndolas desaparecer, a este proceso se le denomina capacidad de auto purificación.

Las sustancias que son arrojadas a los ríos tienen en general dos condiciones, biodegradables y no biodegradables. Las primeras son las que son posibles descomponer por medio de los microorganismos y reacciones químicas, mientras que las segundas no; éstas son de mayor gravedad debido a que su acción devastadora perdura en el tiempo y se transmite por el transporte de agua e inclusive por la cadena trófica.

### **2.3.1 Parámetros de la Calidad de Agua**

La calidad del agua es un término relativo que depende del uso final que se le dé al recurso, por lo tanto el concepto de contaminación está referido, desde un punto de vista práctico, a los usos posteriores del agua, como por ejemplo:

- Producción de agua potable
- Consumo y usos domésticos
- Fines industriales
- Fines agrícolas
- Consumo de los animales
- Actividades recreativas
- Preservación de flora y fauna
- Transporte

Para establecer la calidad de las aguas superficiales, se debe medir los parámetros físicos - químicos y biológicos de la situación real y actual

de los ríos para compararlos con los parámetros estándar deseados, los cuales son establecidos en la legislación ambiental nacional vigente

Estos métodos son:

- **Métodos físico-químicos:** Se los lleva a cabo mediante toma de muestras y se basan en el estudio de las características físicas del agua con el análisis de sus componentes químicos. Estos métodos son puntuales ya que indican el estado del agua en el instante en que se obtuvo la muestra.
- **Métodos biológicos:** se basan en el estudio de macro invertebrados bentónicos y de plantas acuáticas, debido a que cada comunidad responde a las condiciones físico-químicas del medio en que vive. Cualquier alteración se refleja en la diversidad o abundancia de las comunidades.

De manera general se puede desglosar y describir rápidamente los mismos, de la siguiente manera:

### 2.3.1.1 Parámetros Físicos-químicos

Se ha mencionado los diferentes parámetros y métodos conforme lo descrito en Standard Methods, 20th Edition, (American Public Health Association, 1998), de manera resumida, así.

- **Olor:** Las aguas residuales poseen un olor característico producto de la degradación de la materia orgánica presente.
- **Color:** Algunos productos de desecho alteran considerablemente el color de las aguas, ocasionando la contaminación estética y dificultando los procesos de fotosíntesis e intercambio de oxígeno.
- **Materiales en suspensión:** Es la cantidad de sólidos en un fluido y expresados en porcentaje Se refieren al material remanente luego de la

evaporación, secado, filtración y sedimentación. Estos materiales según su densidad y las características del medio receptor con depositados en distintas zonas de este.

- **Turbidez:** se origina por materias en suspensión finamente divididas ocasiona la dificultad del agua para transmitir la luz principalmente en aguas superficiales.

- **Temperatura:** Es un parámetro básico para los seres vivos. Influye en la solubilidad de las sales, gases, PH y en la conductividad eléctrica. Existe una estrecha relación entre la densidad del agua y su temperatura.

- **pH:** Mide la concentración de iones hidrógeno en el agua. El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica.

- **Conductividad:** Varía en función de la temperatura es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, está estrechamente ligada a la concentración de sustancias disueltas y a su naturaleza. Es indicativa de la presencia de iones.

- **Demanda biológica de oxígeno:** Se define como la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente en el agua mediante la acción de bacterias en condiciones aerobias; es causada por la respiración de bacterias y cesará al agotarse totalmente la materia orgánica.

La medición de este parámetro se propuso como un método indirecto para medir la materia orgánica, hoy en día se efectúa en 5 días y a 20°C y se denota con el símbolo de DBO<sub>5</sub>. Pero también puede realizarse



a diferentes tiempos, siendo la DBO<sub>∞</sub> (DBO última), que es la medida hasta el agotamiento de toda la materia orgánica.

El ensayo de este parámetro es de tipo biológico, para ello se debe simular las condiciones en que la demanda ocurre en los medios naturales, con presencia de oxígeno, nutrientes y a una temperatura adecuada.

Es el parámetro más usado para determinar la contaminación orgánica tanto en aguas residuales como en aguas superficiales. Se aplica principalmente en el control de tratamiento primario en las estaciones depuradoras.

- **Demanda química de oxígeno:** La DQO es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, oxidables en unas condiciones determinadas. Es la medida del material oxidable, cualquiera sea su origen, biodegradable y no biodegradable. Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica.

### 2.3.1.2 Parámetros Biológicos

La evaluación de la calidad del agua por parámetros biológicos es otra alternativa que poco a poco va siendo más utilizada a nivel mundial. Se trata del uso de organismos indicadores o bioindicadores de la calidad ambiental. La meta de la evaluación biológica es detectar y comprender los cambios en los sistemas biológicos que resultan de las actividades antropogénicas.

El uso de bioindicadores es cada vez más aplicado en los estudios de contaminación de aguas superficiales ya que ofrece numerosas ventajas siendo una evaluación en primer lugar más económica ya que consiste en

estudiar una comunidad biológica, debido a que en su estructura se encontrará el efecto de muchos factores ambientales no solamente del momento sino de factores ambientales que sucedieron varios meses atrás, ya que una comunidad biológica necesita de un tiempo prolongado para recuperarse tras sufrir una perturbación.

Otra ventaja es que las comunidades biológicas se pueden encontrar en todos los sistemas acuáticos, lo cual permite realizar también estudios comparativos. Tienen una naturaleza sedentaria lo que permite un efectivo análisis espacial de los efectos de las perturbaciones. También los muestreos y análisis de las muestras se los puede realizar con equipos simples y de bajo costo.

Lo dicho en líneas anteriores no es sino para explicar la expresión americana “River Continuum Concept”, que gráficamente se observa en la Figura 7, y cuya interpretación del Concepto de Continuidad del Río, es la variación longitudinal en las características de los ecosistemas fluviales, y trata a la red de ríos como series continuas integradas de ajustes físicos y gradientes de recursos junto con el cual los procesos de la biota y ecosistemas están ajustados, usando un sistema de ríos hipotéticos en una cuenca de bosques de clima templado, como un ejemplo.

En otras palabras, cada especie de insectos acuáticos ocupa un determinado nicho “cierto lugar” en la corriente.

Las redes fluviales son vistas como sistemas vinculados longitudinalmente en la cual en los ensamblajes son ordenados, y los procesos a nivel de ecosistemas cuando alcancen las partes bajas de las cuencas son vinculadas a aquellas en las partes más altas de la red. (Statzner & Higler, 1985) Ver Figura 9

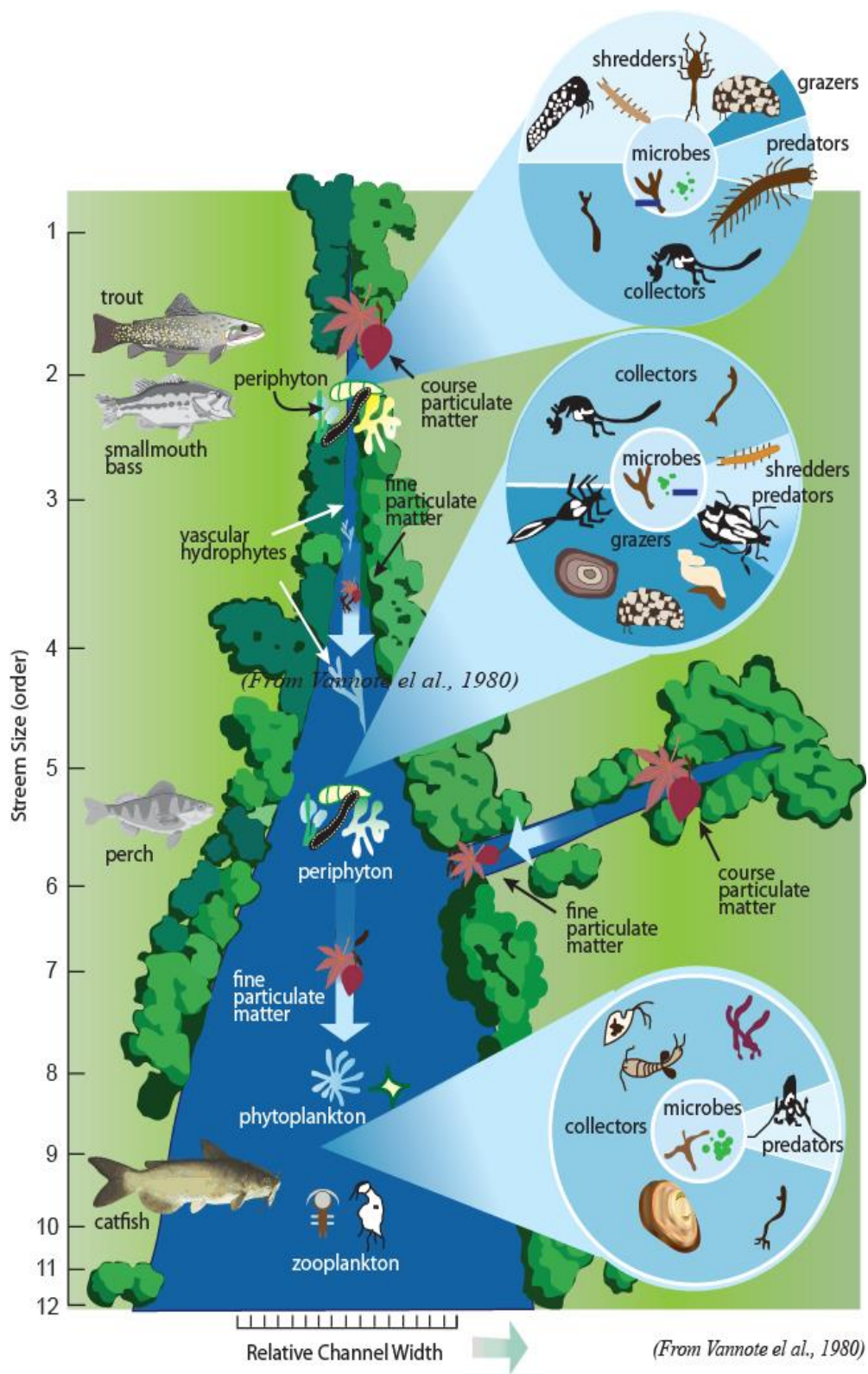


Figura 9 El River Continuum Concept

Fuente: Vannote et al, 1980

Existen varios grupos de bioindicadores utilizados para realizar monitoreo de calidad de aguas, sin embargo los macro invertebrados acuáticos han sido siempre los más recomendados. (Vannote)

También son conocidos como macro invertebrados bentónicos ya que habitan en el lecho fluvial, entre piedras, plantas acuáticas, etc.; ya sea durante toda su vida o una parte de ella. Alcanzan un tamaño superior a 0.2mm lo cual los hace visibles a la simple vista.

Además se caracterizan por una alta diversidad taxonómica que junto con su escasa capacidad de desplazamiento y el ciclo relativamente largo de vida, un año, de algunas especies permite realizar un análisis multitemporal de las perturbaciones ecológicas.

La combinación de las evaluaciones físico – químicas que son la base para realizar los modelos de calidad de aguas junto con las evaluaciones biológicas nos darán datos muy representativos del grado de contaminación de las aguas superficiales.

Los resultados obtenidos del modelo y de las evaluaciones nos brindarán como resultado un estudio completo y preciso de la situación del río, es por ello que ambas técnicas deben ser aplicadas ya que se complementan una a la otra.

#### **2.4 PROCESO DE ANÁLISIS Y RECONOCIMIENTO DE MACROINVERTEBRADOS.**

Se debe conocer que existen entre 40 y 80 millones de especies en el mundo como también se debe hacer conciencia de la pérdida diaria de 100 especies que se extinguen; en 30 – 40 años desaparecerán un millón de especies. (Taylor & Francis, 2011)

Bajo el tema de macro fauna fluvial y con el empleo de técnicas de muestreo, preservación y estudio, se puede clasificar para la investigación de vida en los ríos, así:

- Macrofauna: Invertebrados que son retenidos en tamices de 0,5 mm de apertura de malla.
- Epifauna: organismos que habitan sobre sustratos blandos o duros.
- Endofauna: organismos que habitan enterrados en el sedimento.
- Criptofauna: aquellos que habitan en lugares escondidos.

Los macroinvertebrados (invertebrados bentónicos) se dice que son un buen referente para establecerlos como bioindicadores, por ello se detallan a continuación algunos elementos que los caracteriza:

- Constituyen la mayoría de las especies en los arroyos
- Presentan amplia gama de sensibilidad para la contaminación
- Son fáciles de muestrear
- Poca capacidad de desplazamiento de muchas especies
- Evidencian el retorno de la calidad del agua luego de una contaminación.

La explicación anterior nos lleva a analizar cuáles son los principales hábitats de los macroinvertebrados, el conocimiento de esta particularidad nos guiará con facilidad para el mejor desempeño en la selección de los sitios de muestreo:

Bancos de guijarro, esto es, sustratos duros.

Troncos y restos de vegetación (debris).

Bancos de vegetación sumergida.

Bancos de fondos blandos.

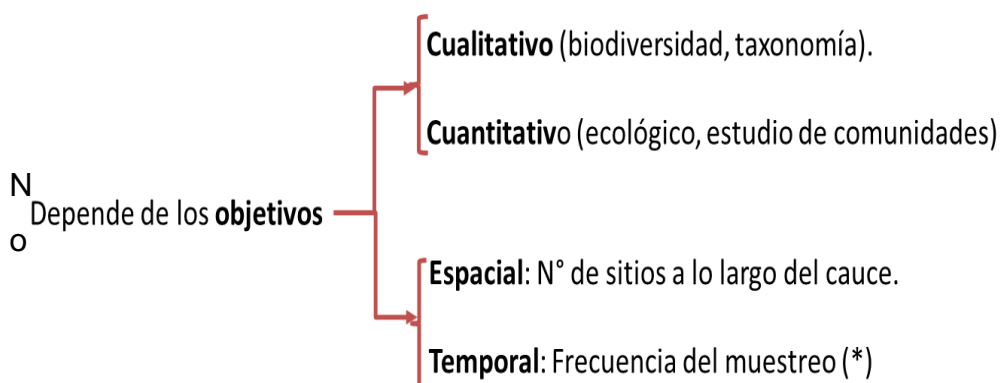
En la actualidad hay una gran cantidad de índices biológicos de calidad de aguas para sistemas pluviales entre los cuales se puede mencionar los siguientes grupos:

- Índices Saprobícos: Reflejan los efectos de la contaminación por materia orgánica y su grado de descomposición sobre los organismos.
- Índices de diversidad: Se basan en las variaciones de las comunidades de organismo, es decir que a mayor biodiversidad mejor calidad de agua.
- Índices bióticos: Actualmente los más usados ya que se basan en la clasificación de los organismos por su tolerancia a la contaminación, se les asigna un número cuyo rango varía según el índice utilizado.

### TIPOS DE MUESTREO PARA MACROINVERTEBRADOS.

En primer lugar, al interior de la fase de planificación de todo proyecto, se deben plantear objetivos del estudio, por lo que basado en esta premisa se tiene la siguiente clasificación: Ver Cuadro 1

#### Cuadro 1 Tipos de muestreo para macroinvertebrados.

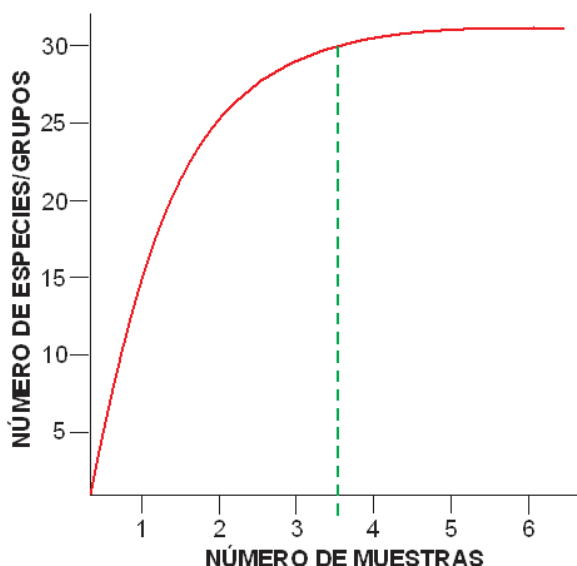


Fuente: Liniero Arana, 2014

Normalmente se deben tener en consideración ciertas recomendaciones muy generales que van a ser útiles en cualquier circunstancia, como: fijar las estaciones, factibilidad para la toma de las muestras, operatividad de los instrumentos o máquinas a utilizar, accesibilidad a los sitios, número de réplicas que se debe hacer, y fundamentalmente el costo del muestreo.

Un tema nuevo que se debe comentar es el de número de réplicas, es decir, de las veces que se debe tomar una muestra y ello está en función de la representación en un gráfico denominado Curva de Especies por Área, siendo indispensable siempre tomar en cuenta que debe ser la misma área y tiempo en el que se debe realizar la réplica. Ver Cuadro 2

**Cuadro 2 Curva de Especies/Área**



Fuente: Liniero Arana, 2014

Una ligera lectura de lo que el gráfico de Curva de especie nos determina que se deben tomar 4 muestras en cada sitio, en función de tener 30 como número de especie / grupo.

## RIQUEZA DE TAXONES

Es el número de diferentes grupos taxonómicos en una muestra. Esto refleja la salud de la comunidad a través de una medición de la diversidad de los taxones presentes.

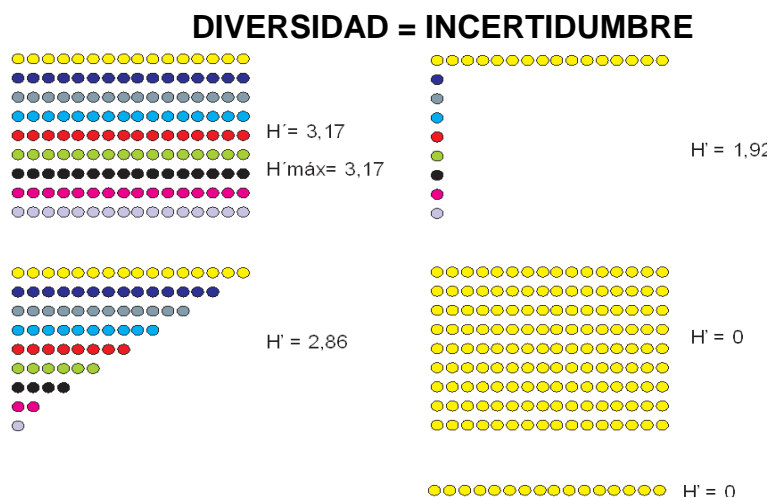
En general, se incrementa con la mejoría de la calidad del agua y de la diversidad / idoneidad del hábitat. Sugiere que el hábitat es adecuado y los alimentos abundantes. La diversidad de taxones es más importante que el número total de los organismos.

Puede encontrarse un elevado número de organismos en aguas contaminadas orgánicamente pero la diversidad de taxones será reducida.

## INDICES DE DIVERSIDAD

Denotan un grado de incertidumbre. Así:

- Incertidumbre máxima: todos los taxones con el mismo número de individuos:  $\log S$ .
- Incertidumbre mínima: todos los individuos pertenecen a un solo taxón. (ver figura 10)



**Figura 10 Diversidad de Taxones**  
Fuente: Chess, 2014



## INDICES DE DIVERSIDAD

Para poder analizar y comprender el alcance de la diversidad y de la incertidumbre, para su aplicación se requiere aplicar los llamados Índices de Diversidad, en base a los parámetros básicos: población “infinita”, tamaño de la muestra siempre debe ser la misma, volumen del segmento en río, tipo de red, tiempo, etc.

Con el mismo criterio del objetivo a alcanzar, se tienen varios Índices de Diversidad, que, se mencionan a continuación:

### Índice de Simpson (D)

Su valor se incrementa con la abundancia y con la equitatividad en la distribución de los individuos entre las especies.

#### Fórmula 1 Índice de Simpson.

$$H' = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i \qquad p_i = \frac{n_i}{n}$$

$n_i$ : N° de individuos de cada grupo o especie

$n$ : N° total de individuos

### Índice de Shannon – Wiener (H')

Otorga relativamente poco valor a las especies raras y más peso a las especies comunes.

#### Fórmula 2 Índice de Shannon-Wiener.

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s (p_i)^2$$

Su valor está comprendido entre 0 y 1-1/s

### **Índice de Hilsenhoff o Índice Biótico de Familias (Family Biotic Index FBI)**

Es una medida de la tolerancia de una comunidad de macroinvertebrados al enriquecimiento orgánico. Propuesto como Índice Biótico por HILSENHOFF en 1982 para asignar niveles de tolerancia de especies de artrópodos.

Modificado para asignar niveles de tolerancia de familias, incluyendo otros invertebrados, para su uso de la U.S. EPA Rapid Bioassessment Protocol II. (EPA, 1999)

#### **Fórmula 3 Índice de Hilsenhoff o FBI.**

$$\text{Family Biotic Index (FBI)} = [ \sum (x_i \cdot n_i) ] / n$$

A cada familia se le asigna un valor de tolerancia a la contaminación entre 0 y 10 (0 señala la menor tolerancia) y se le designa como  $x_i$ . Estos valores se multiplican por el número de individuos para cada taxón ( $n_i$ ), y la suma es dividida entre el número total de individuos recolectados:

El valor de tolerancia a la contaminación de cada familia es proporcionado en una tabla por HILSENHOFF (1988).

#### **Índice EPT**

El índice EPT se centra en tres órdenes de insectos acuáticos que son fácilmente identificables: Ephemeroptera (mayflies), Plecoptera (stoneflies) y Trichoptera (caddisflies) y es comúnmente usado como un indicador de calidad del agua.

Este índice se basa en la premisa de que una elevada calidad del agua presenta mayor riqueza de especies de estos órdenes.

El valor del índice es la suma de los individuos de los tres órdenes dividido entre el número total de individuos recolectados:

#### **Fórmula 4 Índice EPT.**

$$EPT = \sum \frac{No. total especies EPT}{No. total organismos} * 100$$

#### **Índice EPT / C**

Relaciona la abundancia de organismos EPT con la abundancia de Chironomidae, que son menos sensibles al estrés ambiental.

Refleja el balance ambiental; una comunidad se considera en buenas condiciones cuando existe un equilibrio entre estos cuatro grupos de organismos; mientras que comunidades con valores desproporcionadamente elevados de Chironomidae pueden reflejar estrés ambiental.

#### **Índice ETO**

Representa la abundancia de las familias de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Odonata, considerados ser sensibles a la contaminación. Permite la comparación entre muestras en un estudio.

#### **Índice EPT / D**

Relaciona la abundancia de organismos EPT con la abundancia de Diptera (organismos tolerantes a la contaminación).

#### **Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party Score System)**

Sólo requiere llegar hasta nivel de familia. Valor: 1 - 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica (Ej. Tubificidae, reciben una puntuación de 1). La suma de todos los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total BMWP.

Puntaje promedio por taxón (ASPT, Average Score per Taxon), es el puntaje total para la evaluación del sitio. Valor ASPT: 0 – 10. Un valor bajo de ASPT asociado a un puntaje bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación.

La contaminación por materia orgánica en las aguas superficiales tiene efectos directos sobre las comunidades biológicas, por tal motivo la comunidad de macro invertebrados ha sido estudiada desde el punto de vista científico.

La mayor parte de invertebrados acuáticos son altamente sensibles a la reducción de oxígeno provocada por la contaminación de materia orgánica en el agua, por lo cual existe una considerable reducción en su abundancia o incluso llegan a desaparecer. Sin embargo existe otro grupo que toleran bien las bajas concentraciones de oxígeno disuelto como por ejemplo las larvas de dípteros de la familia Chironomidae, de tal forma que una gran abundancia de estos macro invertebrados son indicadores del tipo y grado de contaminación presente en el río.

### **Estudio de macroinvertebrados en el Ecuador**

Lastimosamente los estudios de macroinvertebrados bentónicos en el Ecuador son todavía escasos, lo mismo se puede decir del resto de los países andinos. Debido a este motivo la taxonomía aún está incompleta. Estudios anteriores, principalmente los realizados por Jacobsen y Encalada han demostrado que los macroinvertebrados aumentan su densidad en épocas secas donde la corriente de los ríos disminuye. De igual forma se ha logrado determinar que en los ríos de las zonas bajas andinas que poseen bosque en su ribera existe un aumento considerable en la riqueza de especies de macroinvertebrados. (Carrera, 2011)

Todos los estudios previos también han demostrado que existe una gran relación de riqueza de especies con la altitud, esta relación se basa en que a mayor altitud menor riqueza de especies y viceversa. Entre estos estudios se encuentran los realizados por Jacobsen, Monaghan, Carrera y Gunkel.

En el Ecuador aún no se ha establecido las herramientas ni metodologías de evaluación para las diferentes zonas. Primero se debe

conocer el estado ecológico de la cuenca así como sus variaciones naturales en sitios de referencia lo que permitirá desarrollar el tipo de herramientas adecuadas y así adaptarlas a cada tipo de sistema.

## **2.5 PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TMDL, SEGÚN LA EPA.**

En la forma en que se usa el agua de lagos, ríos, estanques y corrientes influye mucho en su calidad.

Las fuentes de agua potable requieren agua de una calidad especialmente alta.

Los administradores de la calidad de agua controlan la contaminación que origina la actividad humana en tal forma que se asegure que el líquido sea adecuado para los usos a los cuales se destina. También implica conocer cuánto desecho es demasiado para determinado cuerpo de agua. El término técnico es **asimilarse**.

Los administradores deben conocer las clases de contaminantes que se descargan en él y cómo afectan la calidad del agua.

Deben conocer también cómo le afectan los factores naturales: contenido mineral de la cuenca, la configuración del terreno y el clima de la región.

En 1972, el Congreso de EE.UU. promulgó las Federal Water Pollution Control Act Amendments, que establecían que “restaurar y mantener la integridad química, física y biológica de las aguas de la nación” era prioritario para ese país. Además de tratar de que el agua fuera segura para beber, el Congreso también estableció como meta asegurar una “calidad del agua que permita la protección y propagación de peces, crustáceos y especies silvestres, y que permita el recreo dentro y sobre el agua”. (Mackenzie & Masten, 2005)

El primer objetivo es minimizar la formación de contaminantes eligiendo sustancias que no perjudiquen el ambiente, así como reciclar las sustancias en el lugar y con otros métodos adecuados para el proceso o industria específicos que se consideren.

### **CONTAMINANTES DEL AGUA Y SUS FUENTES.**

Sin embargo de que se viene estudiando con frecuencia y asiduamente los posibles elementos o materias que lleguen a contaminar el agua, el tema de la identificación, definición y origen de estos contaminantes es muy grande; por ello se ha tratado de clasificar en amplias categorías, así:

- Fuentes puntuales.
- Fuentes no puntuales.
- Material que demanda oxígeno
- Nutrientes
- Microorganismos patógenos
- Sólidos suspendidos
- Sales
- Metales tóxicos y compuestos orgánicos tóxicos
- Sustancias que trastornan el sistema endócrino
- Arsénico
- Calor

### **ADMINISTRACION DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS RIOS**

El objetivo de la administración de la calidad del agua es controlar la descarga de contaminantes, de tal modo que no se degrade hasta llegar a un grado inaceptable, inferior al natural del ambiente.

El control de las descargas de agua debe ser una tarea orientada a la parte cuantitativa, es decir, se deben medir los contaminantes, predecir su efecto sobre la calidad del agua, determinar la calidad del medio natural del

agua que habría sin la intervención humana y decidir las concentraciones aceptables para los usos deseados del agua.

Ésta sin duda debe ser la gran necesidad a resolver por parte de las autoridades ambientales, a fin de que se pueda determinar de manera técnica (equipamiento, personal calificado, metodología y estándares) las cargas puntuales y no puntuales de los ríos fluviales pertenecientes a las diferentes cuencas hidrográficas de nuestro país, tal como se prescribe en lista 303(d) de los Estados de USA. (EPA, 2008)

Entonces, el efecto de la contaminación depende tanto de la naturaleza del contaminante como de las características particulares del río. Respecto de las últimas podemos indicar que son variables como:

Volumen y velocidad del agua que fluye

La profundidad del río

El tipo de fondo; y,

La vegetación circundante.

Entre otros factores están:

El clima de la región

El contenido de minerales de la cuenca

Las clases de vida acuática en el río.

Se debe tener en cuenta que algunos ríos son sensibles a contaminantes como el sedimento, sal y calor, mientras que otros pueden tolerar grandes cantidades de ellos sin afectarse mucho.

Algunos contaminantes, en especial los desechos que demandan oxígeno y nutrientes, son tan comunes y tienen un efecto tan profundo sobre casi todos los tipos de ríos que merecen especial énfasis.

Enfocando el tema nuevamente en el contexto de la EPA un TMDL se desarrolla como una forma de documento técnico o plan. Recordando su significado como el cálculo de la cantidad máxima de contaminante que un cuerpo de agua puede recibir y todavía cumplir con los estándares de calidad del agua, y una asignación de esa cantidad a las fuentes de los contaminantes.

El modelo diseñado para su cálculo corresponde al ordenamiento de las siguientes variables:

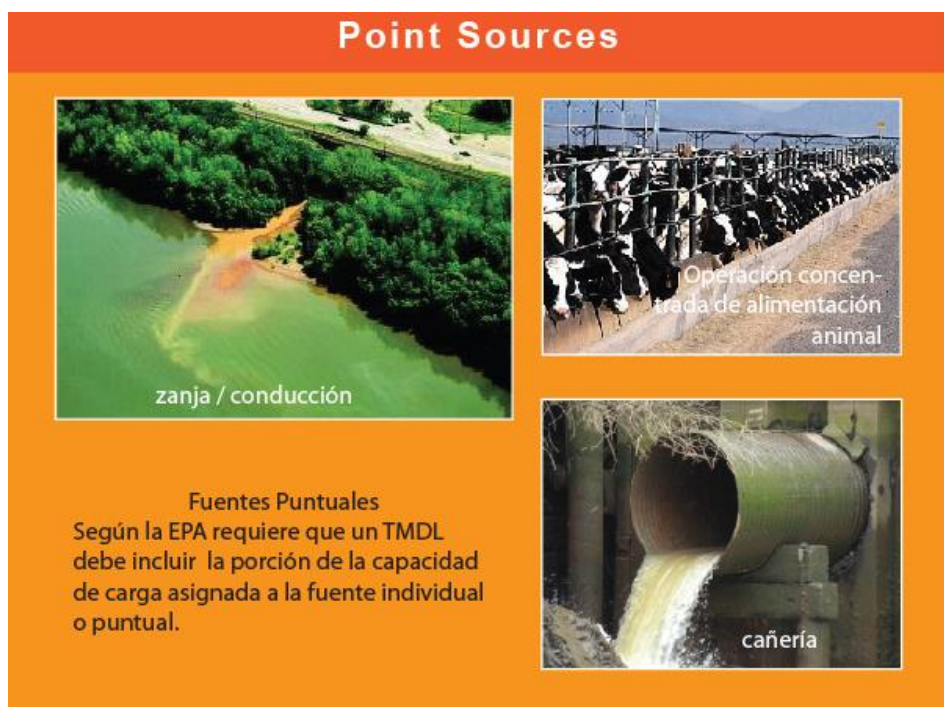
#### **Fórmula 5 Cálculo del TMDL.**

$$\text{TMDL} = \Sigma \text{WLA}_i + \Sigma \text{LA}_i + \text{MOS}$$

Cada uno de los miembros de este modelo se encuentra descrito y apoyado por la información contenida en las gráficas siguientes:

**$\Sigma \text{WLA}_i$** : Suma de asignaciones de carga de residuos (fuentes fijas)

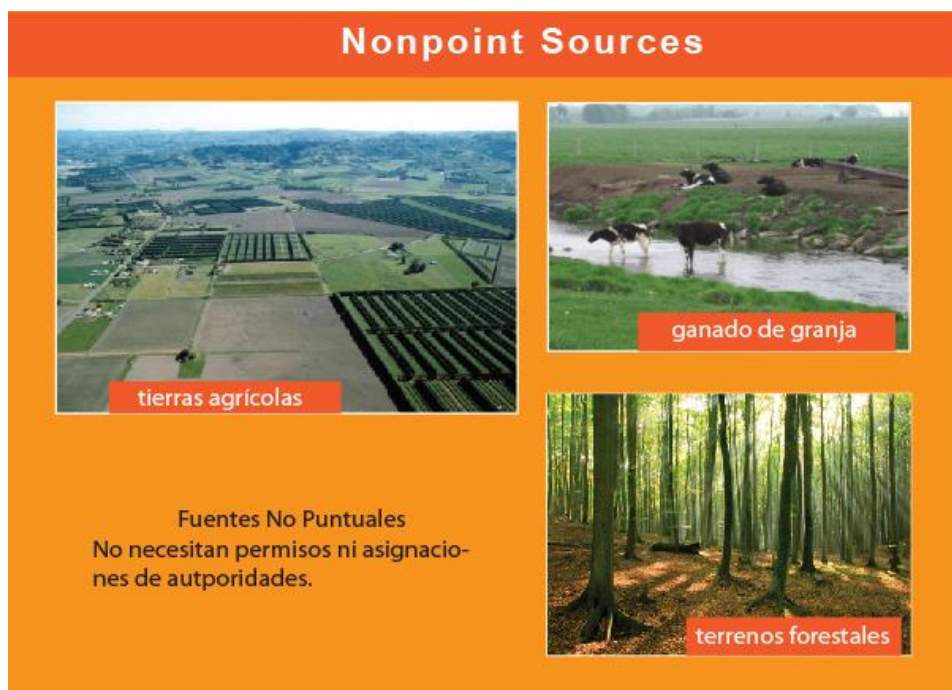




**Figura 11 Fuentes puntuales**

**Fuente: Handbook, EPA. 2008 Modificado: Medrano, V.**

$\Sigma LA_i$ : Suma de asignaciones de carga de fuentes no puntuales



**Figura 12 Fuentes no puntuales**

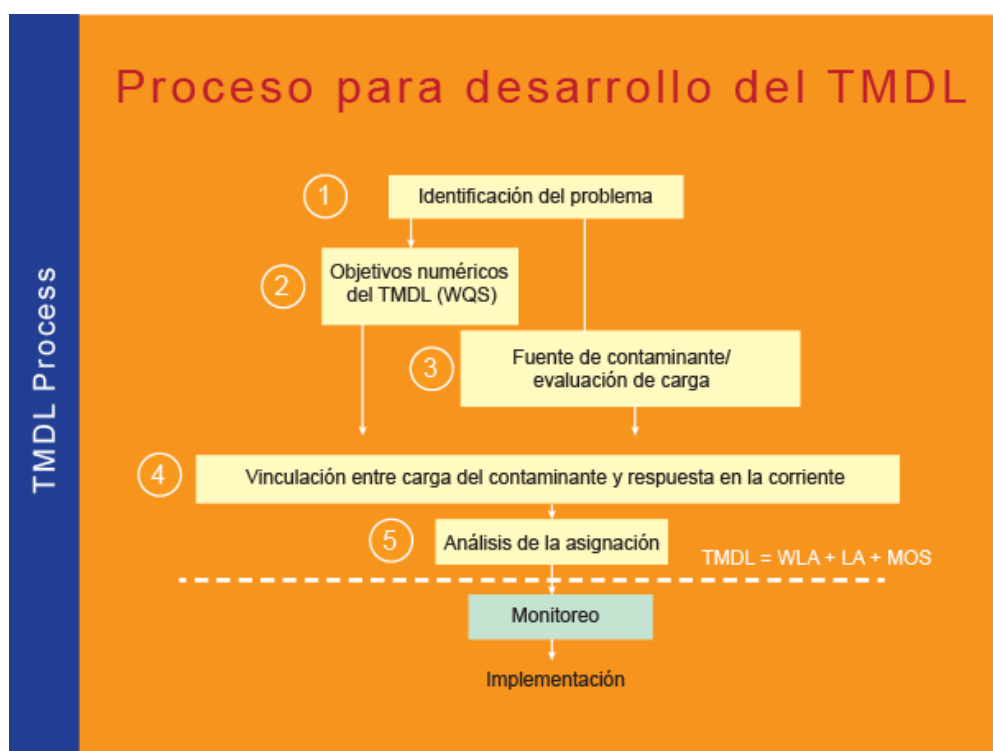
**Fuente: Handbook, EPA. 2008 Modificado: Medrano, V.**

**MOS:** Margen de seguridad.

Variable sujeta a la condición y circunstancia del problema que se enfrente y de los técnicos que intervengan.

Es muy importante tener en cuenta que este arreglo matemático debe ser “completado para cada combinación cuerpo de agua / contaminantes”.

Para desarrollar el modelo de calidad de agua basado en los requerimientos determinados por la EPA, se debe sujetar a un proceso; el mismo que se puede observar en el siguiente diagrama o figura: (Ver Figura 13)



**Figura 13 Proceso para el desarrollo del TMDL**

**Fuente:** Handbook, EPA. 2008 Modificado: Medrano, V.

La relación del gráfico anterior se desarrolla de la siguiente manera:

- 1 Identificación del Problema
- 2 Objetivos Numéricos de TMDL (WQS)
- 3 Fuente Contaminante/Evaluación de la Carga
- 4 Enlace entre Carga de contaminante y respuesta en el río (corriente)
- 5 Análisis de distribución o asignación.
- 6 Monitoreo
- 7 Implementación

Los numerales 2 y 3 tienen una acción directa y simultánea para que el numeral 4 tenga efecto, para influir en el paso 5 que determina la distribución de las cargas, que es el punto fuerte del modelo para la determinación de la carga total diaria. A continuación se hará una rápida reseña de cada uno de los pasos indicados.

#### PASO 1: IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

- Identificar el cuerpo de agua – como él asoma en la lista 303(d), 40 C.F.R. del Estado.
  - El cuerpo de agua debería ser identificado y georreferenciado usando el National Hydrography Dataset (NHD)
- Identificar el contaminante por el cual el TMDL está siendo (determinado).
  - Recuerde el TMDL es hecho para una combinación de contaminantes en el cuerpo de agua.

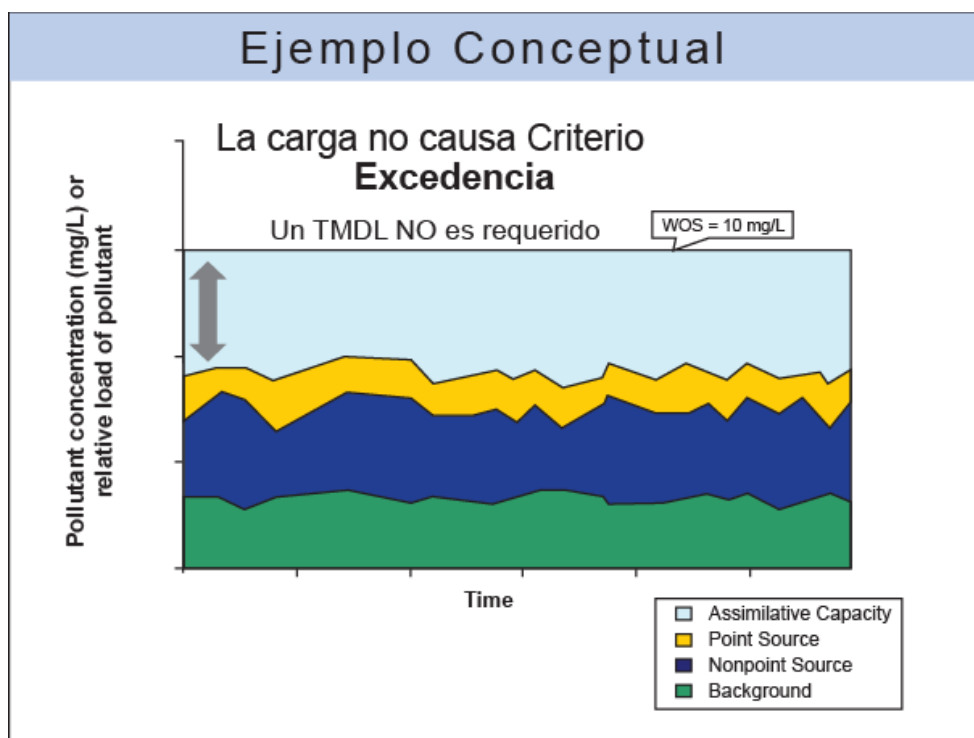
#### PASO 2: PONGA OBJETIVOS PARA EL TMDL

- Identifique un objetivo(s) numérico(s) de calidad de agua – un valor cuantitativo usado para medir si o no se alcanza el estándar de calidad de agua aplicable.
  - Si el segmento fue catalogado usando un narrativo (descriptivo) WQC, entonces seleccione un indicador cuantitativo como objetivo sustituto.

- El TMDL expresa la relación entre cualquier reducción necesaria del contaminante de interés y alcanzar el objetivo numérico de calidad de agua. Conocido como “capacidad de carga”.

### PASO 3: FUENTE CONTAMINANTE/EVALUACION DE CARGA

- Identifique el punto fuente y otras fuentes del contaminante que interesa, incluyendo la ubicación o localización de la(s) fuente(s) y la cantidad de carga.
  - Provea los números de identificación de los permisos de NPDES relacionados con el cuerpo de agua.
- Donde sea posible separar el ambiente (background) natural de las denominadas otras fuentes, el TMDL debería incluir una descripción del fondo natural. (ver figura 14)



**Figura 14 Ejemplo conceptual**

**Fuente: Handbook, EPA. 2008 Modificado: Medrano, V.**

#### PASO 4: ENLACE ENTRE CARGA CONTAMINANTE Y RESPUESTA EN EL FLUJO (RIO, CORRIENTE).

- Seleccione una aproximación analítica o modelo basado en:
  - Naturaleza y complejidad del agua receptora
  - Naturaleza del contaminante – consideraciones temporales y espaciales
  - Fuentes de los contaminantes
  - Expresión de la WQC (Criterio de Calidad del agua)
  - Cantidad y Calidad de datos e información
  - Presupuesto y recursos disponibles

Pasos para calcular el TMDL usando las herramientas para la modelación:

1. Calibre y verifique el modelo seleccionado
  - Puede requerir una colección adicional de la columna de agua del ambiente y datos de carga
2. Evalúe los escenarios de reducción de contaminante
  - Comience con la reducción de las fuentes puntuales (regulados)
  - Evalúe reducción potencial de otras fuentes
3. Defina la Carga Máxima Diaria que reúne los criterios de WQS
  - Cuenta para la variación estacional y condiciones críticas

#### PASO 5: ASIGNAR LAS CARGAS

Consideraciones cuando haga decisiones de asignación:

- Fuente del contaminante (punto fuente o escorrentía –runoff)
- Controlabilidad del contaminante (ej. atmosférica)
- Autoridad regulatoria para controlar el contaminante
- Costo de cada una de las opciones de asignación
- Certeza del impacto de calidad del agua en las aguas receptoras
- Seguro razonable que las asignaciones puedan ser alcanzadas.
- Objetivos de los clientes o comprometidos

De esta forma la realización de un TMDL requiere de la ejecución de una serie de actividades, de tiempo en la implementación, de la obtención de

datos temporales, de normativas especiales para regular el control de las corrientes fluviales, de establecimiento de estándares de regulación para imponer las cargas de contaminantes y finalmente de presupuesto económico, siendo en este caso preocupación no solo del estado o gobierno de turno sino de la sociedad y de quienes en cierta forma provienen las fuentes de contaminación, las empresas, industrias y otros.

Para poder expresar los resultados de tan elaborado plan o documento que sustenten los TMDLs se deben definir unidades de contabilización y cálculo; es por eso que los TMDLs se expresan en:

- Masa (ej., libras por día)
- Toxicidad (ej., unidades tóxicas)
- Energía (ej., calor en temperatura TMDLs)

\* Énfasis sobre TMDLs expresados como carga diaria. (Ver figura 15)

**Para los cálculos del TMDL**

Los TMDLs se expresan como:

- Masa (e.j., libras por día)
- Toxicidad (e.j., unidades tóxicas)
- Energía (e.j., calor de la temperatura TMDLs)

\*Énfasis sobre TMDLs expresados cargas diarias

**Figura 15 Unidades de medida para cálculos del TMDL**  
**Fuente: Handbook, EPA. 2008 Modificado: Medrano, V.**

Congruentes con lo dicho anteriormente, este plan o documento que sustenta un TMDL, requiere de la elaboración de algunos elementos, previos a la presentación del proyecto de determinación de la carga total diaria de contaminantes en los ríos; por lo que un documento o plan típico debe reunir al menos lo siguiente:

- Identificación del cuerpo de agua, contaminante de interés, fuentes contaminantes y clasificación de la prioridad.
- Aplicable WQS y objetivo numérico de calidad de agua\*
- Capacidad de carga\*
- Asignación de las cargas (LA) y asignaciones de carga desperdicios (WLA)\*
- Margen de Seguridad (MOS)\*
- Consideraciones de las variaciones estacionales\*
- Aseguramiento razonable para PS/NPS
- Plan de Monitoreo para Seguimiento Efectivo de TMDL
- Plan de Implementación
- Participación Pública

(\*) Requerido por 40 C.F.R. Part 130, no deben faltar.

#### IMPLEMENTACIÓN DEL TMDL

Indudablemente que toda planificación debe ser puesta en ejecución para conocer la aplicabilidad como contrario modificar o mejorar cualquier elemento parcial que no satisfaga su rendimiento o resultados.

Con esta premisa, el plan del TMDL debe implementarse y no podrá hacerse por sí mismo solo con el amparo de la norma 303(d), necesita del involucramiento de otras instituciones, en el caso americano, por parte de la WLA quien genera los límites exigibles permitidos de acuerdo a la CWA a través de la National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES), para el caso de las fuentes fijas (point sources) y publicados por delegación a la EPA.

Mientras que **para otros puntos fuentes** (non point sources) no es necesaria la aplicación de ningún programa con reglamentación federal, **cuanto si por la implementación primaria de Programas de Manejo con poca exigencia regulatoria.**

Otro factor influyente es el de la participación ciudadana o pública, cuya responsabilidad y compromiso tiene que ver con:

- Proveer datos e información a los estados
- Revisar y comentar sobre el borrador de la lista 303(d)
- Revisar y comentar sobre los borradores de los TMDLs
- Participar en el desarrollo de las reuniones de grupo de TMDLs. (Office of the Secretary, 2013)

## **2.6 ANÁLISIS Y USO DEL MODELO WASP 7.**

WASP significa Programa de Simulación para Análisis de la Calidad de Agua; actualmente ha sido mejorado el original (Di Toro et al., 1983; Connolly and Winfield, 1984; Ambrose, R.B. et al., 1988); este modelo fue diseñado para ayudar a los usuarios a interpretar y predecir respuestas de la calidad del agua ante fenómenos naturales y contaminación generada por el hombre y facilitar las decisiones ante varios tipos de contaminación.

A causa de las capacidades del modelo de manejar múltiple tipo de contaminantes, se viene aplicando en forma extensiva para el desarrollo de la determinación de la carga total máxima diaria; WASP tiene la capacidad de enlazar con aplicaciones de modelos de hidrodinámica y de cuencas hidrográficas para permitir análisis multi anual bajo diferentes condiciones ambientales y meteorológicas. (EPA, 2008)

### **ANÁLISIS DE LA INTERFASE DEL WASP**

El diseño de un plan o un esquema de tratamiento de aguas vertidas a una fuente receptora es un problema que puede ser complejo, y con el fin de obtener soluciones técnicas apropiadas que sean costo-efectivas, los



ingenieros y técnicos estamos en la obligación de proponer la aplicación de las mejores tecnologías disponibles. Los modelos de transporte de contaminantes y de calidad del agua permiten dimensionar y diseñar soluciones estructurales (e.g. plantas de tratamiento) y no estructurales (e.g. tecnologías de producción más limpias) requeridas para alcanzar estándares de calidad de agua bajo diferentes niveles de contaminación y/o tratamiento.

Los modelos permiten determinar la capacidad asimilativa (i.e. dilución, dispersión, reacción) de sustancias biodegradables o acumulativas. Los modelos permiten priorizar la toma de decisiones.

Por ello, se analizará esta interface GUI del WASP ya que provee un ambiente para que el usuario ingrese un conjunto de datos a ser usados con esta versión del Programa WASP.

En primer lugar se tratará de describir de manera general lo que hace la barra de herramientas desplegadas en el programa; se debe considerar el desarrollo a partir del icono que efectivamente activará el proceso del mismo; así:

### **Parametrización del modelo** (Model parameterization)

Cuando se crea un nuevo ingreso de datos, la forma para introducir los datos parametrizados, debe ser llenado completamente en primer lugar. Este formato provee información básica que es necesitada por el programa para parametrizar las otras formas de entrada de datos que siguen. Esta pantalla informa al programa qué tipo de archivo WASP va a ser creado. (Ver figura 16).

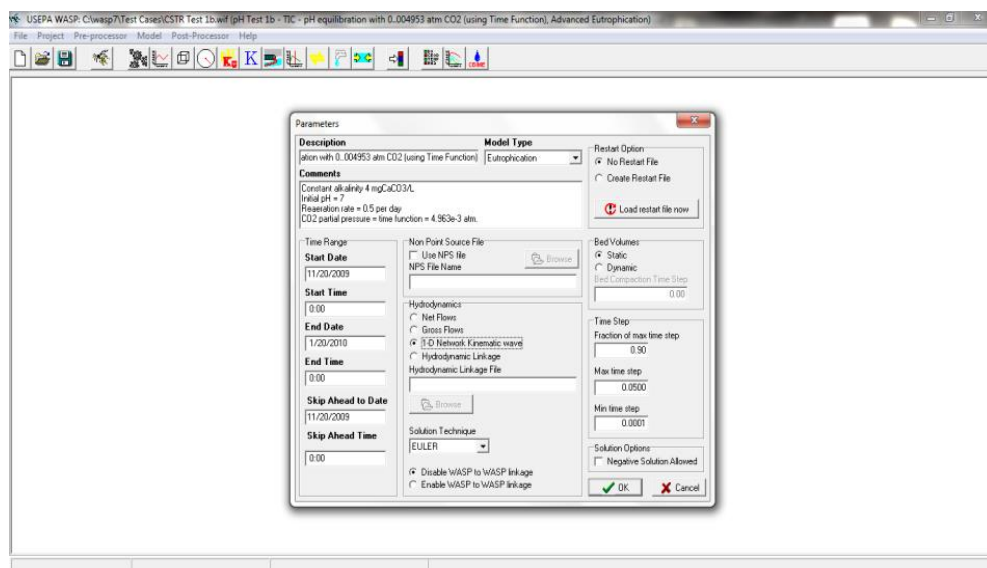
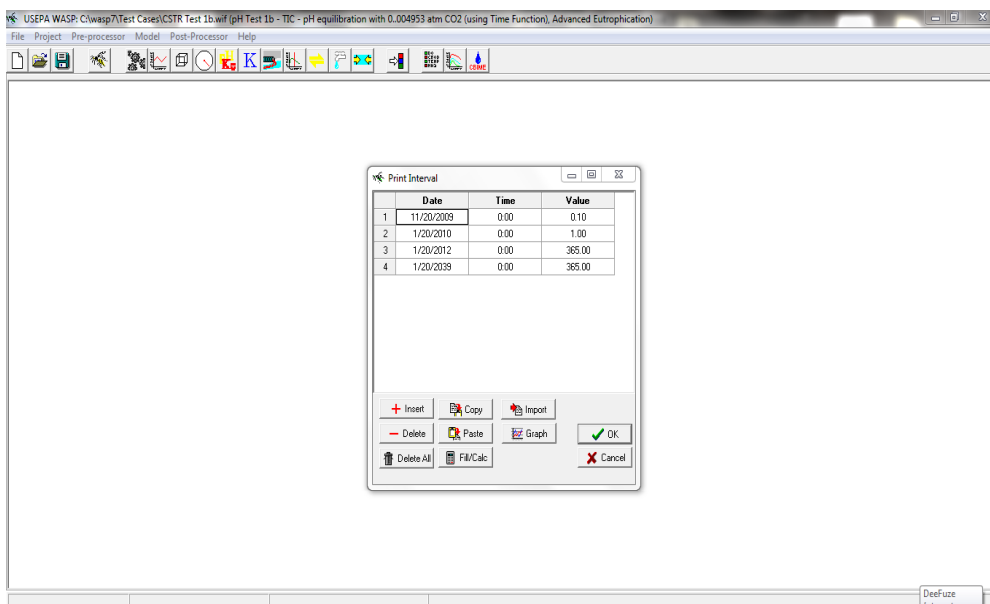


Figura 16 Parametrización del modelo

Fuente: print screen WASP. 2015

### Modelo de simulación para los resultados de intervalo (intervalos de impresión) (Model simulation result interval (Print interval))

Es la función del tiempo especificado por el usuario en el cual los resultados de la simulación serán escritos para el archivo final de resultados. El modelo WASP no tiene que escribir información cada paso de tiempo pero puede ser controlado por el usuario. Depende del tamaño de la red y del tiempo total que esté siendo simulada por el WASP, los archivos resultados de la simulación pueden ser bastante grandes. El usuario tiene absoluto control sobre el tiempo total en el cual la información es escrita para los archivos resultados de simulación. Esta función trabaja como las todas las otras funciones en el WASP. El usuario debe proveer el tiempo de paso deseado y el tiempo de simulación que será utilizado en este intervalo. **El usuario debe proveer al menos dos pares de datos.** (Ver figura 17)



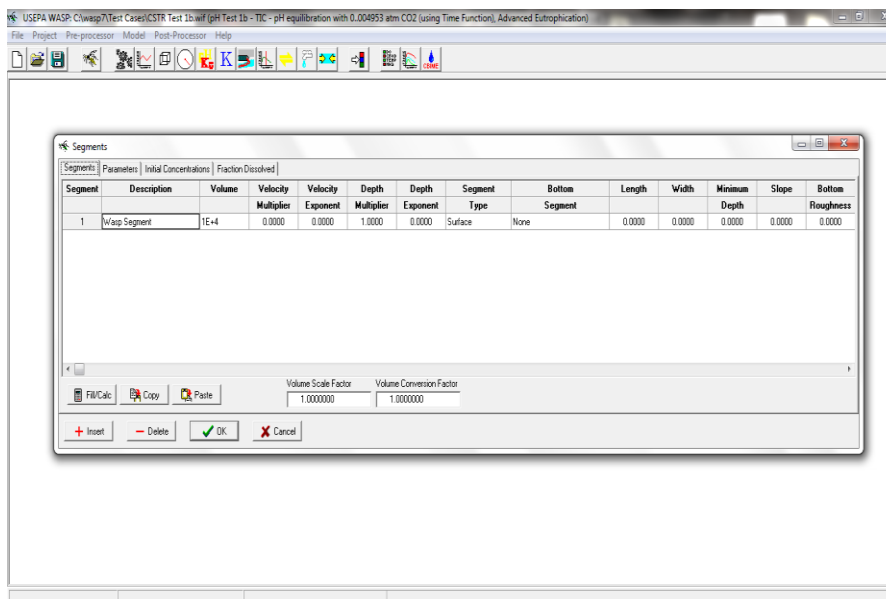
**Figura 17 Modelo de simulación para los resultados de intervalo**

**Fuente: print screen WASP. 2015**

**Modelo de pantalla para la definición del segmento. (Pantalla de segmentación) (Model segment definition screen (Segmentation screen))**

Esta forma de entrada de datos permite al usuario definir el número de segmentos que serán considerados en la simulación. Segmentos, son los componentes espaciales en los cuales WASP resuelve un conjunto de ecuaciones.

Los segmentos tienen: volumen, aspectos ambientales y componentes de concentraciones asociadas con ellos: 1) definición del segmento, 2) parámetros ambientales, 3) condiciones iniciales, 4) fracción disuelta. (Ver figura 18)

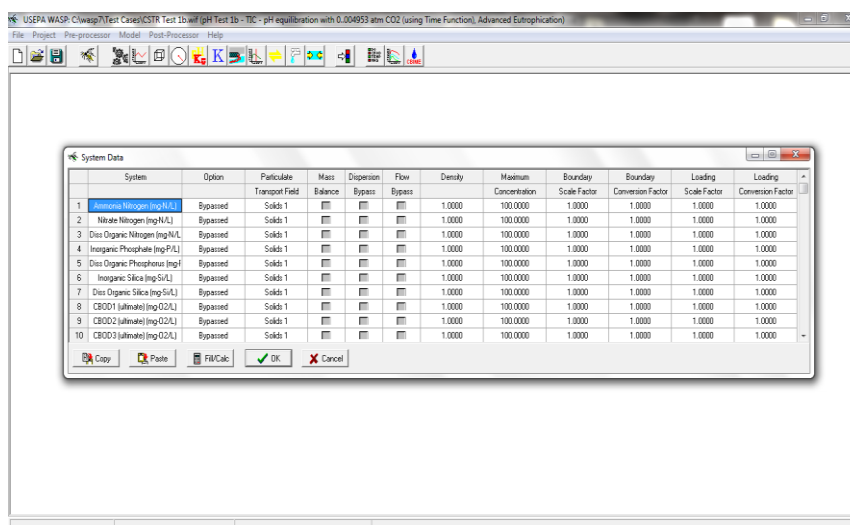


**Figura 18 Modelo de pantalla para la definición del segmento**

**Fuente: print screen WASP. 2015**

### **Definición del Sistema modelo I (Sistemas) (Model system definition (Systems))**

La forma de entrada del sistema de datos permite al usuario definir información específica del sistema. Un sistema en WASP es una variable (de estado) declarada al interior del modelo. Las variables de estado en WASP cambian de un tipo de modelo a otro. El usuario controla, cuál variable de estado, será considerada en su modelo de ingreso del conjunto de datos desde el interior de esta pantalla. (Ver figura 19)



**Figura 19 Definición del Sistema modelo I (Sistemas)**

**Fuente: print screen WASP. 2015**

## Factores de escala del parámetro segmento. (Segment parameter scale factors)

Esta pantalla define cuáles parámetros serán considerados en la simulación así como especificando un parámetro de factor de escala. Por defecto el factor de escala es 1.0. Antes de que un parámetro de segmento ambiental sea considerado por WASP se debe marcar con X la columna USED. Si no le marca removerá el parámetro de la simulación, pero toda la información ingresada no será perdida.

Un ejemplo de uso de este aspecto es observando la influencia del SOD (Sediment Oxygen Demand) sobre oxígeno disuelto. Realice la primera simulación con el parámetro SOD chequeado; haga la siguiente corrida pero sin chequear el SOD. La diferencia entre las dos corridas del programa, es la influencia del SOD. El usuario puede también cambiar el factor de escala para cada uno de los parámetros. Por ejemplo, si quiso poner al doble el factor de escala entonces ponga el factor de escala a 2.0. (Ver figura 20)

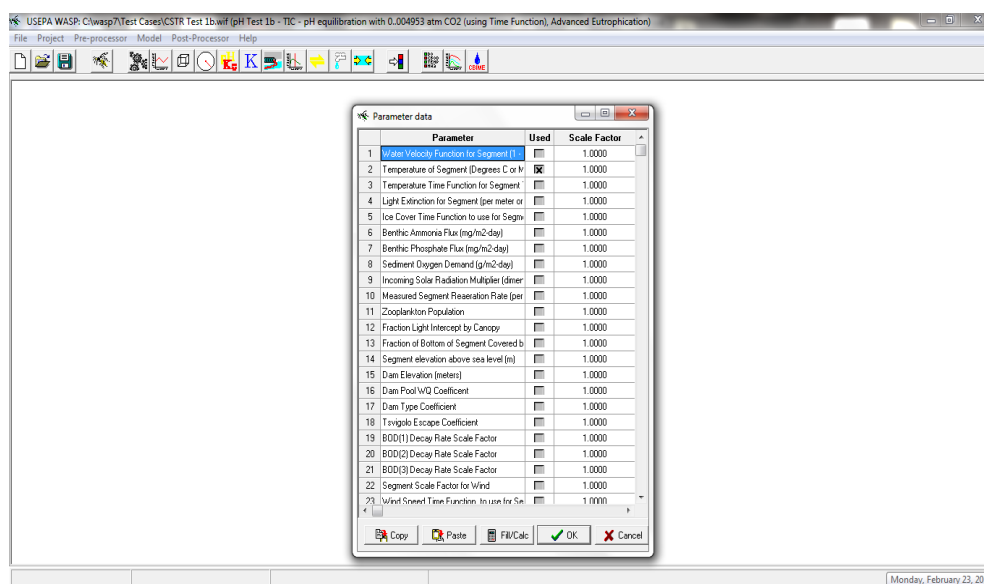


Figura 20 Factores de escala del parámetro segmento

Fuente: print screen WASP. 2015

## Definición de las series de tiempo de los desperdicios de Carga (Cargas) /Waste load time series definition (Loads))

Las cargas de residuos o desperdicios pueden ser ingresados al WASP para cada uno de los sistemas para un segmento dado. Para adicionar una carga haga clic en el botón derecho del mouse sobre el sistema, seleccione **add load** y chequee los segmentos que estarán recibiendo una carga para el sistema seleccionado.

Una vez hecho esto, el usuario estará habilitado para seleccionar el segmento a definir la carga. Será un ingreso para cada segmento en el cual el usuario quiere definir una carga. El usuario puede quitar o borrar una carga seleccionando el sistema con el botón derecho del mouse y señalar **delete**. (Ver figura 21)

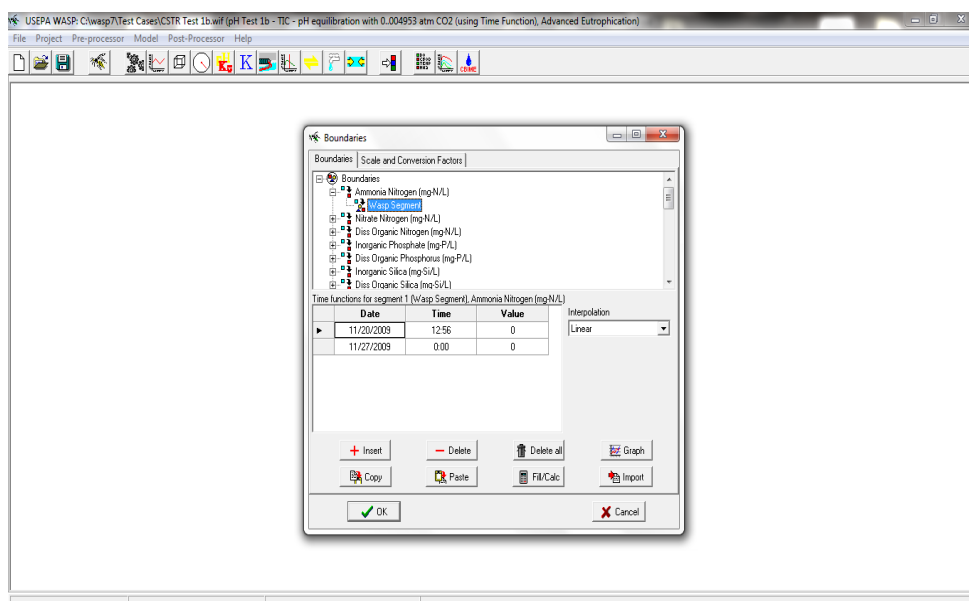


Figura 21 Definición de las series de tiempo

Fuente: print screen WASP. 2015

## Definición de series de tiempo de aspectos ambientales (Funciones de tiempo) (Environmental time series definition (Time functions))

La forma de entrada de datos de la función de tiempo permite al usuario información variable de aspectos ambientales. WASP ofrece una selección de todas las funciones de tiempo ambientales para un tipo de modelo dado.

El usuario puede proveer información para todas las funciones de tiempo o encender o apagar cualquiera de las funciones haciendo click en la caja de **Use Dialog**. Para ingresar información para una función de tiempo, ponga el cursor sobre la función deseada. La forma de datos de series de tiempo para la función de tiempo dada está desplegada en la tabla inferior.

El usuario debería ingresar tiempo/fecha y un valor para la función de tiempo. El usuario puede ingresar la información a mano, pegarlo desde una hoja de cálculo (Excel) o un arreglo (query) desde una base de datos/Excel. (Ver figura 22).

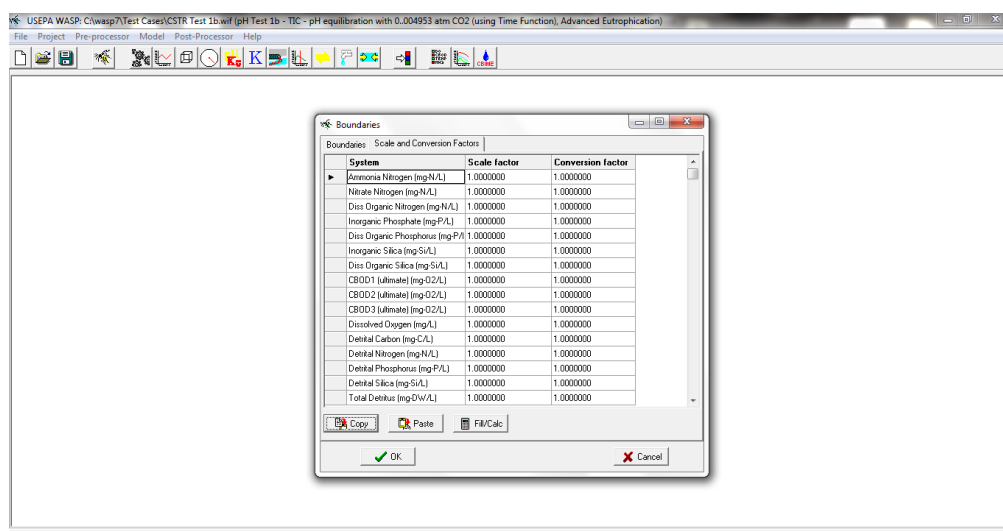


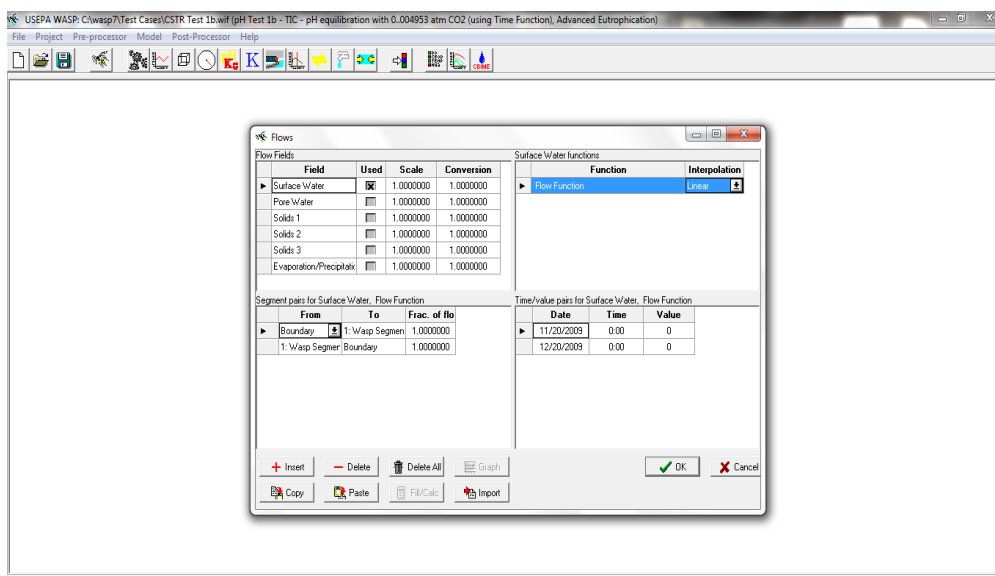
Figura 22 Definición de series de tiempo de aspectos ambientales

Fuente: print screen WASP. 2015

## Entrada de datos de flujo (Flujos) (Flow data entry (Flows))

El grupo de **flujo** trabaja exactamente en la misma forma como el grupo de intercambio. La única diferencia es que el grupo advectivo tiene 6 procesos de transporte que puede ser definido por el usuario. (Ver figura 23)

- Flujo de agua superficial
- Agua intersticial
- Transporte de sólidos 1
- Transporte de sólidos 2
- Transporte de sólidos 3
- Evaporación/precipitación



**Figura 23 Entrada de datos de flujo (Flujos)**  
Fuente: print screen WASP. 2015



## **Función de flujo**

El usuario tiene la habilidad para definir algunas funciones **debajo** para cada uno de los 6 campos de flujo. Cada función de flujo debería tener su propio ingreso de continuidad de flujo (lower left table) y el ingreso de un tiempo de flujo variable (lower right table).

El usuario debe resaltar el campo del flujo y la función de flujo en la que va a ingresar la información. WASP permite al usuario proveer nombres a cada uno de las funciones de flujo. Para insertar una función de intercambio click en el botón de **insert**. Para borrar una función, seleccione la función resaltando la fila y click en **delete**.

Nota: esto borrará el par de segmentos correspondientes (lower left table) y la función de tiempo de flujo (lower right table).

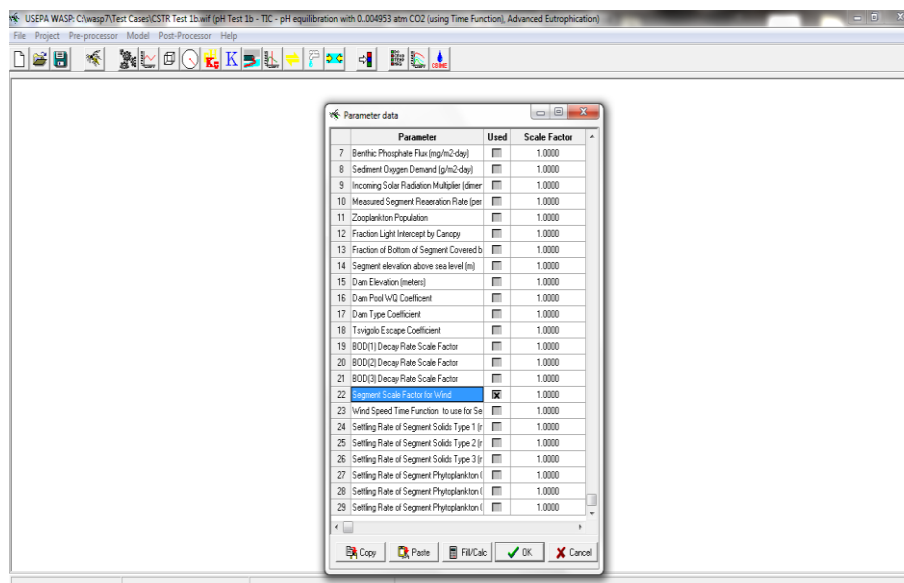
Para insertar funciones de flujo para flujo superficial, resalte el campo de **surface flow (upper left table)** vaya sobre la tabla de función de flujo (upper right table) y presione **insert**.

Las tablas de abajo son una función de la selección en las tablas superiores.

## **Factores de escala de los parámetros de segmento**

(Segment Parameter Scale Factors)

Esta pantalla define cuáles parámetros ambientales serán considerados en la simulación así como especificar el factor de escala del parámetro que por defecto siempre es 1.0. Se debe activar la Caja con una X para el proceso sea realizado caso contrario la simulación no se realiza. Sin embargo la información cargada, datos, no se borran del sistema. (Ver figura 24)



**Figura 24 Factores de escala de los parámetros de segmento**  
Fuente: print screen WASP. 2015

### **Entrada de datos de Dispersión (1.10 Dispersión) (Dispersión data entry (1.10 Dispersion))**

Contiene cuatro tablas. El usuario tiene hasta dos chances para intercambiar campos.

Para simular tóxicos en aguas superficiales y dispersión de sólidos, el usuario selecciona la columna de dispersión de agua en el pre procesador o setea el número de campos a intercambiar a 1. Para simular intercambio de tóxicos disueltos con el lecho del río, el usuario debería también seleccionar **pore water diffusion** en el preprocesador o poner el número de intercambio de campos a 2.

#### **1.10.1 Campos de intercambio (Exchange Fields)**

Esta tabla en la parte superior de la pantalla le permite al usuario definir la dispersión para dos tipos de intercambios. Para utilizar uno de estos campos de intercambio debe chequear la caja **USE** e ingresar una escala y un factor de conversión.

1. Surface water Exchange (**Intercambio de agua de superficie**) – el intercambio de las dos fracciones de particulado y disuelto.

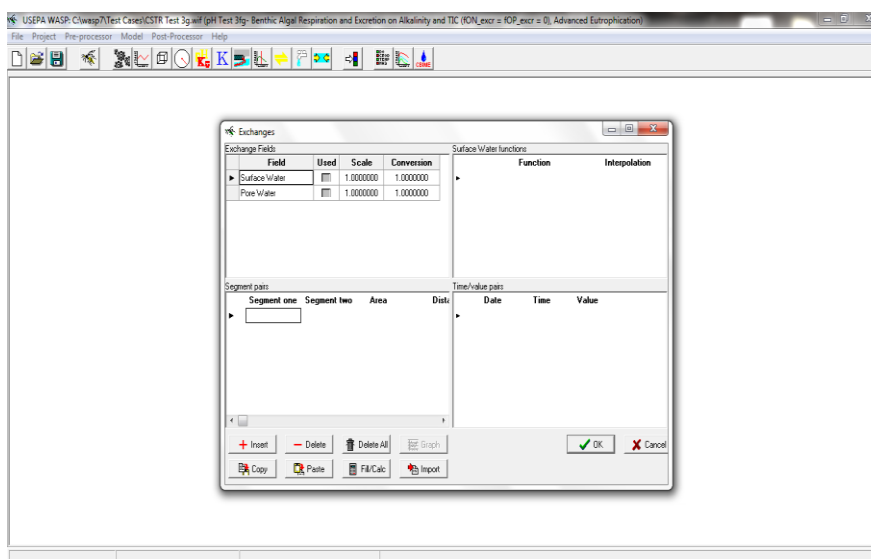
2. Pore wáter Exchange (intercambio de agua de poro) – este campo de intercambio mueve sólo la porción o fracción disuelta de un elegido o integrante (**constituent**).

### 1.10.2 Función de dispersión (Dispersion function)

Por cada uno de los campos de intercambio el usuario puede definir algunas funciones de intercambio. Cada una de las funciones de intercambio puede tener su propio set de pares de segmentos de intercambio y una correspondiente función de dispersión de tiempo.

WASP permite al usuario proveer nombres para cada una de las funciones de intercambio. Para aumentar una función de intercambio click on the **insert botton**. Para borrar una función, seleccione la función y resalte la fila y haga click on de **delete botton**.

Para insertar funciones de intercambio para dispersión en superficie, resalte el campo de intercambio Dispersión de superficie (upper left table) vaya sobre la tabla de función de intercambio (upper right table) y presione **insert**. The **botton tables** son una función de la selección en las tablas superiores. (Ver figura 25).



**Figura 25 Función de dispersión**

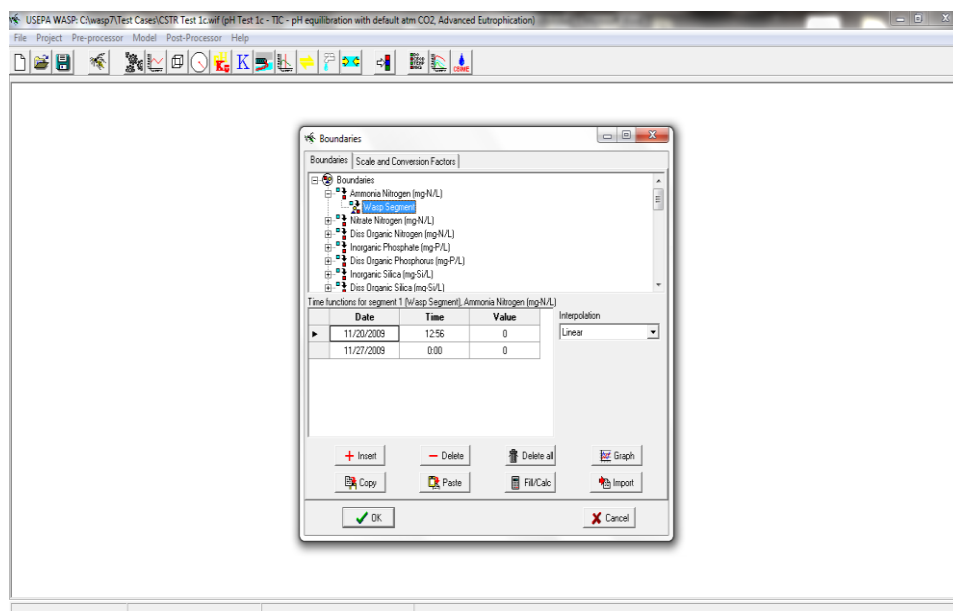
**Fuente: print screen WASP. 2015**

## Series -de tiempo- temporales de las condiciones de frontera - Bordes o límites (Frontera) (Boundary condition time series (Boundaries))

Límites (fronteras) de concentraciones deben ser especificadas para cualquier segmento que esté recibiendo ingreso de flujo, salida de flujo o intercambio desde fuera de la red del modelo.

Los segmentos límites son automáticamente determinados por WASP cuando el usuario definió los patrones del transporte. Por lo tanto, el usuario no puede ingresar información de los límites hasta que la información de transporte haya sido ingresada.

WASP requiere que una concentración de límites sea especificada para cada sistema que está siendo simulada para cada segmento límite. Para especificar los límites para un sistema, mueva el cursor hasta el sistema que necesite límites a ser especificados y dar click derecho sobre el sistema. (Ver figura 26)



**Figura 26 Series temporales de las condiciones de frontera.**  
Fuente: print screen WASP. 2015

### **Funciones de importación de la red WASP (Herramientas de la red WASP)** (WASP network import function (WASP network tool))

La herramienta para la red WASP tiene algunas funciones. El propósito general de la herramienta es proveer un método rápido de conseguir información externa al interior del marco de modelado de WASP. Esta herramienta puede ser utilizada para conseguir información desde un GIS, otros modelos o herramientas. Mientras los formatos de los archivos con información a ser traídos estén establecidos.

Una herramienta exclusiva GIS ha sido desarrollada y que usa cubiertas espaciales para ayudar a derivar la red WASP (segmentación y conectividad). Esta herramienta usa algunas cubiertas para cumplir esta tarea. El National Hydrology Datasets (NHD) es la primera cubierta usada. Estas cubiertas pueden ser obtenidas del USGS.

Es importante antes de llamar a esta herramienta, el tipo de modelo (EUTRO, TOXI, Mercury, etc) y el tiempo de inicio/fin que debería ser puesto para la simulación.

### **Procesador gráfico posterior (Gráfico visual post proceso)** (Graphical post processor (Visual graphic post processor))

El post procesador fue desarrollado como un medio eficiente de procesamiento de una vasta cantidad de datos producidos para la ejecución de los modelos de WASP. Tiene la habilidad de desplegar resultados desde todos los modelos incluidos en el paquete de WASP. El post procesador lee los archivos de salida creados por los modelos y despliega los resultados en dos formatos gráficos:

- Cuadrícula espacial – despliega en grados de color basados en las concentraciones pronosticadas.
- Ploteo x/y – genera una línea ploteada x/y pronosticada y/o los resultados observados del modelo en una ventana-

No hay un número límite para los puntos ploteados, modelados u otros archivos de resultados que el usuario pueda utilizar en una sesión. El **post procesador gráfico** (graphical post processor) es ejecutado de manera rutinaria en el WASP.

Tiene sus propias herramientas tool bar – Main

## **CAPÍTULO III**

### **INVESTIGACIÓN**

Para el desarrollo de esta parte, conforme la apreciación inicial de planificación del proyecto, se dividió en dos instancias: la primera tuvo que ver con la recolección de datos in situ especialmente los datos relacionados con la toma de muestras de agua para los diferentes parámetros de análisis físico – químicos del agua y aquellas actividades relacionadas a la colección de especies de macroinvertebrados en los sitios escogidos a lo largo del segmento considerado como parte alta del río Pita; y, la segunda, que se resumió en tareas de laboratorio ambiental para mediante el uso de los equipos adecuados realizar el análisis respectivo de las aguas, tanto como separar y seleccionar los detritos del río y las especies a ser utilizadas y posteriormente ser clasificadas conforme la Guía de Clasificación de Macroinvertebrados.

Una tarea adicional de campo y de laboratorio tiene que ver con la expresión gráfica de los elementos geográficos del sitio de trabajo, mediante la elaboración de mapas para la ubicación de los sitios de muestreo, descripción física, geológica y morfológica, económica y social del sector de estudio.

#### **3.1 MAPA DE LOS SITIOS DE TOMA DE MUESTRAS.**

De manera particular se consideró los lineamientos básicos para la selección de los diferentes sitios de muestreo; en general se procuraron realizar en el mismo sitio las dos actividades de toma de muestras para el análisis físico – químico del agua y la toma de muestras para las especies de macroinvertebrados. Obviamente en estos sitios se introdujeron en los formatos de datos, las variables que tienen que ver flujo de la corriente, tiempo atmosférico y otros, como se puede observar en los registros de campo.

Lo que caracteriza esta actividad fundamentalmente es la adquisición de las coordenadas de los sitios escogidos; éstas se obtuvieron con el uso de un GPS navegador marca GARMIN 60 CSx, artefacto que permite la ubicación de un punto en el espacio geográfico en tiempo real con aproximación entre las 3 – 10 metros de precisión.

De esta forma se puede observar en la Tabla 6 una lista de los puntos de muestreo escogidos.

**Tabla 6 Coordenadas de los Puntos de Muestreo.**

Denominación	Coordenadas UTM	
	x	y
P1	786050	9940031
P2	786315	9941693
P3	786342	9941570
P4	786406	9941212
P5	785511	9946251
P6	786325	9941655
P7	786418	9941233
P8	786315	9941701
P9	785482	9946240
P10	786050	9940031
P11	786065	9940056
P12	786339	9940916

Fuente: Medrano, 2014

En la Figura 27, podemos ver de manera consolidada los sectores en los cuales se realizaron la toma de muestras de agua y de los macroinvertebrados, sitios que se encuentran en el sitio La Merced, al interior del Parque Nacional y muy cerca de su nacimiento, mientras que la otra área se encuentra hacia el norte muy cercana a la captación de las aguas del río Pita, administrada por gente de agua potable del DMQ.



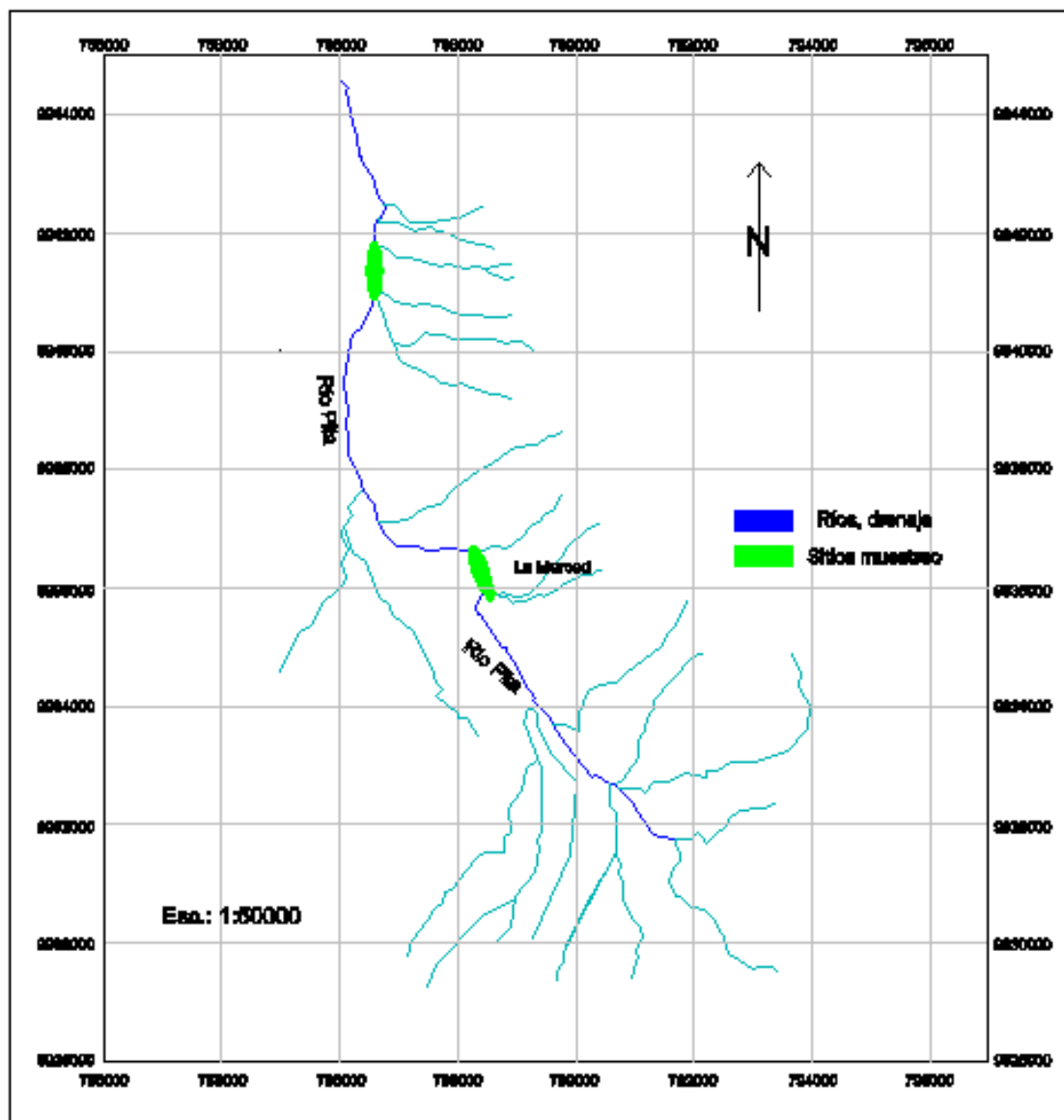


Figura 27 Ubicación de sitios de muestreo

Fuente: Carta Sincholagua, Esc. 1:50000, 2015. Elaborado: Medrano V.

### **3.2 DATOS OBTENIDOS:**

#### **3.2.1 PARA LAS PROPIEDADES DE CALIDAD DE AGUA**

En la planificación realizada para salir a recolectar los datos se previó utilizar el multiparamétrico HACH Portable Meter, Hq30d para obtener datos in situ de DBO, conductividad, pH, turbidez, color y sólidos totales, estos datos fueron registrados en formatos que facilitaron un posterior procesamiento.

Además se tomaron datos del entorno físico de cada estación o segmento, como son: temperatura del medio aire, temperatura del agua, dimensiones del río en ese sector ancho, profundidad y longitud del segmento del río.

Esto se complementa con la ubicación de los sitios de muestreo mediante la obtención de coordenadas de ubicación con el GPS, estas coordenadas incluyen las elevaciones o altura de cada sitio.

Los datos obtenidos obedecen fundamentalmente a determinar la cantidad de oxígeno existente en el agua ya que ello incide en la cantidad de especies que puedan existir y sobrevivir en medios con tendencia a la descomposición del agua del río Pita.

Las muestras de agua recolectadas, fueron embotelladas en frascos etiquetados para su posterior análisis en laboratorio; en el mismo se procedió con el tratamiento de cada muestra conforme los métodos y procesamientos específicos técnicos para el análisis físico – químico del agua como también para los sólidos totales y sólidos en suspensión, lo que al mismo tiempo le da la característica de coloración del agua. Es así que se tienen los siguientes datos:

Tabla 7 Sólidos Totales

<b>SOLIDOS TOTALES</b>							
<b>Temperatura de la estufa 105 C</b>							
<b>Peso de muestra aproximadamente 50 ml</b>							
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Ord.</b>	<b>Peso inicial (g)</b>	<b>Peso más muestra (g)</b>	<b>Peso de muestra (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Peso de residuo (mg)</b>	<b>mg/l</b>
<b>La Merced</b>	1	97,2786	158,0188	0,0607	97,2823	3,7000	6091,52
<b>Puente</b>	2	86,5035	150,0518	0,0635	86,5100	6,5000	10228,44
<b>Rio-Puente</b>	3	109,0153	183,4629	0,0744	109,0220	6,7000	8999,62
<b>Cascada</b>	4	87,5371	142,3757	0,0548	87,5420	4,9000	8935,31
<b>Falso inicio</b>	5	86,1945	160,4404	0,0742	86,1960	1,5000	2020,31

Fuente: Medrano, Autor

Tabla 8 Sólidos en suspensión.

<b>SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN</b>						
<b>Filtrado</b>						
<b>Volumen de muestra 100 mL</b>						
<b>Membrana 0,45 u</b>						
<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Ord.</b>	<b>Peso inicial (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Peso de residuo (mg)</b>	<b>mg/L</b>	
<b>La Merced</b>	1	0,0768	0,0782	1,4	14	
<b>Puente</b>	2	0,0781	0,0792	1,1	11	
<b>Rio-Puente</b>	3	0,0793	0,0798	0,5	5	
<b>Cascada</b>	4	0,0791	0,0795	0,4	4	
<b>Falso inicio</b>	5	0,0792	0,0799	0,7	7	

Fuente: Medrano, Autor

**Tabla 9 Análisis y Preservación de Resultados (Cálculos).**

PARÁMETROS	Expresado como	Unidad	Muestreo					Promedio
			1	2	3	4	5	
Olor			Inod.	Inod.	Inod.	Inod.	Inod.	-
Potencial de hidrógeno	pH		8.67	8.61	8.61	8.62	8.71	8.64
Conductividad		µS/cm	127.2	507.6	128.2	135.5	142.8	208.3
Temperatura agua		°C	13.9	14.2	14.2	14.2	14.7	14.24
Temperatura ambiente		°C	17.0	17.5	17.5	18.0	18.0	17.60
Sólidos totales		mg/L	6091.5	10228.4	8999.6	8953.3	2020.3	7258.62
Sólidos disueltos		mg/l	14	11	5	4	7	8.2
Oxígeno Disuelto		mg/l	6.76	6.38		5.79		6.31
Turbidez		FAU	10	10		9		9.67

Fuente: V. Medrano, 2015.

### 3.2.2 INDICE DE CALIDAD

La calidad del agua depende de sus características físicas, químicas y bacteriológicas, propias de los ecosistemas acuáticos y que son evaluadas mediante el análisis de las muestras de agua. Sin embargo, los valores obtenidos no son índices absolutos de contaminación, sino que representan características particulares del agua, en cuanto al parámetro mismo.

El índice de calidad de agua (ICA) es un número adimensional obtenido de la combinación de algunos parámetros fisicoquímicos, medidos en una muestra de agua. A partir de formulaciones matemáticas que se valoran a través de ecuaciones lineales, se puede medir la influencia de cada uno de estos parámetros en el total del índice, y se obtiene un valor final entre 0 (Agua muy contaminada) y 100 (Agua totalmente limpia).

Un índice de calidad entre 50 y 0 implica prácticamente la imposibilidad de utilizar el agua para cualquier uso.

En este estudio, el cálculo del índice de calidad (ICA) se efectuó con los parámetros siguientes: Conductividad, DQO, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Totales, Temperatura y Turbidez.

Un ICA es un número adimensional, comprendido entre 1-100, donde a mayor valor mejor es la calidad del recurso. Los parámetros incluidos en los ICA así como la definición de los rangos se han basado tradicionalmente en las curvas de distribución de las variables o en criterios biológicos en el caso del oxígeno disuelto o el pH.

El índice de calidad de agua se estimó mediante la ecuación propuesta por Rodríguez de Bascaron:

#### **Fórmula 6 Índice de Calidad del Agua.**

$$ICA = \frac{\sum C_i \times P_i}{\sum P_i}$$

Donde  $C_i$  es el valor de cada parámetro luego de su normalización y  $P_i$  es la ponderación asignada a cada parámetro.

### Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA)

Para el cálculo del índice de calidad de agua, se requiere la normalización de los datos, donde cada parámetro es transformado entre 0 - 100%, siendo como se mencionó anteriormente que el 100% indica alta calidad. Luego se asigna un determinado peso a cada uno de los factores que refleja la importancia de cada parámetro como indicador de calidad de agua.

Como se puede entender de la información proporcionada en la Tabla 1 de los Factores de Normalización,  $P_i$  es el peso relativo asignado a cada parámetro, tomando en cuenta la importancia que el mismo tiene para la preservación de la vida acuática. A mayor importancia mayor peso; por ejemplo: El oxígeno disuelto le corresponde un peso de 4, mientras que el parámetro cloruro, le corresponde un peso de 1.

**Tabla 10 Factores de Normalización  $C_i$ .**

Parámetro	Peso relativo ( $P_i$ )	Factor de Normalización ( $C_i$ )										
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Nitrógeno Amoniacal	3	<0,0	<0,0	<0,1	<0,2	<0,3	<0,4	<0,5	<0,7	<1,0	≤1,2	>1,2
DBO <sub>5</sub>	3	<0,5	<2	<3	<4	<5	<6	<8	<10	<12	≤15	>15
Calcio	1	<10	<50	<10	<15	<20	<30	<40	<50	<600	≤100	>100
Cloruro	1	<25	<50	<10	<15	<20	<30	<50	<70	<100	≤150	>150
Conductividad		<750	<1000	<1250	<1500	<2000	<2500	<3000	<5000	<8000	≤12000	>12000
DQO	3	<5	<10	<20	<30	<40	<50	<60	<80	<100	≤150	>150
% de saturación de O.D.	4	≥84,2	>80,1	>77,2	>73,8	>63,5	>52,4	>47,2	>40,5	>29,9	≥15,8	>15,8
Magnesio	1	<10	<25	<50	<75	<100	<150	<200	<250	<300	≤500	>500
Nitrato	2	<0,5	<2	<4	<6	<8	<10	<15	<20	<50	≤100	>100
Nitrito	2	<0,05	<0,01	<0,03	<0,05	<0,10	<0,15	<0,20	<0,25	<0,50	≤1,00	>1,00
Aceites y Grasa	2	<0,05	<0,02	<0,04	<0,08	<0,15	<0,30	<0,60	<1,00	<2,00	≤3,00	>3,00
pH	1	7	7-8	7-8,5	7-9	6,5	6-9,5	5-10	4-11	3-12	2-13	1-14
Ortofosfat	1	<0,1	<1,6	<3,2	<6,4	<9,6	<16	<32	<64	<96	≤160	>160

o		6	0	0								
Sólidos Disueltos	2	<100	<50	<75	<10	<15	<20	<30	<50	<100	≤200	>200
Sólidos Totales	4	<250	<75	<10	<15	<20	<30	<50	<80	<120	≤200	>200
Sulfatos	2	<25	<50	<75	<10	<15	<25	<40	<60	<100	≤150	>150
Temperatura	1	21/1	22/1	24/1	26/1	28/1	30/5	32/0	36/-	40/-4	45/-6	>45/
Coliformes Totales	3	<0,5	<2	<3	<4	<5	<6	<8	<10	<12	≤15	>15
Turbidez	2	<5	<10	<15	<20	<25	<30	<40	<60	<80	≤100	>100

Fuente: Rodríguez de Bascarón

Para definir los factores que incidirán en la aplicación de la fórmula del índice de calidad se muestra también la Tabla 12 de Clasificación de los índices de Calidad y que son aplicados a continuación:

**Tabla 11 Clasificación de los Índices de Calidad.**

Rango del Índice de Calidad (IC)	Categoría
100 - 85	Excelente
85 -75	Buena
75-65	Regular
65-60	Deficiente
< 50	Mala

Fuente: Rodríguez de Bascarón

Finalmente, se aplica la fórmula la cual nos arroja el valor del ICA, que es el siguiente:

$$ICA = \frac{(1 \times 7) + (1 \times 8) + (1 \times 100) + (4 \times 30) + (2 \times 100) + (4 \times 40) + (2 \times 90)}{(1 + 1 + 1 + 4 + 2 + 2)} =$$

$$ICA = \frac{875}{12} = 72.9$$

### 3.2.3 PARA LOS MACROINVERTEBRADOS

Nos valemos de la Taxonomía para nombrar científicamente a las especies, es decir, dar un nombre único a la misma.

La forma de caracterizar está en la unidad de medida, es decir: Número de especies x unidad de área; sin embargo, para los invertebrados es necesario realizarlo de otra manera, para lo cual deben realizarse estudios morfológicos, moleculares, bioquímicos, cladísticos y otros.

De igual forma brindan muchas ventajas si se consideran como elementos de la calidad biológica de los ríos; algunas de ellas son las siguientes:

- Tamaño relativo grande
- Facilidad para la actividad de muestreo
- Son fáciles de identificar
- No se requieren equipos costosos
- Presentan un ciclo biológico relativamente largo, cerca de un año.
- Reflejan alta diversidad en función del tiempo
- Se presentan de forma amplia y con buena distribución
- Son sedentarias por excelencia
- Son fáciles de cultivar en laboratorio, lo cual es de mucha importancia para la investigación continua.

Para su recolección se encuentran en disponibilidad algunos métodos desde la forma manual hasta aquellas que revisten uso de tecnología, así:

- Malla rectangular KICKNET.
- Malla Surber.
- Rastra ELECTRO SHOCK, esta técnica se encuentra prohibida para la pesca; aunque presenta una ventaja en cuanto a proporcionar



estimaciones más elevadas de riqueza de especies como las ephemeropteras, tricopteras y plecopteras, siendo ellas calificadas como buenos indicadores de calidad de agua.

- Otros.

Anteriormente se indicó en la parte biológica que el estudio de los macroinvertebrados bénticos era de carácter simple y económico para obtener resultados respecto de la calidad del agua; sin embargo, el equipamiento requerido mínimo, aunque numeroso, es factible disponer a la mano y aun tenerlo en forma personal. Los elementos básicos necesarios se resumen de esta manera:

- Redes apropiadas y de diferente tipo.
- Bandejas grandes de color o blancas.
- Tamiz metálico de 0,5 mm de apertura de malla.
- Pinzas, agujas de disección y otros.
- Formalina al 10% para fijar los tejidos.
- Frascos con etiquetas.
- GPS para determinación de coordenadas y de altitud).
- Cuerda de 25 – 40 m utilizada para determinar la longitud de recorrido del flujo del agua a fin determinar la velocidad de la corriente del río.
- Flexómetro para medir el ancho de los ríos.
- Cronómetro para medir el tiempo del desplazamiento del flotador.
- Vara con cinta métrica adosada para medir el perfil o profundidad del río.
- Paletas para toma de muestras de sedimentos.
- Bolsas plásticas para almacenar los sedimentos (para granulometría)
- Cava refrigerada o hielo seco para mantener la temperatura de las especies hasta llegar al laboratorio.
- Artefacto para medir el pH.
- Termómetro.

- Artefacto para medir la turbidez del agua.
- Botellas para las muestras de agua.



**Figura 28 Malla Surber**

**Fuente: Medrano V. 2015**



**Figura 29 Tamiz metálico**

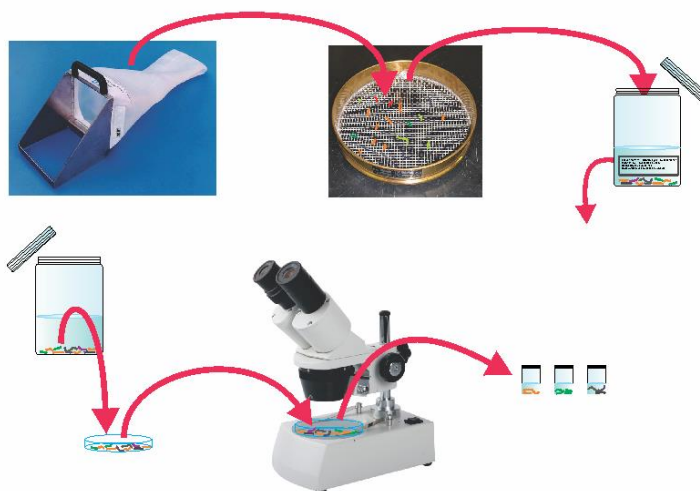
**Fuente: Medrano V. 2015**

En general se debe tener mucha prolijidad para el manejo de tantos instrumentos pequeños y variadas operaciones de campo para la recolección de datos; por ello también es necesario tomar las precauciones básicas y necesarias como:

- Trabajar siempre en grupo, mínimo en parejas.
- Observar en primera instancia el grado de peligrosidad del río no solo la parte física, también de la constitución del río, ubicación y advertir la presencia de materias de riesgo o tóxicas (vidrios, hongos, aguas contaminadas, agentes patógenos y otros.)
- Siempre se debe utilizar arneses de seguridad cuando se ingresa al río.
- Botiquín médico.
- Evitar contacto con formaldehído ya que es canceroso

## METODOLOGÍA

Se realizaron los siguientes pasos para la captura o recolección de los macro invertebrados en la cuenca alta del río Pita, en base al siguiente esquema:



**Figura 30 Método de recolección de muestras en campo y laboratorio.**  
Fuente: Liniero Arana, 2014.

- Obtención de los especímenes, es decir, la acción de recolectar.
- Separación de los especímenes de la macrofauna; con el uso de un tamiz de 0,5 mm de apertura de malla.
- Fijación y preservación de los especímenes, con la fórmula de un formaldehído al 40% diluido en agua hasta 4 al 10%; pudiendo también hacerlo con alcohol isopropílico. Se debe utilizar el volumen del fijador aproximadamente de 3 a 10 veces el volumen de la muestra.
- Etiquetar los frascos contenedores de las especies recolectadas y separadas, con al menos los siguientes datos: fecha, coordenadas geográficas, profundidad, sustrato, nombre del recolector. Se debe utilizar lápiz de grafito.
- Después de 1 o 2 días, la muestra se lava con agua dulce y se pone en etanol al 90%.

- f) Identificación de especies. Para ello nos valemos de un microscopio estereoscópico y/o microscopio compuesto. Se debe realizar anotaciones referentes a: coloración, longitud, forma del cuerpo, número de segmentos corporales, tipo y número de apéndices cefálicos y corporales, estructura de la región, parte del río, otros.

Se debe usar las claves dicotómicas para contrastar e identificar:

Orden

Familia

Género

Especie

Finalmente se deben depositar los organismos identificados en frascos plásticos especiales denominados “viales”, los mismos que servirán para mantener una colección de organismos de esa región o sitio del país.

Desafortunadamente, nuestro país carece de claves dicotómicas; lo que nos obliga a recurrir a otros sitios y latitudes para cotejar las especies y realizar los estudios pertinentes; por ejemplo, se utilizó el libro de Roldán, autor colombiano. (Roldán, 1988)

No todos los organismos acuáticos podrán ser tomados como bioindicadores, las adaptaciones evolutivas a diferentes condiciones ambientales y límites de tolerancia a una determinada alteración dan las características a ciertos grupos que podrán ser considerados como organismos sensibles (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) por no soportar variaciones en la calidad del agua, mientras que organismos tolerantes (Chironómidae, Oligoquetos), son característicos de agua contaminada por materia orgánica (Roldán, 1999).

Cuando los parámetros son críticos los organismos sensibles mueren y su lugar es ocupado por los organismos tolerantes (Alba-Tercedor 1996).

De tal forma que los cambios de la estructura y composición de las comunidades bióticas puede ser utilizada para identificar y evaluar los grados de contaminación de un ecosistema acuático. (Giacometi & Bersosa, 2006)

### **3.3 Trabajo en laboratorio.**

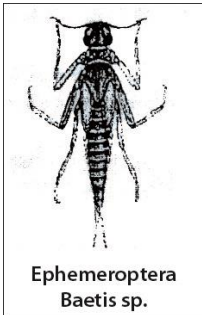
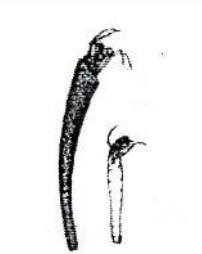
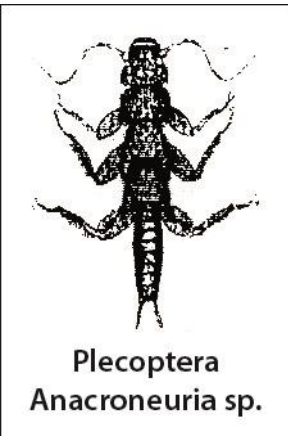
El criterio de trabajo en el laboratorio fue de analizar cada muestra tomada, mediante el uso de un microscopio estereoscópico con ampliación de 10x X 3x; para lo cual se fue vaciando cuidadosamente en fuentes de cristal tanto parte del agua cuanto el contenido con algas y bentos –de existir- y luego de la observación directa de los mismos, comparando inicialmente con las imágenes de la Guía para el Estudio de los Macroinvertebrados, de Gabriel Roldán de la U. de Antioquia, se fue separando en frascos pequeños “viales” a cada una de las especies encontradas. Estos pequeños frascos fueron etiquetados, fechados y para la preservación de la especie colocados en alcohol al 70%, no se puso glicerina por no tenerla a mano.

De todas maneras no se debe perder el criterio de que no todos los organismos acuáticos podrán ser tomados como bioindicadores, las adaptaciones evolutivas a diferentes condiciones ambientales y límites de tolerancia a una determinada alteración dan las características a ciertos grupos que podrán ser considerados como organismos sensibles (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) por no soportar variaciones en la calidad del agua, mientras que organismos tolerantes (Chironómidae, Oligoquetos), son característicos de agua contaminada por materia orgánica (Roldán, 1999). Cuando los parámetros son críticos los organismos sensibles mueren y su lugar es ocupado por los organismos tolerantes (Alba-Tercedor 1996).

De tal forma que los cambios de la estructura y composición de las comunidades bióticas puede ser utilizada para identificar y evaluar los grados de contaminación de un ecosistema acuático.

### Índice de Biodiversidad EPT

**Tabla 12 Índice de Biodiversidad EPT.**

ORDEN	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
Ephemeroptera	 <p>Ephemeroptera Baetis sp.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vida corta o efímera.</li> <li>- Cuerpo cilíndrico.</li> <li>- Viven en aguas limpias, oxigenadas.</li> <li>- Pocas especies resisten cierto grado de contaminación.</li> <li>- Indicadores de buena calidad de agua.</li> <li>- Ninfas adheridas a rocas, troncos, vegetación sumergida.</li> </ul>
Plecoptera	 <p>Trichoptera Anatólica sp.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hacen casas o refugios que construyen en estado larval (sirven para su identificación).</li> <li>- Larvas viven en todo tipo de hábitat, en sitios lóticos fríos.</li> <li>- Dos años para su desarrollo.</li> <li>- Algunas larvas son depredadoras.</li> <li>- Viven en aguas corrientosas, limpias y oxigenadas, debajo de piedras, troncos y material vegetal.</li> </ul>
Trichoptera	 <p>Plecoptera Anacroneuria sp.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Este género es el más extendido, el más común en el medio.</li> <li>- Respiración por agallas y superficie corporal.</li> <li>- Viven en aguas oxigenadas, debajo de piedras, troncos, ramas y hojas.</li> <li>- Están en riachuelos de fondo pedregoso, de aguas corrientes rápidas y muy limpias y oligotróficas.</li> <li>- Es un grupo pequeño y poco conocido.</li> </ul>

Fuente: varias lecturas Medrano V. 2015

De esta manera, se levantó la siguiente información:

#### MUESTRA CA 01-01

Raspado de rocas y algas.

La primera observación llevó a determinar la presencia del Orden TRICHOPTERA, toda esta muestra fue volcada de forma inmediata a la pecera, la misma que había sido acondicionada de manera anticipada con agua adaptada al medio laboratorio y colocadas ciertas algas recogidas en el sitio del río.

#### MUESTRA CA 01-02

Raspado de rocas y algas.

Se observó al menos dos (2) unidades de la CLASE TURBELLARIA.

Luego del análisis se puede indicar que hay presencia de lo siguiente:

- Especie no determinada pero colocada en tubo con alcohol.
- Una del GRUPO (PHYLUM) NEMATOMORPHA, puesta en tubo con alcohol.
- Otras del ORDEN EPHEMEROPTERA, CLASE INSECTA, PHYLUM ARTHROPODA; se analizaron al menos tres (3) unidades y fueron puestas en tubo y alcohol por separado.
- De la CLASE TURBELLARIA, colocadas en tubo vial y con alcohol.
- Esta especie se la identificó como LARVA DIPTERA ANARANJADA, de igual forma se lo puso en tubo y alcohol.

#### MUESTRA CA 01-03 (MCR)

Esta muestra se tomó junto con sustrato, levantando rocas.

- Se encontraron al menos cinco (5) unidades del ORDEN TRICHOPTERA. Esta muestra se la conserva en el refrigerador

para ser analizada posteriormente. De igual forma otras se pusieron en tubo vial con alcohol.

#### MUESTRA CA 01-04

Se la denominó VARIOS, con el fin de verificar su diversidad.

Luego del análisis se puede indicar que hay presencia de:

- Especie no determinada pero colocada en alcohol.
- Esta muestra repite la misma población analizada en las anteriores muestras, lo que no significó un nuevo aporte en ORDEN o CLASE de macroinvertebrados. Por lo que toda esta muestra se puso en la pecera.

#### MUESTRA CA 01-05

En esta muestra se pudo identificar la presencia de:

- La CLASE TURBELLARIA (PLANARIAS) Y EPHEMEROPTERA; de aquí se separó unas unidades para ponerlas en tubo y con alcohol, mientras que otras fueron volcadas vivas al interior de la pecera.

#### CONTROL DE LA PESCERA: (miércoles 17-09-2014)

La revisión visual diaria de la pecera arroja los siguientes detalles:

OLOR: no existe mal olor.

COLOR: no hay cambios significativos en su coloración.

ESPECIES: se mantienen activas y vivas las especies que fueron colocadas, se advierte de aquellas que son visibles a simple vista.

A la semana siguiente 17/9/2014

- Se detecta aun presencia de especies vivas fundamentalmente de Planarias dos o tres Trichoptera juveniles. Un ejemplar de Hyalella ( sp cf *H azteca*) Clase Crustacea.



- Características físicas del agua:

Existe un ligero olor del agua con algo de turbidez y presencia de restos de plantas acuáticas ingeridas en el fondo.

Entonces se tiene un total de especies de 175, mientras que especies EPT un valor de 125; lo que me da un índice equivalente a de 0.73, equivalente al 73%, es decir, de una buena calidad.

Mientras que por la composición de macroinvertebrados que se observan, sobre todo turbellarias, lo que podría indicar una fuente natural (non point source) de nitratos o compuestos orgánicos que enriquecen el agua y posibilitan la presencia de organismos mesotróficos a esta elevada altura.

Entonces, la información obtenida tiende a generalizar ciertas deducciones que al final deberán ser concluidas de manera clara, por el momento sabemos que no hay evidencias que aporten para la existencia de fuentes puntuales (point source) y es posible que provengan de una fuente natural. (none point source) Handbook,EPA; 2008. (EPA, 2011)

Toda la información gráfica representativa de una parte de las muestras de especies de macroinvertebrados fueron observados con ayuda del microscopio y captadas sus características con una cámara fotográfica.

**Tabla 13 Variedad de macroinvertebrados encontrados en la cuenca alta del río Pita.**



**Ephemeroptera**



**Molusco – especie nueva**



**Turbellaria**



**Trichoptera**



**Diptera**



**Turbellaria**



**Diptera**



**Ephemeroptera**



**Ephemeroptera ampliada**



**Coleoptera**



**Ephemeroptera cabeza**



**Ephemeroptera cola**



**Coleoptera**



**Coleoptera**



**Diptera**



**Especie sin denominación**



**Coleoptera**



**Diptera**



Fuente: Correoso, Delgado & Medrano. 2015

### 3.2.4 LIMITES DE APLICACIÓN DEL WASP 7

Para realizar una aproximación técnica en el desarrollo de un TMDL, es necesario revisar una serie de factores que afectan en su elección al momento de tomar la decisión de utilizarlo.

Los factores que con más frecuencia deben ser tomados en cuenta por los usuarios, están en función de los siguientes aspectos: requerimientos o necesidades, consideraciones programáticas y necesidades técnicas.

Mientras las necesidades de los usuarios y las consideraciones programáticas con frecuencia guiarán a un tipo general de aproximación (ej. simple vs complejo, modelo vs no modelo), las consideraciones técnicas serán las que pesen fuertemente en la selección de una aproximación específica o metodología.

Así, las consideraciones técnicas definen las siguientes necesidades para el análisis del TMDL:

- La escala del espacio / resolución
- La resolución temporal / escala de tiempo
- Procesos o aspectos que necesitan ser incluidos (ej. tipo de contaminante, condiciones dinámicas del cuerpo de agua, transporte en el interior de la corriente)

La Tabla 14 Sumario de Consideraciones Técnicas para Seleccionar una aproximación en el desarrollo de un TMDL, resume las consideraciones relacionadas a cada una de las tres necesidades técnicas para la definición de tópicos sobre estándares de calidad del agua, contaminante y fuentes de contaminación; que también constituyen una respuesta a las interrogantes planteadas en cada uno de los factores de análisis para emprender en un TMDL.

**Tabla 14 Sumario de Consideraciones Técnicas para Seleccionar una aproximación en el desarrollo de un TMDL.**

Necesidades Técnicas de Aproximación	Consideraciones técnicas para la selección de una aproximación		
	Criterios de calidad del agua	Contaminante y consideraciones críticas	Fuentes
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Necesidades espaciales</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Son aplicables diferentes criterios en diversos sitios dentro de la cuenca hidrográfica?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cuál es la ubicación y distribución de segmentos contaminados?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Qué tipo de fuente/uso de suelo existe en la cuenca?</li> <li>▪ Cuál es la ubicación y distribución de las fuentes?</li> <li>▪ A qué nivel las fuentes necesitan ser aisladas (ej., carga bruta vs carga de uso específico del suelo)?</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Necesidades de escala y tiempo</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cuáles son la duración y frecuencia de los criterios aplicables?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cuál es el tiempo asociado con el contaminante (ej., efectos instantáneo vs crónico y acumulable)?</li> <li>▪ Hay alguna tendencia temporal para capturar (ej., condiciones estacionales en el cuerpo de agua)?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los impactos son debido a condiciones acumulativas o graves?</li> <li>▪ Hay variaciones temporales en las cargas de la fuente (ej., debido a patrones del tiempo atmosférico, actividades estacionales)?</li> <li>▪ A qué escala</li> </ul>

CONTINÚA 

		temporal las fuentes necesitan ser estimadas?
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Procesos a incluir</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El criterio está basado sobre los niveles de contaminante?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se encuentra WQC dependiente sobre o afectada por otra medidas de cuerpo de agua (ej., niveles de nutrientes, temperatura, pH)?</li> <li>▪ Cuáles son las condiciones críticas en el río para la carga?</li> <li>▪ Si se trabaja con múltiples contaminantes, cómo están relacionados entre ellos?</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cuál es el comportamiento de la carga de la fuente (ej., precipitación impulsada, descarga directa)?</li> <li>▪ Las fuentes impactan múltiples segmentos contaminados (ej., necesidad de enrutamiento y transporte dentro de la corriente)?</li> <li>▪ Los análisis necesitan evaluar individual y/o acumular impactos de la fuentes?</li> </ul>

Los criterios vertidos anteriormente son concluyentes en cuanto se refiere al aprovechamiento efectivo del modelo TMDL; el más importante de los aspectos es reconocer que este modelo es muy grande y variado en su aplicación, lo que requiere un gran dominio y conocimiento de la filosofía del mismo y por otro lado, la enorme cantidad de datos posibles de procesar. Por ello, la realidad en el uso de este modelo TMDL en el presente estudio es muy limitado, porque desde ya merece una inmediata decisión de continuar en el estudio y desarrollo del mismo, en beneficio del proceso investigativo para control, monitoreo y prevención de las cargas contaminantes sobre las cuencas hidrográficas en el país.

Sin embargo, se pueden adicionar las otras limitaciones de manera puntual, así:

- El modelo no maneja algunas variables y procesos: como procesos en zonas mezcladas, líquidos en fase no acuosa, segmentos secos, reacciones a la especiación de metales.
- Potencialmente grandes archivos externos de hidrodinámica.

- Módulos separados de eutrofización y destino de tóxicos.
- No puede ser corrido con facilidad en modo por lotes.

Finalmente, WASP es un sistema de modelamiento de gran complejidad variable; por ello, cuando se construye o planifica un modelo par un cuerpo de agua, esta complejidad debe ajustarse para que empate con el problema, así:

- Sistemas acuáticos más complejos.
- Sistemas químicos más complejos.
- Administración de preguntas más complejas.



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Índice de calidad de agua

Antes de llegar a la determinación de algún resultado, debemos considerar que los datos tomados son variados en cuanto a la época del año para la toma de los mismos; la ubicación de los sitios de monitoreo, es decir, a la cabecera en la naciente del río Pita y en la parte final del tramo denominado parte alta de la cuenca; finalmente, son datos únicos que no muestran series de datos, por lo que a futuro debe desarrollarse la observación y toma de datos de manera continua y con medios económicos, logísticos para profundizar en esta investigación.

El Índice de Calidad de Agua, una vez realizado los cálculos con los parámetros básicos disponibles. Alcanza un valor de 72,9 %, valor que comparado con la Tabla 3 Clasificación de los Índices de Calidad del Agua, se encuentra en el rango de  $< 70 - 75$ , cuya categoría, arroja un valor del índice calidad de agua equivalente a Regular.

Por lo expresado en los párrafos anteriores, nos demuestra una incongruente realidad del medio agua, ya que por un lado la escasez de datos o muy puntuales, generan una media estadística que incide en los cálculos al momento de aplicar la fórmula del Índice de Calidad de Agua; por otro, al comparar con los estándares de la Tabla 3, lo califica de Deficiente; aspecto que no concuerda con los esfuerzos realizados por autoridades municipales, de ambiente y otros en continuar con el uso y cuidado de esta parte de la cuenca del río Pita.

Más, todos sabemos que estas fuentes de agua naturales, son aquellas que luego de ser transportadas por largos recorridos y tratadas técnicamente, brindan el servicio de agua para el uso diario de la gente

fundamentalmente del Distrito Metropolitano de Quito, del Valle de los Chillos.

#### **4.2 Análisis de biodiversidad según el estudio de macro invertebrados bénticos**

En general, la presencia de vida en las aguas del río Pita, nos indican que estas especies pueden desarrollarse y mantenerse al menos por períodos relativamente largos, de hasta un año, por lo que se han escogido como indicadores de vida en los sistemas loticos, sean éstos ríos, pozas de agua, lagunas o lagos.

Sin embargo, la verificación de las especies indica que pueden haber sobrevivido o mutado conforme la variabilidad climática, flujo de grandes precipitaciones, estas últimas pudieron haber causado también la migración de otras especies y que solamente con el monitoreo permanente se podría establecer entre lo autóctono y las especies extrañas.

De igual forma se ha comentado en el capítulo anterior, que nuestro país no dispone de un Catálogo de Macroinvertebrados propio, lo que hace que seamos dependientes de otros catálogos pertenecientes a diversos países y/o regiones del mundo, que podrían ser acogidos como guía por su vecindad o bien por su contenido de especies estudiadas científicamente sea en Centro América o en los estados Unidos.

Del análisis de los resultados obtenidos de primera mano en el sitio y luego comprobados en el laboratorio, se establece que las especies corresponden en cada sitio de muestreo con frecuencia las especies denominadas ephemeropteras, plechopteras y trichopteras; como también se observó las especies: diphteras, que originan las moscas lo cual es una agua benigna, como también de las turbellarias, las mismas que fueron objeto de un seguimiento en el laboratorio por medio de la observación de la pecera.

Estas especies para efectos de este estudio no podría ser canalizado más allá de encontrar su clase y género, ya que no se trata de un estudio

biológico específico ni avanzado, tan solo tiene el alcance de poder relacionar las diferentes especies encontradas como un indicador de vida versus un índice de calidad de agua basado en el análisis físico químico del agua.

Esta última parte expresada de esa manera, nos impulsa de igual forma a proyectarnos en un inmediato futuro, a destinar esfuerzos para investigar cuál de los métodos convendría al país adoptarlos, bien sea inicialmente en beneficio del tiempo para poder obtener resultados y luego por los rendimientos económicos que los recursos asignados para la investigación deben dar; claro está que los mayores limitantes para nuestros intereses investigativos universitarios y nacionales están en la asignación económica para los diferentes proyectos y la explotación de los beneficios de los resultados obtenidos.

De esta forma, las especies encontradas, tienden a orientarnos que el mayor período de vida, alrededor de 32 días, aún en un medio acondicionado como es el ambiente de una pecera, la especie de la clase TURBELLARIA perduró con vida y que según los catálogos o guías de reconocimiento de macroinvertebrados, mencionan que su presencia denota que el agua tiene un cierto grado de contaminación lo que hace que esta especie pueda vivir y desarrollarse con relativa normalidad.

De esta manera, se puede considerar que por los factores de altura entre los 3200 y 3600 msnm, las condiciones de temperatura ambiente 17°C en comparación con la temperatura de la capa superficial de la corriente del río Pita 14,5°C, su flora lacustre fundamentalmente de macrofitas y otros, indican que la calidad de agua en este segmento es de regular a buena.

Si el reconocimiento y análisis del entorno de esta cuenca nos indica que no existe presencia grandes eventos provocados por industrias o grandes concentraciones de ganadería u otro tipo de actividad masiva (point source), de igual forma que el uso de la tierra es mínimo aunque presente áreas pequeñas de sembríos de altura, con excepción del ganado de

páramo o de lidia que se encuentran muy dispersos en el sector y en las alturas, éstos se mantienen alejados de las orillas del río Pita, salvo en determinados instantes no planificados que lo usan como abrevadero; esto nos orienta a pensar que la mayor fuente contaminación puede ser la provocada por eventos naturales (non point sources).

Las precipitaciones entonces, influyen sobre la corriente de este río en la forma de generar erosión de las laderas de las montañas circundantes Pasochoa, Sincholagua, Cotopaxi, encontrándose en ciertos períodos del año presencia de sedimentos sólidos o suspendidos con mayor intensidad; lo cual tiene relación con lo descrito en la parte anterior sobre la vida y presencia de los macroinvertebrados.

Por otro lado, al ser agua de corrientes de altura, y la presencia de oxígeno disuelto favorece también para que las especies puedan mantenerse al tener oxígeno para respirar. A ello hay que agregar que el agua es de color transparente o incoloro en la mayor parte del tiempo, cuanto que es una corriente cuyas aguas son golpeadas durante el transporte por su largo cause entre este segmento de cuenca alta, entonces esta agua no manifiesta mal olor.

La conductividad, en cambio nos indica que es una medida de la resistencia que opone el agua (u otro cuerpo) al paso de la corriente eléctrica a su través. La conductividad del agua está relacionada con la concentración de los sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la energía eléctrica. Como la solubilidad de las sales en el agua depende de la temperatura, evidentemente la conductividad varía con la temperatura del agua (en general, aumenta conforme aumenta la temperatura del agua). Para estandarizar la medición de la conductividad eléctrica se referencia a una temperatura de medida, generalmente a 20 ó a 25 °C. Para calcular la conductividad eléctrica a 20°C a partir de un dato a 25°C se utiliza un factor de conversión:  $CE_{20^{\circ}C} = CE_{25^{\circ}C} / 0,90$ . En las redes de control de aguas naturales se suele medir la conductividad a 20°C.

Por lo que a este parámetro se refiere, la conductividad hace referencia a la salinidad del agua que es menor a  $< 700$ , lo que significa que tiene una alta conductividad.

### 4.3 Simulación del modelo WASP 7

Se comenzará esta parte de la investigación, reconociendo la dificultad de aplicar el modelo en su verdadera dimensión; fundamentalmente porque su filosofía no reviste la determinación de tal o cual parámetro físico o químico, tampoco de evaluar las condiciones de los macroinvertebrados; sino más bien de valorar la cantidad de contaminantes que una corriente de agua (ríos) o red de ríos pueden llegar a asimilar sin que el nivel de estabilidad de calidad agua pierda la facultad de auto depurarse en su recorrido.

Por ello se introduce el concepto de análisis por segmentos de un río o de una red de ríos; se tiene además una característica peculiar en este modelo, que al definir escalas de tiempo para su análisis, el proceso de modelación del mismo pueda ser por periodos diarios, mensuales o anuales.

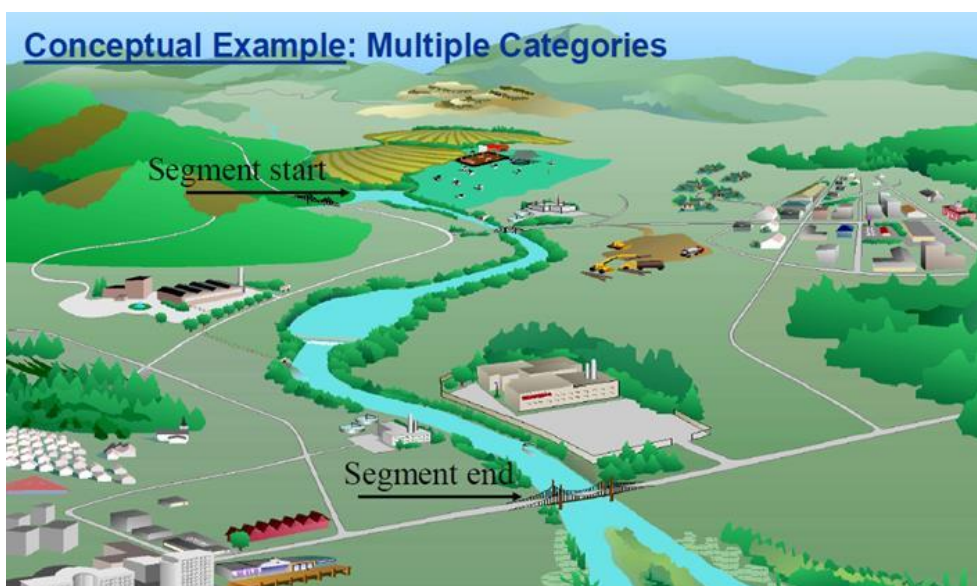


Figura 31 Determinación de segmentos de ríos

Fuente: Handbook, EPA 2008

Lo que corrobora una vez más que los estudios sobre las cuencas hidrográficas deben tener continuidad, tecnología para realizar los controles y monitoreos al menos de las cuencas más importantes y la secuencia de los datos cuanto las series tomadas de ellos determinarán finalmente el comportamiento de la cuenca y el éxito en la aplicación del modelo WASP.

De todas maneras se realizaron corridas del modelo con sendos datos los mismos que sirvieron para los análisis físico químicos del agua y que añadiendo a ellos otros como velocidad de la corriente, su caudal, los orígenes de las fuentes de contaminación sean provocadas por industrias o fuentes naturales, períodos de tiempo, y otros, nos permitan evidenciar la capacidad de carga que el río Pita tendría de acumular contaminante en sus aguas.

Indudablemente que debemos tener un estándar comparativo dado por el TULSMA, Libro VI, Acuerdo No. 061, que de igual forma se ha dicho son estándares muy generales sobre la medición que debe tener una fuente de agua natural para consumo humano, sin que esto llegue a determinar efectivamente la carga diaria que podría soportar esta corriente.

Esta es la parte más importante del tópico en análisis, y que por obvias razones será necesario retomar esta perspectiva de aplicación que redundará investigaciones profundas para las cuencas hidrográficas del país y que el gobierno de turno tiene en mente protegerlas con vehemencia.

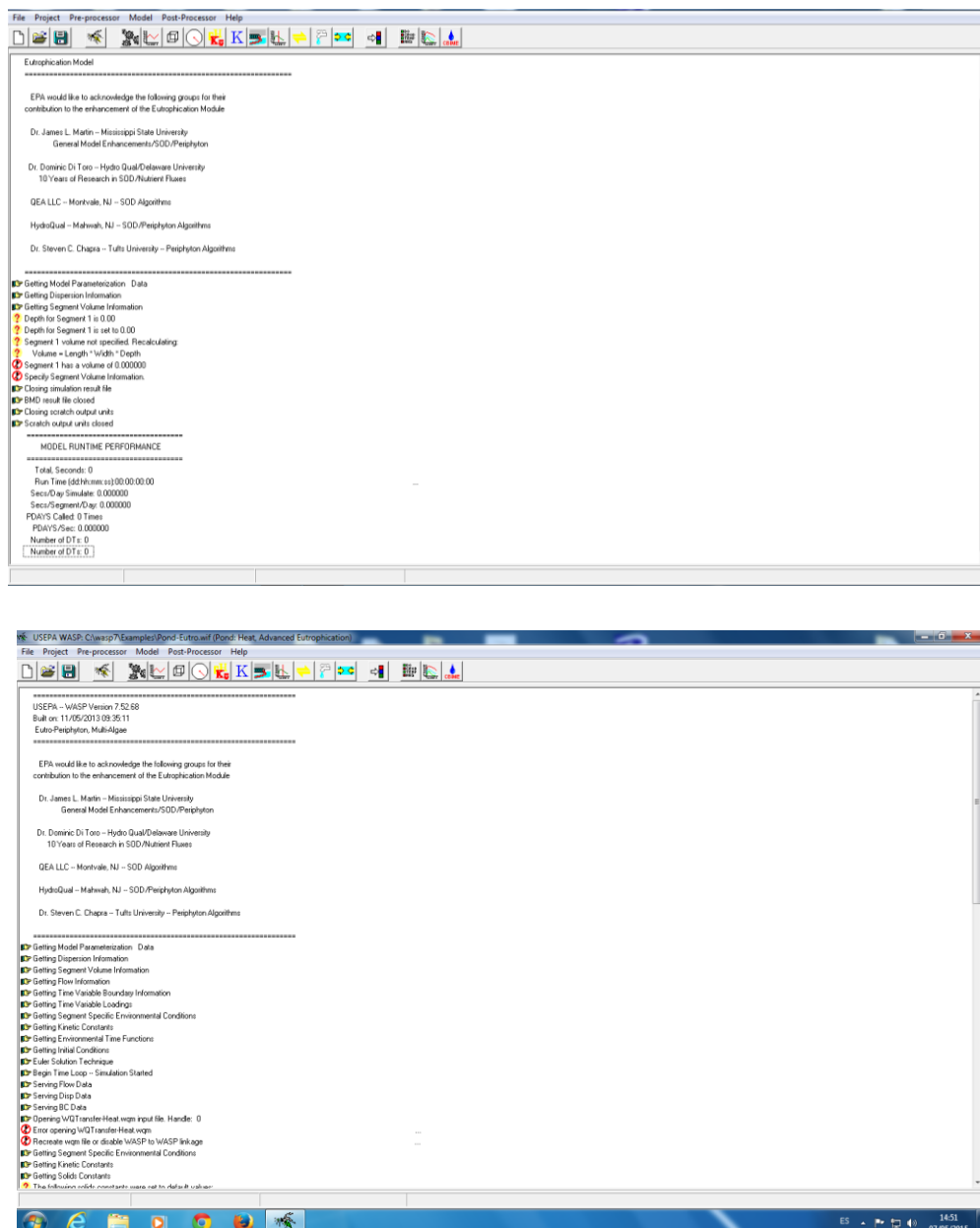
En la parte alta del río Pita hemos obtenido al menos 8 sitios y en la parte baja 5 sitios, los mismos que están contemplados entre los diferentes puntos de muestreo planificados. Al final tendremos una carga total máxima diaria que nos dirá si estamos o no dentro los límites permisibles.

Tabla 15 Comparativa de Resultados.

Parámetro	1m	2m	3m	prom		prom	TULAS	Análisis
<b>Color</b>	23	17	13	17.67			100	En rango
<b>Turbidez</b>	10	10	9	9.67			100	En rango
<b>ss</b>	7	8	8	7.67			1/100	
<b>Conductividad</b>	923	918	922	921		921.00		
	La Merced	Puente	Rio puente	cascada	Falso Inicio			
<b>st</b>	6009.52	10228.44	8999.31	8935.31	2020.31	7238.58	1600	Fuera de norma
<b>ss</b>	14	11	5	4	7	8.2	1	Fuera normanorma
<b>pH</b>	7.97	8.19	8.18	8.16	7.51	8.0	6.5 - 9	Al límite
<b>OD</b>	78	81	78	78	78	79.8	No < 80%	Al límite
<b>DQO</b>	10.0	18.0	13.0	7.0	9.0	11.4	250	
<b>Temperatura</b>	13.9	14.2	14.2	14.2	14.7	14.24	CN +3 máx 20	Normal

Fuente: Acuerdo No. 061, Libro VI TULSMA, Medrano, 2015

Entonces los resultados de las corridas del modelo, en función de las láminas que son posibles imprimir pero que por la falta de datos, unos muy específicos, no se los puede demostrar; sin embargo, las formas de salida física están representados en las láminas inferiores, cuyo formato revela los resultados obtenidos. Ver Figura 32



**Figura 32 Resultados de ejecución del modelo WASP.  
Fuente: WASP, EPA, Datos Medrano**



Con un esfuerzo adicional y con el objeto de tener resultados que puedan servir como referente del cálculo del TMDL, por medios convencionales, se pueden relacionar algunos elementos.

Entonces, se decidió determinar cuáles son los parámetros que reflejan afectación en el agua en los diferentes puntos en los que se tomaron las muestras; luego, analizar la prioridad de afectación en el medio, para en base a ello asignar pesos que me indicarán en la importancia de la contaminación.

La carga de contaminante que resulte de esta operación nos arrojará valores en mg/L, que siendo una unidad de masa estaría bien, pero como está sobre una unidad no específica de masa que es el litro entonces deberemos hacer reducciones de las mismas, hasta obtener solo en unidades de masa, es decir, en Kg.

Sin embargo, como se trata de encontrar estos valores de contaminación en función de la variabilidad del tiempo, es decir, en fracción de día (horas), día, semanas o meses; entonces, se debe tomar en cuenta el caudal del río en base a la velocidad en el segmento determinado; de esta manera se tiene:

**Tabla 16 Sumatoria de cargas asignadas no puntuales.**

	Peso	La Merced	PxLA	Puente Arriba	PxLA	Puente Abajo	PxLA	Cascada	PxLA	Falso Inicio	PxLA
		mg/l									
OD	4	7.6	30.4	8.1	32.4	7.9	31.6	9	36	9.1	36.4
DQO	3	10	30	13	39	7	21	9	27	18	54
ST	1	60.9	60.9	102.2	102.2	89.9	89.9	89.3	89.3	20.2	20.2
SS	1	14	14	11	11	5	5	4	4	7	7
	9		135.3		184.6		147.5		156.3		117.6
ΣLA			15		20		16		17		13

Fuente: Medrano V., 2015.

La sumatoria de asignaciones de fuentes no puntuales, tiene un valor de 81 mg/L; es decir, 0,000081 kg/L que bien pueden ser 0,081 kg/m<sup>3</sup>. Recuperando el caudal promedio de la corriente en el segmento que es igual

a  $2,58 \text{ m}^3/\text{s}$ , se tiene como resultado el valor de  $0,21 \text{ kg/s}$ , de acumulación de contaminante en un segundo.

Por la flexibilidad que da el software WASP, en el sentido de correr el mismo bien sea en horas, fracciones de día, día, semanas o meses, entonces se puede de manera general, pensar en aplicar para un día completo la proyección del evento en dicho segmento, obteniéndose la afectación en el sector alcanzando el valor de  $756 \text{ kg/h}$ , mientras que al día tendremos  $18144 \text{ kg/d}$ , significando con ello que esta concentración es arrastrada por la corriente superficial en el segmento.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- El tema de fondo se encuentra en la previsión de gestionar con agilidad la evidente escases de agua dulce en el inmediato futuro; motivo más que suficiente para reforzar los esfuerzos para controlar, monitorear y tomar acciones de remediación en las diferentes cuencas hidrográficas con fuentes de agua dulce y que nuestro país lo tiene en abundancia, pero que el desarrollo y el incremento poblacional tienden a agotarlas por el excesivo y mal manejo de este recurso.
- Lo anterior tuvo eco en los investigadores de nuestra Universidad, por lo que el tema presente se encuentra alineado con una de las líneas de investigación a cargo del Grupo de Investigación Enfoque, dirigido por la Magister Erika Murgueitio; de esta manera se pretende sumar en esta noble tarea que es el bienestar de la sociedad con la disponibilidad de agua con criterio de sostenibilidad.
- La idea de tomar como referencia el sector de estudio, en este caso, la cuenca alta del río Pita, tiene connotaciones en el orden situacional por encontrarse al interior del área de influencia de Universidad, tanto el Cantón Rumiñahui como el Cantón Mejía; el río Pita tiene su nacimiento entre el Sincholagua y el Cotopaxi, las dos elevaciones con incidencia de aporte de caudales de agua por sus deshielos; y, la más importante es que estas fuentes de agua continúan siendo una fuente vital de provisión de agua dulce para las actividades de los ciudadanos de los valles y del DMQ.
- De otro lado, las conversaciones mantenidas con la Universidad de Tennessee, en Knoxville, a través de conversaciones con la Dra. Carol Harden, Directora del Departamento de Geografía, propició el desarrollo de

una actividad de investigación conjunta para entre los Departamentos, quienes tres años atrás ya tenían la inquietud de acelerar y fundamentalmente reducir costos de las investigaciones, verificando que los estudios biológicos in situ mediante el estudio de los macroinvertebrados u organismos bénticos de los ríos disponían; señalando la posibilidad de aplicar modelos matemáticos para determinar las posibles cargas de contaminantes en los ríos de América y particularmente del Estado de Tennessee.

- Esta particularidad y coincidencia de hechos, dio espacio para formularnos los cuestionamientos básicos e iniciar un tema que reviste importancia, investigación y paciencia, tanto como el concurso de profesionales de varias disciplinas que orienten en sus campos, lo cual resultó beneficioso aunque un proceso extendido en el tiempo.

- La parte baja y media de la cuenca del río Pita, ha sido ya intervenida con estudios de mayor o menor alcance dada su trayectoria longitudinal que implica aguas abajo el paso por los valles evidenciando el deterioro o contaminación de tipo urbano. La parte alta, más bien ha sido objeto de inclusión en grandes estudios de las cuencas como la del Antisana, que por asociación se han determinado ciertas características propias a los ríos de altura.

- La presente tesis pretende abordar el tema desde tres puntos de vista: un estudio físico químico del agua para determinar el estado de la calidad del agua en este segmento del río, una aproximación a la identificación y análisis de los macroinvertebrados orientados a verificar si la presencia de los mismos pueden ser considerados, como ya se ha dicho, buenos indicadores de vida la calidad del agua; y por otro lado, tratar de aplicar el modelo de la EPA para determinar la carga total máxima diaria (TMDL) de contaminantes que una corriente de agua puede soportar sin que supere los niveles máximos de afectación a la calidad de la misma.

- La recolección de datos para análisis del agua y de macroinvertebrados se realizaron en los mismos sitios escogidos, es decir, tanto a la cabecera cuanto a los pies de lo que se consideró la cuenca alta del río Pita, en una longitud aproximada fue de 15 km.
- Las características del sector corresponden a un clima frío propio de un piso altitudinal entre los 3200 – 3600 msnm , con temperaturas promedio del ambiente de 15 – 17°C, vegetación de páramo cuyas especies predominantes son las macrofitas y microfitas aún en las riberas del río, presencia de erosión y residuos de material volcánico provenientes del volcán Cotopaxi, río de montaña con fondo o cama de constitución dura, arenosa en unas partes y fondo rocoso en otras, con presencia de rápidos frecuentes y pendiente moderada no mayor al 3%.
- El uso del suelo se caracteriza por pequeñas fincas o haciendas cuya producción es agrícola limitada a productos alimenticios como la papa, haba, cebada, maíz y vegetales zanahoria, ocas y otros.
- La presencia de actividad ganadera en grandes concentraciones no es posible observar en las inmediaciones del río, más bien existe la ganadería de lidia que su hábitat se remonta aún más en altura distribuyéndose en los amplios espacios del páramo.
- Tampoco se advierte la existencia de industrias establecidas que puedan significar amenaza para las aguas del río Pita; hay una escasa presencia de conglomerado humano con excepción de una comuna de 20 familias siendo su actividad básica la agricultura.
- El río brinda una riqueza natural relacionada con la existencia de peces, como la trucha, propios del lugar y que a pesar de la prohibición fanáticos de esta actividad lo realizan furtivamente. Hasta mediados del año pasado (2014) se constató la construcción de piscinas para cría de truchas aunque de manera muy limitada, actividad que al momento se ha detenido sin explicación.

- Los análisis realizados en el Laboratorio de Medio Ambiente del Departamento, relacionados con la parte físico química del agua, se realizaron con el objeto de obtener resultados bajo el método y concepto del Índice de Calidad del Agua (ICA); para lo cual intervinieron en la fórmula de cálculo los parámetros de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, sólidos totales, temperatura del agua y del ambiente, turbidez del agua, salinidad, conductividad. La instrumentación utilizada tuvo como base el uso de un multiparamétrico de marca HACH y otros auxiliares. El ICA dio como valor aproximado de 72,9% de confiabilidad el mismo que comparado al estándar de la Tabla de Bascarón, se sitúa en una calidad de regular con tendencia a buena.
- De igual forma se procedió para la recolección y análisis de muestras de macroinvertebrados, se tomó como base la recolección con malla Surber de 0,5 mm lo que posibilitó la obtención de especies importante. El método adoptado fue el EPT por considerar estas especies como las más representativas en cuanto a sensibilidad a los cambios de calidad de agua.
- Tanto estudio de la filosofía del modelo TMDL de la EPA, cuanto la fase de implementación con datos que se ajusten al mismo, han sido limitados en tiempo, debido a la gran capacidad de su funcionamiento, procesamiento y especificidad de sus datos y que no fueron posible alcanzar acumularlos. Sin embargo dada la versatilidad del mismo, en cuanto al alcance de procesamiento que indica que puede ser llevado sea para cálculo de períodos diurnos (horas), diarios, mensuales y anuales; entonces al menos se procuró modelar para el primer caso es decir, período diurno lo que finalmente alcanza un valor promedio de 18444 kg/día, si comparamos con el caudal del lecho del río en promedio 2,58 m<sup>3</sup>/s, entonces la carga se manifiesta no significativa.
- Lo anterior se debe entender en base a la fórmula de TMDL que dice que lo que se debe obtener es el valor correspondiente a la sumatoria de las cargas no puntuales exclusivamente provenientes de eventos naturales, más un margen de seguridad. Así:  $TMDL = \sum WLA + \sum LA + MOS$ .

- Inicialmente debemos considerar los estándares dados por la EPA en la 303(d) Lista de ríos contaminados, emitido por la CFR, en razón de que nosotros no tenemos implementados estos valores; otro factor que ha impedido personalizar en el contexto país cuál sería el resultado de esta afectación.
- Las actividades desarrolladas para los análisis físico químico del agua requieren mayor inversión, en base al uso de instrumentos, instalaciones y reactivos que implican un rubro económico significativo; mientras que aquellas desarrolladas para la recolección de especies de macroinvertebrados, requieren del conocimiento y experiencia del especialista.
- El modelo TMDL requiere la implementación de redes para la captura de datos en tiempo real, de la colección de series de datos provenientes de las estaciones de monitoreo, de centros de almacenamiento de datos y equipamiento para procesamiento adecuado.
- Se puede, de manera general, indicar que el presente estudio concluye manifestando que:
  - Por los resultados de análisis físico químico del agua, ésta se encuentra en un rango de regular a buena.
  - La presencia de especies del orden EPT sobreviven en el medio porque la calidad de la misma lo permite, como el suficiente OD y la temperatura apropiada.
  - Los resultados del TMDL son bajos en valor en masa, porque no hay manifiesta actividad extensiva agrícola ganadera como tampoco de industrias que aporten contaminación.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Fortalecer e incrementar las actividades al interior del Grupo de Investigación, con la finalidad de establecer vínculos comunicacionales con la Universidad de Tennessee u otras universidades, que permitan la transferencia de experiencia y conocimiento en el manejo de las cuencas hidrográficas para nuestro país.
- Propiciar la continuidad de las investigaciones en la aplicación del modelo TMDL, por considerar su versatilidad e integración con otros modelos como el WASP 7, QUAL2K propuestos por la EPA y que no revisten inversión económica.
- Implementar una Comisión de Estudio para iniciar la actividad de elaborar una lista de ríos con aguas contaminadas así como los respectivos estándares de cumplimiento, tal cual lo manifiesta el Acta de Agua Limpia de 1972, Sección 303 Lista de Ríos Contaminados, aplicables en cada uno de los estados de Norteamérica.
- Trascender el pedido de las necesidades económicas de investigación, de tiempo disponible para esta actividad, asignación de profesionales y estudiantes de grado y pregrado tanto como de especialistas que puedan ejercer convencimiento e influencia en autoridades, fundamentalmente a aquellas vinculadas con la decisión, como las de gobierno.



## Bibliografía

- American Public Health Association. (1998). Standard Methods. *Examination of water and waste water*. Mary Ann Franson.
- Asamblea Nacional. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Portoviejo, Manabí, Ecuador.
- Barbour, M. e. (1999). EPA. Retrieved from <http://water.epa.gov/scitech/monitoring/rsl/bioassessment/ch02main.cfm#Section 2.3.1>
- Carrera, G. (2011). Macroinvertebrados (capítulo). *Tesis*. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA, Turrialba, Costa Rica 2007. (2007). *Scribd*. Retrieved from <http://es.scribd.com/doc/210173158/Descripcion-general-de-cuencas#scribd>
- De Bievre, B., & Coello, X. (2008). *Diagnóstico del Balance entre Oferta y Demanda Hídrica, Proyecto Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en la Hoya de Quito*. UINC- Sur, Ecuador. Quito: BID-FONAG.
- EPA. (1999). Retrieved from <http://water.epa.gov/scitech/monitoring/rsl/bioassessment/>
- EPA. (2008). *Clean Water Act*. Retrieved from <http://yosemite.epa.gov/r10/water.nsf/tmdls/cwa+303d+list>
- EPA. (2008). EPA. Retrieved from <http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/wasp.html>
- EPA. (2011). EPA. Retrieved from <http://www2.epa.gov/nutrient-policy-data/technical-guidance-manual-performing-waste-load-allocations-books>
- FONAG. (2011). Diseño de la Red de Monitoreo Hidrológico en las Microcuencas de los ríos Pita, San Pedro, Papallacta y Antisana. Quito, EC. 153p. *Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales (PRAA)*. Quito, Pichincha, Ecuador: Fondo para la Protección del agua, FONAG.
- Giacometti, J., & Bersosa, F. (2006). *Repositorio ESPE*. Retrieved from [http://www.espe.edu.ec/portal/files/E-RevSerZoologicaNo2/BolTec6SerZool%282%29/GiamettiyBersosa\\_33.pdf](http://www.espe.edu.ec/portal/files/E-RevSerZoologicaNo2/BolTec6SerZool%282%29/GiamettiyBersosa_33.pdf)

- Harden, C. (2010). *Desarrollo de Proyectos*. Knoxville, USA.
- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Prentice Hall.
- Jácome, F. (2009, Diciembre 10). Guía Interpretativa del Parque Nacional Cotopaxi. Quito, Pichincha, Ecuador: Ministerio de Turismo.
- Mackenzie, & Masten, S. (2005). *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. USA: McGraw Hil.
- Ministerio de Ambiente. (2015, Mayo 04). Acuerdo No. 031 Reforma del Libro VI del texto Unificado de Legislación Secundaria. Quito, Pichincha, Ecuador: Corporación de Estudios y Publicaciones.
- Office of the Secretary. (2013). *Kansas, Department of Health and Environment*. Retrieved from <http://www.kdheks.gov/>
- Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos. (2004). Evaluación de Recursos Hidroenergéticos. Lima, Perú.
- Reyes, X., Silva, M., & Balarezo, A. (2012, Julio). Diagnóstico Ambiental y Criterios para el Diseño de la red Metropolitana de la Calidad del Recurso Agua en el Distrito Metropolitano de Quito. *Tesis de Grado*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. COLCIENCIAS.
- Secretaría General de la Comunidad Andina, M. d. (2011). Diseño de la Red de Monitoreo Hidrológico en las Microcuencas de los ríos Pita, San Pedro, Papallacta y Antisana . *Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales*. Quito, pichincha, Ecuador: NEWVI Integral Solutions Cía. Ltda.
- Statzner, B., & Higler, B. (1985). *Oregon State University*. Retrieved from <http://oregonstate.edu/instruct/fw580/pdf/3.%20River%20Continuum%20Critique.pdf>
- Taylor & Francis. (2011, septiembre). *Ohio State University*. Retrieved from <http://www.utt Tyler.edu/biology/research/williams/Holmes%20et%20al%20%20JFE%202011.pdf>
- Vannote, R. (n.d.). *Docsetools*. Retrieved from [http://docsetools.com/articulos-noticias-consejos/article\\_135900.html](http://docsetools.com/articulos-noticias-consejos/article_135900.html)

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### Datos procesados en laboratorio

FECHA: 08-11-13

LUGAR: LABORATORIO MA

#### 1. MEDICIÓN DE PARÁMETRO COLOR (MÉTODO PL-Co-APHA)

MUESTRA	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
1M	23	Pt-Co	
2M	17	Pt-Co	
3M	13	Pt-Co	

#### 2. MEDICIÓN DE PARÁMETRO TURBIDEZ

MUESTRA	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
1M	10	FAU	
2M	10	FAU	
3M	9	FAU	

#### 3. MEDICIÓN DE PARÁMETRO SÓLIDOS SUSPENDIDOS

MUESTRA	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
1M	7	mg/L	
2M	8	mg/L	
3M	8	mg/L	

#### 4. MEDICIÓN DE PARÁMETRO conductividad (20.9 C; 930 us/cm; calibración con Cl Na)

MUESTRA	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
1M	923	μS/cm	
2M	918	μS/cm	
3M	922	μS/cm	

Ahora se procede con los datos de sólidos totales:

## 1. TOMA DE PESO DE FILTRO (ANTES DE UTILIZAR)

FILTRO	PESO	UNIDAD	OBSERVACIONES
F1	0.0776	g	
F2	0.0772	g	
F3	0.0789	g	

## 2. PESO DE LOS CRISOLES (SIN HUMEDAD)

CRISOL	PESO	UNIDAD	OBSERVACIONES
C1	108.9940	g	(Señal 2)
C2	64.7670	g	(Señal 5)
C3	97.2594	g	(Señal 6)

FECHA: 15-11-13

LUGAR: LABORATORIO MA

## 1. PESO DE LOS FILTROS CON SOLIDOS (SECOS)

FILTRO	PESO	UNIDAD	OBSERVACIONES
F1	0.0780	g	
F2	0.0773	g	
F3	0.0792	g	

## 2. PESO DE CRISOLES CON SOLIDOS

CRISOL	PESO	UNIDAD	OBSERVACIONES
C1	108.9920	g	(Señal 2)
C2	64.7672	g	(Señal 5)
C3	97.2596	g	(Señal 6)

Resumen:

FILTRO	PESO INICIAL	PESO FINAL	PESO SÓLIDO (g)
F1	0.0776	0.0780	0.0004
F2	0.0772	0.0773	0.0001
F3	0.0789	0.0792	0.0003

CRISOLES	PESO INICIAL	PESO FINAL	PESO SÓLIDO (g)
C1	108.9920	108.9940	0.0020
C2	64.7670	64.7672	0.0002
C3	97.2594	97.2596	0.0002

## DATOS TOMADOS EN LA CABECERA DEL RIO PITA

INSTRUMENTAL: HACH Portable Meter

MODELO: HQ30d

Punto Muestreo	pH	Temperatura (°C)	Salinidad (%)	Conductividad (mV)* (uS/cm)	OD (Mg/L)
8 – M21	8.67	13.9		-91.5*	
9 – M20	8.61	14.2		-88.6*	
10 – M19	8.61	14.2		-88.7*	
11 – M18	8.62	14.2		-88.7*	
12 – M17	8.71	14.7		-94.3*	
13 – M16	8.66	14.9		-91.6*	
14 – M15	8.66	15.0		-91.6*	
<b>Método de calibración de fábrica</b>					
<b>Ajustes:</b>					
Pendiente: 101%					
Offset: 0.00 mg /L					
Patrón de calibración: Desconocido					
20 – M09		20.3	100.7		5.79
21 – M08		17.2		540	
22 – M07		18.4		156.5	
<b>Método de Conductividad</b>					
<b>Ajustes: NaCl / no lineal</b>					
Temperatura Referencia: 25°C					
K = 0.392 cm <sup>-1</sup>					
<b>Patrón de calibración</b>					
1	1000 uS/cm	894 uS/cm	19.7°C		
23 – M06		21.8		869	
24 – M05	7.51	16.5		-27.9*	
25 – M04	8.33	15.8		-73.6*	
26 – M03	4.00	19.9		170.6*	
<b>Método de calibración de fábrica</b>					
<b>Ajustes:</b>					
Pendiente: 101%					
Offset: 0.00 mg /L					
Patrón de calibración: Desconocido					
27 – M02	4.01	19.8		169.8*	

CONTINÚA 

<b>Método por defecto</b>			
<b>Ajustes:</b>			
Pendiente: -57.53			
mV/pH = 97%			
Offset: 0.8 mV			
$i^2 = 1.0000$			
<b>Patrón de calibración:</b>			
1	4.01 pH	169.2 mV	20.7 °C
2	7.50 pH	169.2 mV	20.7 °C
3	10.01 pH	-174.1 mV	20.7 °C
<b>28 – M01</b>		585	25.1
			124.6*

Fuente: Medrano V. 2015

Procedimientos:

### **Sólidos Totales.**

- Se tomará un volumen de muestra conocida (~ 50 ml), previamente homogeneizada por agitación, en un crisol de porcelana previamente secado a 105°C y tarado, hasta que el peso se mantenga constante.
- Posteriormente se introduce la muestra en una estufa a 105°C, hasta evaporar totalmente el agua.
- La muestra, una vez evaporada toda su agua se saca de la estufa y se introduce en un desecador para enfriarla. Una vez enfriada se pesa, hasta conseguir un peso constante.

En todo momento se debe tener cuidado y no tocar el crisol directamente con las manos, para ello se aconseja utilizar las pinzas disponibles.

- El contenido en Sólidos Totales se calcula a partir de la siguiente expresión:

### **Fórmula 7 Cálculo de Sólidos Totales.**

$$ST\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{P_f - P_i}{V} \times 1000 \times 1000$$

Dónde:

ST: sólidos totales

$P_f$ : peso del recipiente después de evaporar el agua, en g.

$P_i$ : peso del recipiente antes de añadir la muestra de agua, en g.

V: volumen de la muestra en litros.

### **Sólidos en suspensión.**

a. La muestra se agitará fuertemente hasta lograr su homogeneización.

b. Coger un filtro de análisis de sólidos y colocarlo en un crisol de porcelana.

c. El conjunto se introducirá en una estufa a 105°C durante dos horas. Una vez pasadas las dos horas se sacará el filtro con el crisol de porcelana y se enfriará en el desecador.

d. El filtro con el crisol una vez enfriado se pesará hasta conseguir un peso constante.

e. Seguidamente se filtra un volumen conocido (V) de la misma, utilizando para ello un equipo de filtración, constituido por un matraz de recepción del líquido filtrado, un porta filtros para colocar el filtro y un embudo de filtración donde se adicionará la muestra. El equipo de filtración se conectará a una bomba de vacío. El filtro utilizado para este análisis se caracteriza por presentar dos superficies bien diferenciadas, una más rugosa que será la que se colocará encima del porta filtro.

f. Una vez filtrada la muestra se recogerá el filtro y se colocara en el crisol de porcelana.

g. El filtro utilizado anteriormente será secado a 105°C durante 1 h



h. Posteriormente se deja enfriar en el desecador y se pesa, hasta conseguir peso constante. Si el depósito sobre el filtro es inferior a 2,5 mg/l se filtrará un volumen mayor.

i. El contenido en sólidos en suspensión se calcula a partir de la siguiente expresión:

**Fórmula 8 Cálculo de Sólidos Suspendidos.**

$$SS\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{W_f - W_i}{V} \times 1000 \times 1000$$

Dónde:

$W_f$ : peso del filtro-vidrio después de evaporar el agua, en mg.

$W_i$ : peso del filtro-vidrio antes de añadir la muestra, en mg.

$V$ : volumen de muestra, en litros.

## ANEXO 2

### Cálculo del caudal.

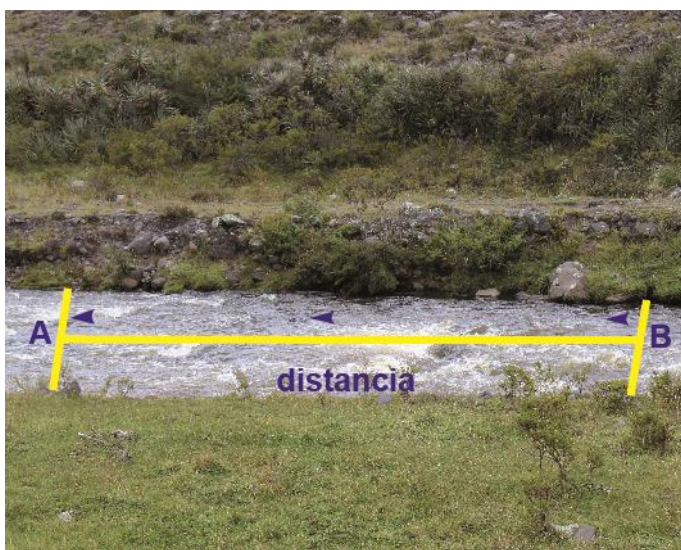
Es recomendable realizar las mediciones del caudal del río, caño, quebrada o manantial en diferentes épocas para tener registros de los valores mínimos, máximos e intermedios y conocer más de cerca el comportamiento de la fuente en diferentes épocas. Es importante, además, establecer la “historia” de la fuente, en lo posible, por medio del diálogo con los vecinos de la localidad, o también, por datos de organismos especializados: INHAMI, por ejemplo.

Para efectuar la valoración del caudal a nivel local, cuando no se dispone de equipos de precisión, ni se considera pertinente su uso, es conveniente utilizar el método del flotador. (Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos, 2004)

Medición del caudal por el método del flotador:

En este método, de igual manera, se utilizan los valores promedio de las variables determinadas. Para adelantar los procedimientos se requieren los siguientes materiales y equipos:

- Un objeto flotante, puede ser una bola de ping pong, una botella plástica pequeña, una rama, un trozo de madera que flote libremente en el agua.
  - Un reloj o cronómetro.
  - Un decámetro o cinta medidora.
  - Una regla o tabla de madera graduada.
- a. Primer paso. Seleccionar el lugar adecuado. Se selecciona en el río un tramo uniforme, sin piedras grandes, ni troncos de árboles, en el que el agua fluya libremente, sin turbulencias, ni impedimentos.



**Figura 33 Lugar adecuado para medición de caudal por el método del flotador.**

**Fuente: Medrano, 2015.**

b. Segundo paso. Medición de la velocidad.

En el tramo seleccionado ubicar dos puntos, A (de inicio) y B (de llegada) y medir la distancia (cualquier medida), preferiblemente del orden de los 10 metros. Una persona se ubica en el punto A con el flotador y otra en el punto B con el reloj o cronómetro. Se medirá el tiempo de recorrido del flotador del punto A al punto B. Se recomienda realizar un mínimo de 3 mediciones y calcular el promedio. La velocidad de la corriente de agua del río se calcula con base en la siguiente ecuación:

**Fórmula 9 Cálculo de la velocidad del flotador.**

$$v = \frac{d_{A-B}}{t}$$

Dónde:

v      velocidad

d      distancia entre los puntos

t      tiempo

- c. Tercer paso. Medición del área de la sección transversal del río.

En el tramo seleccionado, ubicar la sección o el ancho del río que presente las condiciones promedio y en la que se facilite la medición del área transversal. Un método práctico, con aceptable aproximación para calcular el área transversal, es tomar la altura promedio. Esto consiste en dividir el ancho del río, en, por lo menos, tres partes y medir la profundidad en cada punto para luego calcular el promedio.

Una vez se ha determinado el valor promedio de la profundidad, se procede a realizar la medición del ancho,  $A_r$ , del río. Supongamos que para nuestro ejemplo, ese valor fue de 2,4 m., de conformidad con lo presentado anteriormente. El área de la sección transversal AT del río se calcula con base en la siguiente ecuación:

**Fórmula 10 Cálculo del área transversal.**

$$AT = a \times p_p$$

En la que:

AT    área transversal

a     ancho del río

$p_p$     Profundidad en promedio

Para nuestro ejemplo, el área de la sección transversal es igual a:

$$AT = 2,4 \times 0,22 = 0,53\text{m}$$

- d. Cuarto paso. Cálculo del Caudal del río.

Con los datos obtenidos se procede a calcular el caudal del río, QR, con base en la siguiente ecuación:

**Fórmula 11 Cálculo del caudal del río.**

$$Q_r = v \times AT$$

Dónde:

$Q_r$  Caudal del río

$v$  velocidad

$AT$  área transversal

$Q_r$  (m<sup>3</sup>/s) = 1,5 (m/s) x 0,53 (m<sup>2</sup>) = 0,795 m<sup>3</sup>/s o igual, Q = 795l/s, en razón que 1 m<sup>3</sup> es igual a 1000 litros.

### **ANEXO 3**

INFORME DE LA SALIDA DE CAMPO PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN SOBRE MACROINVERTEBRADOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO PITA.

FECHA: 09-09-14

GRUPO DE TRABAJO:

ING. VÍCTOR MEDRANO M.

DR. MODESTO CORREOSO (ASESOR - ESPECIALISTA)

PLAN DE VIAJE:

1. 08:30 Salida de la ESPE
2. 09:30 Llegada al punto más alto de la zona del río Pita para recolectar información.
3. 10:00 Inicio de actividades de recolección de datos.
4. 13:00 Fin de actividades relacionadas con la toma de datos.
5. Almuerzo (lunch)
6. 14:00 Recorrido de los otros puntos de muestreo, río abajo dentro del área de estudio.
7. 14:30 Retorno a la Universidad.
8. 16:00 Inicio de actividades en el laboratorio: análisis general e inicial de las muestras tomadas.
9. 19:05 Fin de la jornada de trabajo.

DESARROLLO:

1. Organización previa:

Instrumentos utilizados en campo:

- Medidor de Conductividad
- Medidor de pH
- Termómetro

- Gps
- Pinzas
- Frascos recolectores de muestras
- Balde y jarra
- Soga
- Alcohol y agua destilada
- Etiquetas y marcadores
- Hojas de trabajo y formularios para toma de datos.
- Cooler
- Pecera
- Fundas zip-lock
- Bandeja fondo blanco

Instrumentos a ser utilizados en laboratorio:

- Microscopio estereoscópico (3X)

Ropa adecuada para el trabajo y protección para el frío.



**Figura 34** Recolección de muestras con malla

**Fuente:** Medrano, 2015

COORDENADAS GPS-UTM:

786053, 9948031

ALTURA:

3562 m

HORA INICIO: 11:30

HORA FINAL: 13:15

Al llegar al sitio indicado, se procedió a identificar el lugar más adecuado; para lo cual se determinó establecer una codificación a las muestras a ser tomadas, codificación que se materializa en las etiquetas de los envases que recogen las muestras.



**Figura 35 Etiquetado de frascos**

**Fuente Medrano 2015**



**Figura 36 Rotulación**

**Fuente C. Carrera 94**



Así, se estableció la siguiente nomenclatura de identificación:

- CA, es el equivalente de Cuenca Alta
- 01 es la estación de muestreo #1
- 01 es el número de la muestra dentro del área a ser muestreada, considerando que se tomaría al uno y otro lado de las márgenes del río. En esta ocasión se limitó la recogida de muestras a una sola orilla.

Para facilidad se utilizó un formato de toma de datos, adjunto al presente estudio; el formato fue llenado con información en la que consta lo siguiente:

- Nombre del Proyecto
- Fecha
- Ubicación (nombre del sitio)
- Nombre/código de la estación de muestreo
- Altura
- Tiempo
- Temperatura
- pH
- Conductividad
- Características del sitio
- Velocidad
- Sección transversal del río
- Profundidad del río
- Descripción Fauna y flora
- Coordenadas UTM
- Descripción ambiental
- Sustrato tipo
- Tipo de red
- Turbidez
- Otros datos (mediciones)

Con el instrumental y materiales disponibles, se procedió de la siguiente manera:

Sobre el sitio escogido se trazó un área de aproximadamente 10m L x 5m A, esta última medida corresponde al ancho del río en ese sitio; con esto se consigue que se establezcan al menos 4 puntos de muestreo dentro de esa área, pudiendo llegar a 6 puntos si muestreamos el río en la parte central del mismo.

El método incluye la toma de datos tanto de la una orilla como de la otra, en este caso en la parte más alta del segmento del Río Pita; de igual forma se analizó el método para la manipulación y recolección de las muestras, es decir, recogiendo el agua en una jarra o balde, reconociendo el tipo de sustrato en los que se encuentran las especies, como removiendo piedras, raspando o pateando el fondo del cauce en busca del mejor hábitat para los macroinvertebrados y el uso de mallas de mano apropiadas; por lo que se requirió de un tiempo mayor al estimado en cada estación.

El tipo de sustrato en este sitio tiene la característica de pertenecer a aguas corrientes poco profundas con arena y piedras. Se trató en este caso de obtener una muestra con fines de investigación cualitativa fundamentalmente.

De esta forma se recolectó bentos de debajo de las piedras o rocas, aquellos que forman parte de algas con una variedad extensa, siendo estas últimas recolectadas tal cual están en el sitio, en razón de alimentar una pecera, cuya finalidad es realizar un estudio en el laboratorio y seguimiento en vivo de los macroinvertebrados recolectados.

Así, se consideró que el sitio a ser muestreado sea el CA-01, en este sitio distanciado 15 m en dirección al norte, se observa un puente sobre el río Pita; ubicados sobre la orilla occidental se tomaron 5 muestras bajo diferentes modalidades explicadas en párrafos anteriores; de las cuales se pudo identificar la presencia de flora denominadas macrofitas y microfitas;

mientras que en relación a la fauna, de forma general e inicial se pudieron apreciar bentos que pertenecen al grupo de los:

- Platyhelminthes
- Nematomorpha
- Arthropoda (Orden, Familia )
- Mollusca (Gastropodo)

## ANEXO 4

### 4.1.2 Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico

**Tabla 17 Aguas de consumo humano**

TABLA 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Color	Color real	Unidades de color	100
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l
Sólidos disueltos totales		mg/l	1000
Temperatura		°C	Condición natural 0 – 3 grados
Turbiedad		UTN	100

Fuente: Acuerdo No. 061, Libro VI TULSMA, 2015

**Tabla 18**  
**Criterios de Calidad**

TABLA 3. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible	Agua fría dulce
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l	
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 - 9	
Temperatura		°C	Condiciones naturales +3 Máxima 20	

Fuente: Acuerdo No. 061, Libro VI TULSMA, 2015

**4.2.3.7** Toda descarga a un cuerpo de **agua dulce**, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación (ver tabla 12).

**Tabla 19 Límites de descarga**

TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

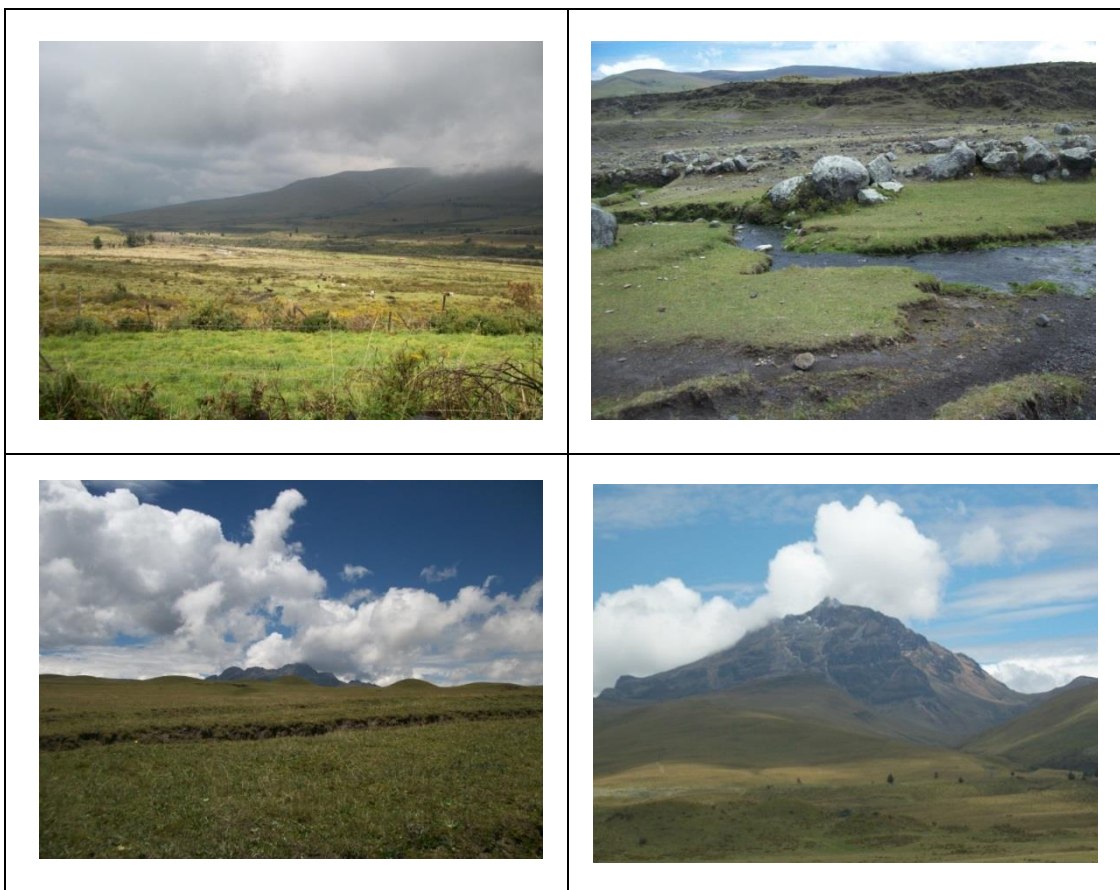
<b>Demanda Química de oxígeno</b>	DQO	mg/l	250
<b>Potencial de hidrógeno</b>	pH		5 - 9
<b>Sólidos sedimentables</b>		mg/l	1.0
<b>Sólidos suspendidos totales</b>		mg/l	100
<b>Sólidos totales</b>		mg/l	1600
<b>Temperatura</b>		°C	< 35

Fuente: Acuerdo No. 061, Libro VI TULSMA, 2015

## ANEXO 5

### RECOPIACIÓN FOTOGRÁFICA

Paisajística del entorno de la cuenca alta del río Pita

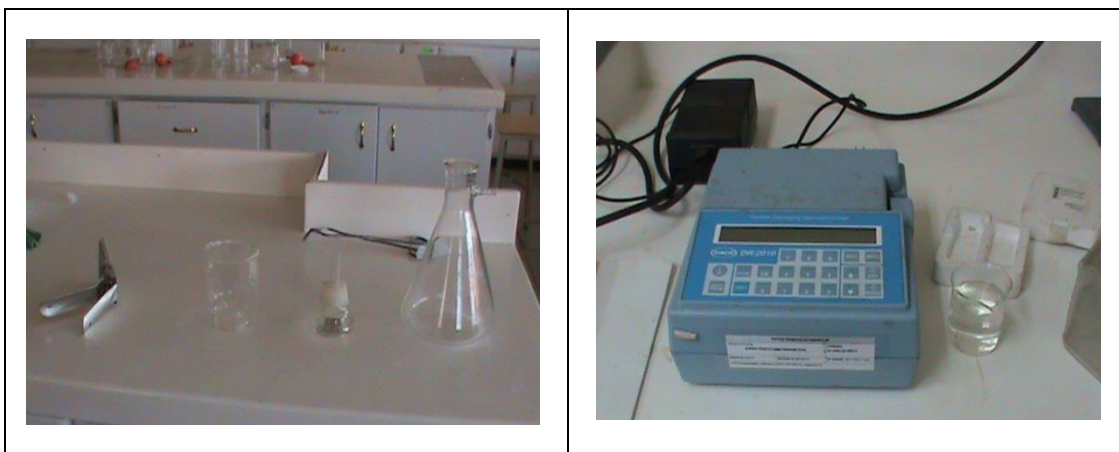


**Actividades de campo, toma de muestras, lectura de datos y otros**

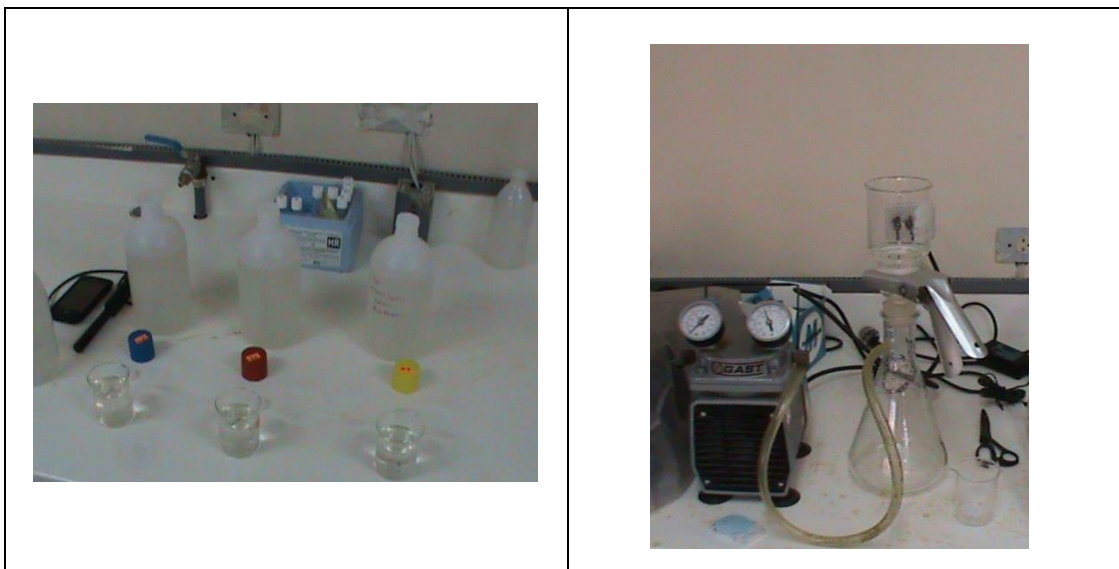




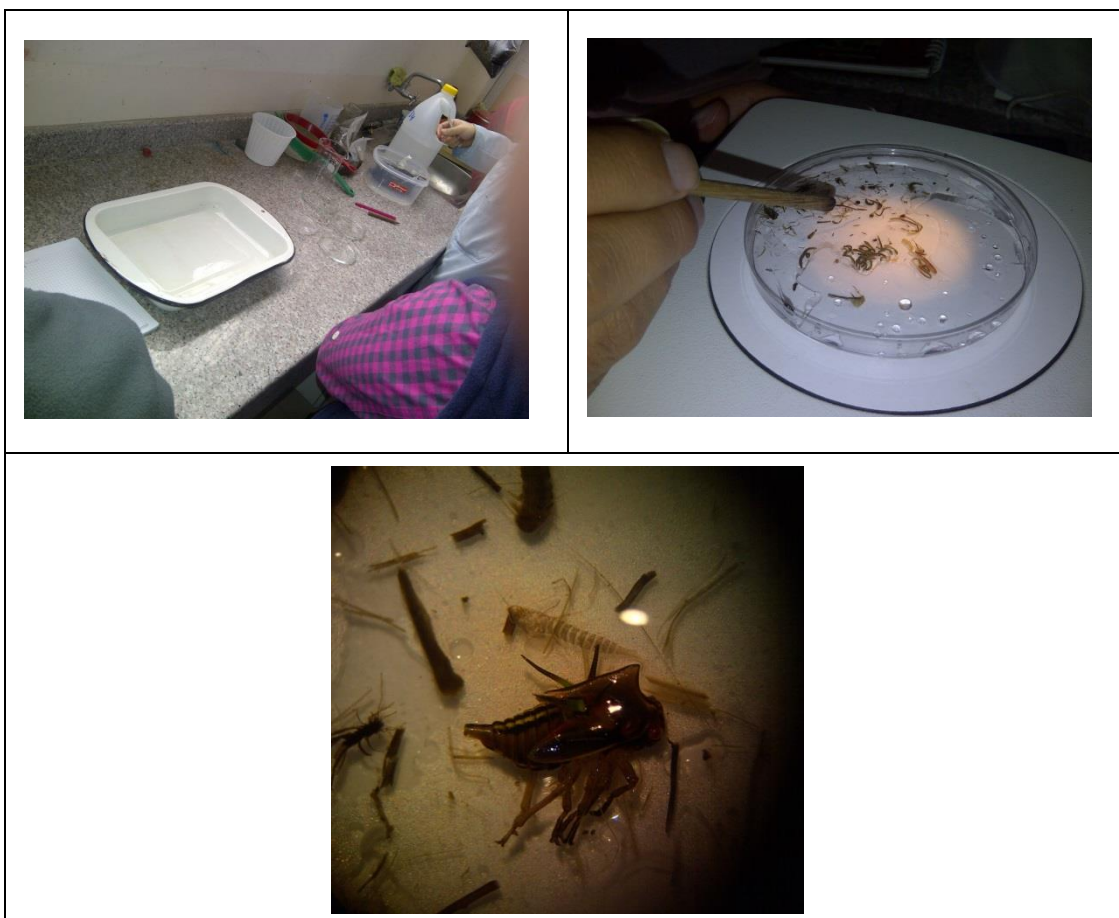
**Actividades varias en laboratorio para análisis físico químico.**



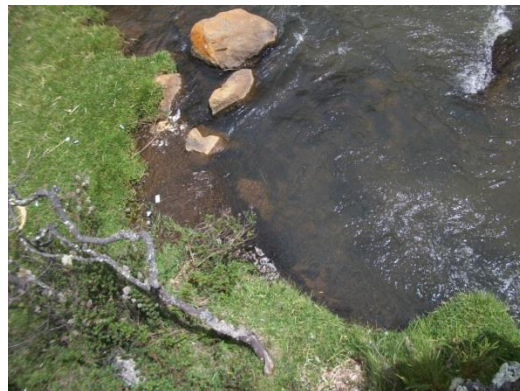




**Actividades varias en laboratorio para macroinvertebrados.**



**Posibles fuentes de contaminación**



**Paisajes naturales**

