

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**INSTITUTO DE POSTGRADO**

**MAESTRIA EN GESTION SUSTENTABLE DE  
RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO**

**CORRESPONDENCIA ENTRE INDICADORES FÍSICO-  
QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA EL MONITOREO  
SISTEMÁTICO DE LA CONTAMINACIÓN EN EL RÍO  
TAHUANDO**

**Autor: Jorge Arturo Castro Morillo**

**Ibarra – Ecuador**

**2015 – 2016**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
INSTITUTO DE POSTGRADO**

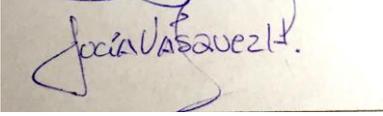
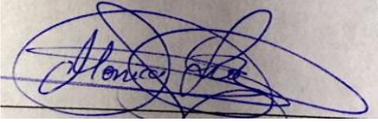
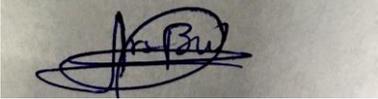
**MAESTRIA EN GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES**

**CORRESPONDENCIA ENTRE INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS Y  
BIOLÓGICOS PARA EL MONITOREO SISTEMÁTICO DE LA  
CONTAMINACIÓN EN EL RÍO TAHUANDO**

Tesis revisada por los miembros del tribunal, por lo cual se autoriza su presentación  
como requisito parcial para obtener el título de:

**MAGISTER EN GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES**

**APROBADO:**

<b>Ing. Jorge Arturo Castro Morillo</b>	
<b>Mgst. Galo Pabón DIRECTOR DE TESIS</b>	
<b>Mgst. Lucía Vasquez MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	
<b>Mgst. Mónica León MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	
<b>Mgst. Paúl Arias MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	

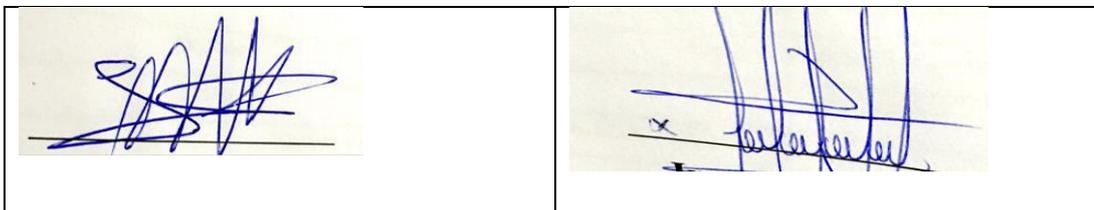
## AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Jorge Arturo Castro Morillo, con cédula de identidad número 1103051296, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

### CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y que ha sido desarrollada sin violar los derechos de autor de terceros; por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 4 días del mes de octubre de 2017



**EL AUTOR:**

**Jorge Arturo Castro Morillo**

**ACEPTACIÓN:**

**Ing. Betty Chávez**  
**JEFE DE BIBLIOTECA**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

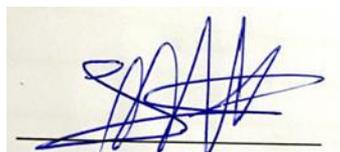
Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1103051296	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Castro Morillo Jorge Arturo	
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra, Pérez Calderón y Rocafuerte	
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:jorturo@gmail.com">jorturo@gmail.com</a>	
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2642945	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b> 0994873553
DATOS DE LA OBRA		
<b>TÍTULO:</b>	Correspondencia entre indicadores físico-químicos y biológicos para el monitoreo sistemático de la contaminación en el río Tahuando	
<b>AUTOR:</b>	Castro Morillo Jorge Arturo	
<b>FECHA:</b>	2016/04/15	
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO		
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO	POSTGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Magister en Gestión Sustentable de Recursos Naturales	
<b>ASESOR / DIRECTOR:</b>	Mgstr. Galo Pabón	

## DECLARACIÓN

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto es original, y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 4 días del mes de octubre de 2017

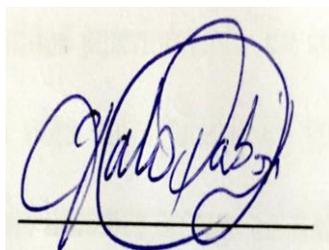
A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

---

Ing. Jorge Arturo Castro

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Ing. Jorge Arturo Castro Morillo, bajo mi supervisión.



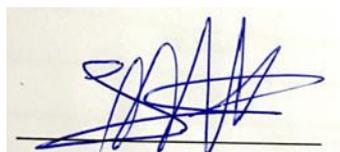
---

Mgstr. Galo Pabón  
**DIRECTOR DE TESIS**

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL  
NORTE**

Yo, Jorge Arturo Castro Morillo, con cédula de identidad Nro. 1103051296, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: “Correspondencia entre indicadores físico-químicos y biológicos para el monitoreo sistemático de la contaminación en el río Tahuando”, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Magister en Gestión Sustentable de Recursos Naturales en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 4 días del mes de octubre de 2017



---

Ing. Jorge Arturo Castro

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica del Norte por brindarme la oportunidad de desarrollo académico.

Al Instituto de Postgrado y a sus docentes, quienes me supieron transmitir sus conocimientos y experiencias, permitiéndome culminar con éxito esta etapa

Mi agradecimiento sincero a mi Director de Tesis Blg. Galo Pabón por su acertado asesoramiento durante todo el proceso de la investigación.

Un agradecimiento especial al Ing. Carlos Valarezo M., cuyo apoyo científico fue de invaluable ayuda para la elaboración de este trabajo.

Al Ilustre Municipio de la Ciudad de Ibarra, a la Empresa Municipal de Agua Potable, a su Laboratorio de Control de Calidad y a todo el personal técnico que hicieron posible la elaboración de este proyecto.

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo de manera muy especial a mi esposa, por su permanente apoyo incondicional sin el cual no hubiera culminado esta labor.*

*Dedico también esta investigación a mis hijas, por ser la razón de mi vida.*

*Y a todas las personas que confiaron en mí, que con sus mejores deseos me incentivaron a continuar con mis estudios de postgrado.*

***Jorge Arturo***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVOS .....	5
1.3.1 <i>Objetivo General</i> .....	5
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	5
1.4 HIPÓTESIS.....	5
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1 CONTAMINACIÓN DE LOS CURSOS DE AGUA .....	8
2.2. ELEMENTOS DE UN RÍO .....	8
2.3 MONITOREO DE LA CONTAMINACIÓN.....	10
2.4. ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA .....	11
2.5 USO DE MACRO-INVERTEBRADOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	12
2.6 ENFOQUES PARA EL USO DE LOS MACRO-INVERTEBRADOS EN EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	13
2.7 APLICACIÓN DE ÍNDICES BIOLÓGICOS EN EL ECUADOR.....	14
2.8 IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO.....	15
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>19</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>19</b>
3.1 MATERIALES, EQUIPOS, REACTIVOS Y ESTÁNDARES .....	19
3.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS .....	20
3.3 DEFINICIÓN DE VARIABLES .....	21
3.3.1. <i>Variabilidad Espacial de la Contaminación en el Sistema Hídrico del Tahuando y Definición de Puntos Representativos de Muestreo:</i> .....	21
3.3.2 <i>Presencia de Macroinvertebrados en los Sitios Seleccionados:</i> .....	22
3.3.3 <i>Indicadores de Calidad de Agua:</i> .....	22
3.4 MÉTODOS.....	22
3.4.1 <i>Caracterización de la Variabilidad Espacial de la Contaminación</i> .....	22
3.4.2 <i>Definición De Los Puntos Representativos Para El Muestreo Permanente</i>	29
3.4.3 <i>Correspondencia entre los Indicadores Físico-Químicos y Biológicos</i> .....	29

3.4.4 Propuesta para el Monitoreo Sistemático de la Calidad del Agua en el Río Tahuando .....	33
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>34</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>34</b>
4.1 VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA CONTAMINACIÓN EN EL RÍO TAHUANDO .....	34
4.1.1 Características de los Puntos Preseleccionados.....	35
4.1.2 Indicadores Físico-Químicos Determinados In Situ .....	36
4.1.3 Indicadores Físico-Químicos y Biológicos Determinados En El Laboratorio .....	36
4.1.4 Ponderación de Factores Analizados.....	37
4.2 PUNTOS REPRESENTATIVOS PARA EL MUESTREO PERMANENTE .....	37
4.3 CORRESPONDENCIA ENTRE INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	41
4.3.1 Parámetros físico-químicos y biológicos .....	42
4.3.2 Índices de calidad de agua NSF.....	48
4.3.3 Calidad del agua en base a macroinvertebrados (BMWP).....	49
4.3.4 Correspondencia entre índices fisicoquímicos y bióticos .....	52
4.3.5 Análisis temporal .....	55
4.4. PROPUESTA PARA EL MONITOREO ESTANDARIZADO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO TAHUANDO .....	56
4.4.1. Plan de monitoreo de la calidad ambiental del río Tahuando .....	58
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>69</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>70</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	70
5.2 RECOMENDACIONES .....	71
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Áreas identificables en el curso de un río (Carrera & Fierro, 2001) .....	9
<b>Figura 2.2.</b> Esquema ilustrativo de los elementos de un río (Carrera & Fierro, 2001) .....	10
<b>Figura 3.1.</b> Árbol de jerarquización para establecer los puntos de muestreo de la contaminación en el río Tahuando. ....	24
<b>Figura 4.1.</b> Localización espacial de los 24 puntos preseleccionados de muestreo en el río Tahuando, desde la confluencia con la quebrada Guayrapungu hasta la parroquia El Priorato .....	35
<b>Figura 4.2.</b> Localización de los cinco puntos de muestreo definitivo en el río Tahuando, tramo de influencia urbana de la ciudad de Ibarra.....	39
<b>Figura 4.3.</b> Primer punto de muestreo La Toma.....	39
<b>Figura 4.4.</b> Segundo punto de muestreo El Alpagate.....	40
<b>Figura 4.5.</b> Tercer punto de muestreo Puente Rojo.....	40
<b>Figura 4.6.</b> Cuarto punto de muestreo 17 de Julio.....	41
<b>Figura 4.7.</b> Quinto punto de muestreo Tahuando.....	41
<b>Figura 4.8.</b> Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016.....	42
<b>Figura 4.9.</b> Coliformes Fecales (UFC/100 ml) del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016.....	43
<b>Figura 4.10.</b> Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 ppm) del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016.....	44
<b>Figura 4.12.</b> Contenido de fosfatos (ppm) del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016.....	46
<b>Figura 4.13.</b> Turbiedad (NTU) del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016.....	47
<b>Figura 4.14.</b> Sólidos Totales (ppm) del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016 .....	47

<b>Figura 4.15.</b> pH del agua del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016.....	48
<b>Figura 4.16.</b> Tendencia Espacial de los Índices NSF del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016.....	50
<b>Figura 4.17.</b> Tendencia Espacial de los Índices BMWP del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016.....	52
<b>Figura 4.18.</b> Tendencia espacial de los Promedios de los Índices de Calidad de Agua NSF y BMWP de seis fechas de muestreo del río Tahuando en el período enero – junio de 2016.....	52
<b>Figura 4.19.</b> Prueba T pareada entre todos los datos NSF vs BMWP.....	55
<b>Figura 4.20.</b> Prueba T pareada entre todos los datos NSF vs BMWP.....	55
<b>Figura 4.21.</b> Tendencia Temporal del Índice de Calidad NSF en cinco sitios del Río Tahuando en seis fechas de muestreo del período enero – junio de 2016.....	55
<b>Figura 4.22.</b> Tendencia Temporal del Índice de Calidad BMWP en cinco sitios del Río Tahuando en seis fechas de muestreo del período enero – junio de 2016.....	56
<b>Figura 4.23.</b> Ubicación de los puntos de muestreo definitivo en el trayecto del río Tahuando bajo la influencia urbana de la ciudad de Ibarra.....	61

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 2.1.</b> Escala fundamental de los números absolutos (Saaty, 1974).....	19
<b>Cuadro 3.1.</b> Materiales, equipos y software que se utilizaron en la investigación ...	20
<b>Cuadro 3.2.</b> Matriz de comparación de pares entre los principales criterios respecto al objetivo.....	24
<b>Cuadro 3.3.</b> Matriz de comparación de pares entre los subcriterios referidos a la factibilidad. ....	25
<b>Cuadro 3.4.</b> Matriz de comparación de pares entre los subcriterios referidos al impacto medioambiental en el río Tahuando. ....	25
<b>Cuadro 3.5.</b> Matriz de comparación de pares entre los subcriterios referidos a la afectación sanitaria.....	26
<b>Cuadro 3.6.</b> Ponderación de Subcriterios.....	26
<b>Cuadro 3.7.</b> Matriz de análisis multicriterio para determinación de puntos de muestreo .....	29
<b>Cuadro 3.8.</b> Variables físicoquímicas evaluadas en las muestras de agua del río Tahuando en el período enero – junio 2016 .....	30
<b>Cuadro 3.9.</b> Pesos ponderados para cada variable de los índices NSF (González, Aguirre & Caicedo, 2013).....	32
<b>Cuadro 3.10.</b> Criterios de calidad del agua según el índice BMWPA (Carrera & Fierro, 2001) .....	32
<b>Cuadro 4.1.</b> Número, nombre del sitio y coordenadas de los puntos de muestreo definitivo en el trayecto del río Tahuando bajo la influencia urbana de la ciudad de Ibarra.....	38
<b>Cuadro 4.2.</b> Índices de calidad del agua (NSF) en cinco sitios del río Tahuando, en seis fechas de muestreo.....	49
<b>Cuadro 4.3.</b> Familias de Macroinvertebrados avistadas en el Río Tahuando.....	51
<b>Cuadro 4.4.</b> Índices de calidad de agua BMWP en cinco sitios del río Tahuando, en seis fechas de muestreo .....	51
<b>Cuadro 4.5.</b> Valores estadísticos de los índices promedios.....	53

<b>Cuadro 4.6.</b> <i>Nombre del sitio y coordenadas de los puntos de muestreo definitivo</i> .....	60
<b>Cuadro 4.7.</b> Parámetros auxiliares que aportan información para el estado del río.	
<b>Cuadro 4.8.</b> Matriz de evaluación del agua del río Tahuando para registro de datos.....	67
<b>Cuadro 4.9.</b> Matriz de implementación.....	68

## RESUMEN

El presente trabajo presenta una propuesta metodológica para la selección de los puntos de muestreo más significativos previa a un proceso de evaluación de la calidad del agua de un río. Para este efecto se identificó la zona correspondiente al río Tahuando que atraviesa la ciudad de Ibarra, capital de la provincia de Imbabura ubicada al norte del Ecuador. En los reconocimientos de campo se logró tener acceso a 24 puntos susceptibles a ser escogidos distribuidos de manera no uniforme en un tramo de 23.1 Km y cuyo acceso fue posibilitado de acuerdo a las condiciones orográficas. A cada uno de estos puntos se le aplicó una calificación especial basada en un proceso de análisis jerárquico, tomando en cuenta como criterios a ser ponderados la factibilidad física, el impacto medioambiental y la posibilidad de afectación sanitaria a la población. En el caso particular del subcriterio derivado de los parámetros de contaminación se realizó el cálculo del indicador de calidad de agua NSF para a su vez relacionarlo con la propuesta metodológica general. La tabulación final de las puntuaciones obtenidas multiplicada por los factores de los criterios y subcriterios nos permitió determinar cuáles son los mejores puntos de muestreo para una evaluación factible y representativa de la calidad del agua de ese río. A partir de este estudio se seleccionaron cinco puntos definitivos de muestreo, en el tramo de influencia del área urbana de la ciudad de Ibarra que cubre una longitud de 15 km. Durante el periodo de enero a junio de 2016 se realizaron seis muestreos, a un intervalo de alrededor de un mes, para la determinación de los índices de calidad del agua, siguiendo dos procedimientos. El primero corresponde a los índices de calidad establecidos por la National Sanitation Foundation (NSF), basado en los indicadores físico-químicos y microbiológicos; en tanto que, el segundo es el sistema BMWP Col que considera la presencia de macroinvertebrados acuáticos. Según los valores de los índices NSF y BMWP Col, la calidad del agua del río Tahuando disminuye a medida que su curso atraviesa la zona urbana, llegando a su mínimo en el sitio Puente Rojo donde confluyen dos fuertes descargas de aguas residuales del sistema de alcantarillado municipal, recuperándose paulatinamente en el Punto Final hasta alcanzar un promedio (de las seis fechas de muestreo) de 84% y 54% para el NSF y el BMWP, respectivamente, en relación al valor del sitio La Toma, lo que se atribuye a la resiliencia natural. Los promedios de los valores de los índices de calidad NSF y BMWP Col de las seis fechas de muestreo no fueron numéricamente iguales; sin

embargo, su tendencia espacial corresponde a curvas casi paralelas. Las variaciones del caudal del río debido a las condiciones climáticas determinaron considerables diferencias de los índices NSF y BMWP Col entre las fechas de muestreo. Debido a la disponibilidad de equipos, facilidades logísticas y menor especialización del procedimiento, para el monitoreo periódico de la calidad del agua se recomienda utilizar los indicadores físico-químicos y microbiológicos (NSF), sin dejar de lado de manera esporádica controles comparativos con los indicadores de macroinvertebrados (BMWP Col).

### **Palabras claves:**

**Contaminación de un río.-** alteración de las condiciones físicas, químicas o biológicas de un cuerpo hídrico generalmente provocada por actividades antrópicas que la convierten en peligrosa para su consumo, actividades agropecuarias, recreativas, etc... o que alteren la vida de los ecosistemas nativos.

**Georreferenciación.-** proceso en el cual se define la localización de un objeto espacial en un sistema de coordenadas y datum determinado

**Índices de calidad de agua.-** herramientas de diagnóstico rápidas y representativas que tienen como finalidad garantizar una evaluación integral del recurso hídrico y que se obtienen de la integración de diferentes variables fisicoquímicas y microbiológicas

**Jerarquización.-** organización a través de categorías que presentan diversa importancia y que por ende le atribuyen a las personas o cosas jerarquizadas diferente relevancia y valores.

**Monitoreo Ambiental.-** acción que se despliega con la misión de conocer cuál es, cómo se encuentra, el estado de cosas en materia ambiental de un entorno y por tanto resulta ser una actividad de gran ayuda en lo que respecta al cuidado del medio ambiente.

**Ponderación.-** Proceso de asignación de un peso o relevancia a una variable al momento de ser comparada con las demás en el contexto de un análisis de jerarquías.

## SUMMARY

This work presents a methodology for selecting sampling points prior to a testing process of the quality of the water of a river. To make this possible, the basin of the Tahuando river running through the city of Ibarra, a province located north of Ecuador was selected for the study. In field surveys it was possible to access 24 points susceptible to be chosen unevenly distributed on a stretch of 23.1 km and whose access was possible according to the mountainous terrain. Each of these points was applied a special rating based on a process of hierarchical analysis, taking notice of such criteria to be weighted physical feasibility, environmental impact and the possibility of health affectation of the population. In the case of sub-criterion derived from pollution parameters, it was made by calculating the water quality indicators NSF to turn relate to the general methodological proposal. The final tabulation of the scores obtained multiplied by factors and sub-criteria allowed us to determine which are the best sampling points for a viable and representative of water quality assessment of the river. From this study, five final sampling points were selected in the path influenced by the urban area of the city of Ibarra covering a length of 15 km. During the period from January to June 2016 six samplings, at an interval of about a month were performed, for the determination of water quality indices, following two procedures. The first is the quality indices established by the National Sanitation Foundation (NSF), which is based based on the physical and chemical indicators; while the second is the BMWP Col system that considers the presence of aquatic macroinvertebrates. The values of the NSF and BMWP Col indicated that the water quality of the Tahuando river decreases as its course through the urban area, reaching its minimum in the site Puente Rojo corresponding to the confluence of two strong wastewater discharges from the municipal sewer system, gradually recovering until the Final Point as a result of natural resiliencie, to an average of 84% and 54% (of the six sampling dates) for the NSF and BMWP, respectively, relative to the value that corresponds the site La Toma. The average values of quality indices NSF and BMWP Col of the six sampling dates were not numerically equal; however, its spatial trend corresponds to almost parallel curves. The river flow variations due to weather conditions determined significant differences in NSF and BMWP Col indices among the sampling dates. Due to the availability of equipment, logistical facilities and less specialized procedure it is recommended the physico-chemical and microbiological indicators (NSF) for the regular water quality

monitoring in this river, without neglecting sporadically comparative controls with macroinvertebrate indicators (BMWP Col)

**Keywords:**

**River Pollution.**- altering the physical, chemical or biological conditions of a water body usually caused by human activities that make it dangerous for consumption, agriculture, recreation uses or altering the lives of the native ecosystems.

**Georeferenciation.** - Process that allows knowing the location of a space object is defined in a coordinate system and given datum

**Water quality index.** - Fast and representative diagnostic tools which aim to ensure a comprehensive assessment of water resources and obtained from the integration of different physicochemical and microbiological variables

**Hierarchization.** - Organization through categories that have varying importance and therefore attributed to persons or things relevant and different hierarchical values.

**Environmental monitoring.** - action performed with the mission to know what it is, how is the state of affairs in environmental matters of an environment and is therefore an activity of great help when it comes to protecting the environment.

**Ponderation.** - Process of assigning a weight or relevance to a variable when being compared with others in the context of an analysis of hierarchies.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

El manejo del recurso hídrico ha entrado en crisis, por lo que, ante la perspectiva de una problemática múltiple causada por la escasez de agua, el debate técnico se ha volcado hacia la construcción de propuestas racionales para un aprovechamiento más sostenible.

El Ecuador no se ha visto ajeno a estas discusiones, sin embargo, la temática de las mismas en su mayor se ha derivado hacia su uso como suministro de líquido vital para los centros urbanos, el apoyo a las actividades agrícolas-ganaderas, las obras civiles asociadas a esos usos y a la mejora de las relaciones en las que se involucran los actores sociales encargados del manejo del recurso, tales como las llamadas Juntas de Agua.

Más allá de las declaraciones gubernamentales que se han condensado en diversos cuerpos legales, hay que señalar que la problemática de la contaminación de los ríos, originada por los vertidos derivados de las actividades agrícolas, ganaderas, industriales y municipales, no ha sido lo suficientemente estudiada, lo que hace que la visión sobre este tema sea más bien fruto de la percepción popular, lo que muchas veces dificulta apreciar la verdadera dimensión del problema.

Progresivamente, las autoridades involucradas en la toma de decisiones en el país han ido tomando conciencia de la relevancia de esta situación y las consecuencias irreversibles de mantener una postura de inactividad hacia ella, por lo que se evidencia que algunas ciudades han empezado a plantear de manera concreta planes de mitigación, que en el caso particular de la ciudad de Ibarra, se han concretado en proyectos tales como la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Yahuarcocha o la nueva planta para el tratamiento de las descargas de aguas residuales municipales, que hoy tienen como destino el curso del río Tahuando, convirtiéndolo en un cuerpo

de agua infecto, constituyéndose en un grave riesgo para la seguridad de la población de la misma ciudad.

La falta de información concreta que refleje los niveles de contaminación del río Tahuando parte del hecho que no ha existido una política que apoye la prevención a nivel de las entidades encargadas del monitoreo, lo que impide que se disponga de datos históricos y secuenciales que en otro escenario serían fundamentales para una modelación hidrológica completa. Al carecer de ellos, no se pueden sacar conclusiones valederas que sirvan de indicadores confiables para evaluar la efectividad de las acciones de mitigación que deberían ejecutarse en aras de una preservación ambiental.

Un procedimiento técnico de monitoreo debe tener algunas características entre las que destacan la practicidad, la economía, la rigurosidad y la reproducibilidad. Al ser satisfactorios estos requisitos se dispondría de una propuesta que puede ser fácilmente adoptada por las entidades correspondientes para efectos de generar esa base de datos que se requiere.

## **1.2 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

En el marco de los patrones culturales de uso y aprovechamiento de los recursos naturales de la sociedad actual, se ha normalizado el abuso de las fuentes acuícolas; y, en el caso particular de los ríos, el uso de éstos como sumidero y destino final de las aguas residuales domésticas, agropecuarias, industriales, y en general de toda actividad humana.

Los cuerpos de agua corriente, como ríos o quebradas, poseen una capacidad de regeneración bioquímica que hace que éstos soporten una cantidad específica de descargas contaminantes; pero, en la práctica, mientras exista un asentamiento humano cerca, la magnitud y la composición de estas descargas sobrepasan de largo la capacidad de regeneración de los cuerpos hídricos.

En la situación específica del río Tahuando, dren natural de la ciudad de Ibarra, en la actualidad constituye el destino final de todas las descargas residuales de las poblaciones circundantes, desde casi su mismo origen en la población de Zuleta, por lo que se ha convertido en un sistema hidrológico altamente contaminado y origen de

un problema sanitario como foco de propagación de diversas de enfermedades. (Chiriboga & Dávalos 2010).

La caracterización del grado de contaminación con referencia a parámetros físico-químicos normalizados, tanto cualitativos como cuantitativos a lo largo del trayecto del río Tahuando, ha sido abordada en anteriores trabajos de investigación, como resultado de los cuales se han propuesto programas específicos de monitoreo, los mismos que hasta el momento no han sido implementados en una secuencia cronológica, situación que ha impedido disponer de información sobre la evolución del problema, como base para tomar las decisiones científico-técnicas pertinentes a su control y/o mitigación. Adicionalmente, la información generada por el monitoreo de los parámetros físico-químicos del río requiere ser procesada para generar los indicadores de la calidad del agua (ICAS), tales como el de la National Sanitation Foundation (NSF) los que deben ser contrastados con los estándares normalizados a nivel internacional.

Por otra parte, la calidad del agua de un sistema hídrico también se refleja en la presencia de diferentes organismos vivos, como consecuencia del nexo entre los requerimientos energéticos y los equilibrios bióticos de los ecosistemas acuáticos (Chi et al., 2013). Es así que la presencia de macro-invertebrados acuáticos constituye un excelente indicador de la calidad de agua, debido a su capacidad de adaptación a la exposición de contaminantes (Naranjo & González, 2007). Este indicador puede ser obtenido a partir de procedimientos sencillos y de bajo costo.

En el ámbito enunciado, el problema científico-técnico de estudio se encaminó a investigar la relación entre la composición de las comunidades de organismos macro invertebrados fluviales y el grado de contaminación del agua en puntos representativos de muestreo de la cuenca del río Tahuando, mediante el uso de indicadores de calidad de agua. Consecuentemente, la investigación se orientó a dar respuesta a las siguientes interrogantes: ¿Cuál es la variabilidad espacial de la contaminación en el sistema hídrico del Tahuando, en el tramo desde su confluencia con la quebrada Guayrapungu sector Zuleta, hasta su desembocadura en el río Ambi? ¿Cuáles son los puntos representativos para la implementación viable del monitoreo cronológico de la contaminación del río Tahuando en el tramo seleccionado? ¿Cuál es la correspondencia entre los indicadores físico-químicos y biológicos de la calidad del

agua del río Tahuando en los puntos representativos? ¿Qué procedimiento, técnica y operativamente viable, deberá implementar la entidad gubernamental competente para el monitoreo permanente de la calidad del agua en el río Tahuando, en el marco de los indicadores físico-químicos y biológicos?

La Constitución de la República del Ecuador (2008) en el Art 14 establece que *El Estado reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir*; y en el Art. 15.- *El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.* Esta misión operativamente se encuentra dentro de las competencias asignadas a los gobiernos autónomos descentralizados, específicamente aquella correspondiente a la gestión integral de los servicios de suministro de agua potable y alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos y actividades de saneamiento ambiental. En el caso particular del cantón Ibarra, las dos primeras responsabilidades han sido asumidas por la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA) y su Laboratorio de Control de Calidad, instancia que se constituye en el organismo auditor de los parámetros de calidad, tanto del agua potable como de las aguas residuales.

Cabe indicar que uno de los principales retos técnicos actuales de la ciudad de Ibarra concierne a la construcción de la planta de tratamiento de las aguas residuales que se vierten en el río Tahuando, cuyos trabajos están en curso, para lo cual se cuenta con el financiamiento procedente del erario público. El éxito del indicado proyecto está asociado a obtener información sobre los parámetros de contaminación del río en puntos estratégicos de su recorrido, sobre cuya base se formularán las alternativas técnico – ambientales más convenientes. Adicionalmente, la información mencionada servirá de referencia científico – técnica para futuros proyectos relacionados con los factores biofísicos, institucionales y económicos que afectan la vulnerabilidad natural de la cuenca del río Tahuando y la medida en la cual ésta influya en la sostenibilidad de un ambiente saludable y seguro para la población de la zona.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Establecer la correspondencia estadística entre los indicadores físico-químicos y biológicos para el monitoreo sistemático de la contaminación en el tramo de estudio en el curso del río Tahuando.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar la variabilidad espacial de la contaminación en el sistema hídrico del Tahuando, en el tramo comprendido desde su confluencia con la quebrada Guayrapungu sector Zuleta, hasta su desembocadura en el río Ambi
- Establecer los puntos representativos para la implementación del monitoreo sistemático de la contaminación del río Tahuando en el tramo seleccionado, que sea técnica y operativamente viable.
- Determinar la correspondencia entre los indicadores físico-químicos y biológicos de la calidad del agua del río Tahuando en los puntos representativos identificados mediante técnicas estadísticas.
- Definir el procedimiento que deberá implementar la entidad gubernamental competente (EMAPA-I) para el monitoreo permanente de la calidad del agua en el río Tahuando, en el marco de los indicadores físico-químicos y biológicos.

### **1.4 HIPÓTESIS**

- La contaminación en el sistema hídrico del Tahuando, desde su confluencia con la quebrada Guayrapungu sector Zuleta hasta hasta su desembocadura en el río Ambi presenta una elevada variabilidad espacial.

- Al menos cinco puntos son representativos para la implementación viable del monitoreo cronológico de la contaminación del río Tahuando en el tramo seleccionado.
- Existe una elevada correspondencia entre indicadores tanto físico-químicos como biológicos de la calidad del agua del río Tahuando en los puntos representativos identificados.
- Es viable implementar un procedimiento técnicamente fundamentado para implementar el monitoreo estandarizado de la calidad del agua en el río Tahuando, en el marco de los indicadores, tanto físico-químicos como biológicos.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

El agua dulce es un recurso natural de muy definida localización. De acuerdo a información de la UNESCO en su monográfico “World Water Resources At The Beginning Of The 21st Century” únicamente está disponible como tal en el 3% del total en el planeta, y de éste el 97% se presenta en estado sólido en los casquetes polares y los glaciares. La Organización Meteorológica Mundial (2013) afirma que en el caso de mantenerse los niveles actuales de consumo de agua en el mundo, para el año 2025 dos de cada tres personas vivirán en condiciones de tensión social por falta de agua.

En la actualidad, alrededor del 20% de la población mundial no dispone de una fuente segura para su aprovisionamiento de agua, convirtiéndose la contaminación de agua en el principal factor que causa la muerte de más de 4 millones de niños al año de acuerdo a datos del 2014 de la Organización Mundial de la Salud. Estas situaciones han puesto bajo la lupa la gestión del agua al momento de discutir políticas hasta de índole de seguridad nacional; ya que, de acuerdo a datos proporcionados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, para el año 2002 cerca del 40% de la gente en el mundo vive en más de 200 cuencas de ríos compartidos. Por otro lado, el momento en que se generan interferencias humana en los ciclos hidrológicos naturales también se evidencian despilfarros de los recursos hídricos, como es el caso de la irrigación con fines agrícolas: el agua se desperdicia en cada fase, desde las filtraciones de los canales que conducen el agua hasta los grandes volúmenes que se aplican en tierras cultivadas (FAO, 2002).

La contaminación ambiental es un problema muy grave que merece ser enfrentado con suficiente fundamentación científico-técnica. En los últimos años los niveles de polución han sobrepasado todo margen imaginable, arrastrando consigo un cúmulo de consecuencias de carácter global que inciden de manera decisiva en la manera en la que se concibe el desarrollo, por lo que el concepto de sustentabilidad ha pasado a convertirse en una norma cada vez más usada a nivel de análisis de los procesos de aprovechamiento de los recursos naturales. Bajo este marco, a continuación se realiza

una sistematización de los conocimientos sobre los aspectos relacionados a la contaminación de los cursos de agua, el monitoreo de la contaminación, los índices de la calidad del agua, los macroinvertebrados como indicadores de la contaminación y el estado del arte en el Ecuador.

## **2.1 CONTAMINACIÓN DE LOS CURSOS DE AGUA**

Kenneth (2003), afirma que los arroyos y los ríos son las autopistas del mundo del agua. Durante el curso de los siglos la gente los ha usado como medios de transporte para ellos y sus productos, desde las cimas de las montañas hasta los mares. Desafortunadamente, el ser humano también los ha utilizado como disposición final y evacuación de sus desechos, una práctica que se ha convertido en una seria amenaza a la calidad del agua. Desde hace tiempos inmemoriales el hombre ha asentado sus poblados a las orillas de los cuerpos hídricos. Los desechos de estas comunidades han sido arrojados a los ríos, con el objeto de alejarlos de ellas. Al principio, poca gente habitaba corriente abajo, y los ríos tenían la suficiente capacidad natural para asimilar estos vertidos y limpiarse a sí mismos. Esta capacidad natural para que un cuerpo de agua se auto-limpie se llama capacidad asimilativa. Mientras la población empezó a crecer, la capacidad asimilativa de las aguas en muchos casos se ha desbordado y los ríos ya no han sido capaces de limpiarse a sí mismos.

Un río no saludable o alterado tiene muy poca o ninguna forma de vida animal ya que ha perdido la vegetación de las orillas, y sin ella no crea la humedad necesaria para formar vapor y luego, nubes. La mayor parte de la lluvia no es aprovechada por el suelo y se convierte en escorrentía excesiva. Además, está más expuesto a grandes inundaciones, varias veces al año, y a mayores daños en sus bancos (Carrera & Fierro, 2001).

## **2.2. ELEMENTOS DE UN RÍO**

Carrera & Fierro (2001), indican que al momento de estudiar la dinámica hidrológica de un cuerpo de agua en función de su evolución temporal y la interacción de éste con la actividad humana para determinar los indicadores de afectación y

proponer acciones de remediación, es fundamental comprender los factores del río que que son fácilmente identificables y que forman parte de su naturaleza (Figura 2.1).

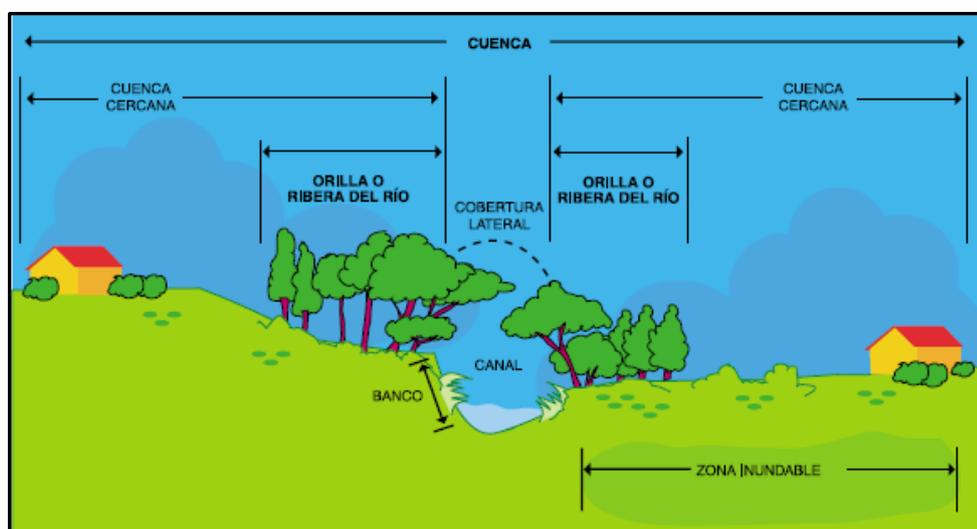


Figura 2.1. Áreas identificables en el curso de un río (Carrera & Fierro, 2001)

**La cuenca cercana** es la zona que se extiende unos 400 metros alrededor de la vegetación que crece a la orilla del río. Lo que ocurra en esta área afecta directamente la calidad del agua; **La zona inundable** es el área de tierra que rodea a un río o estero y que se convierte en pantano cuando hay inundaciones. Es, al mismo tiempo, zona fértil para los sembradíos por ser húmeda, pero peligrosa para edificar viviendas o criar animales por su inestabilidad; **La orilla o ribera del río:** Es la franja de vegetación que crece justo al borde de los bancos del río. Esta zona es una especie de filtro, de esponja, que evita que los contaminantes transportados por la escorrentía se mezclen con el agua del río. Con su humedad controla la erosión de los bancos, y con su sombra regula la temperatura del agua; **Los bancos del río:** Son las paredes laterales que mantienen el flujo del agua en su curso. Los bancos evitan inundaciones en las cuencas, siempre y cuando la fuerza del agua no los erosione, derrumbe o rebase su altura; **La cobertura lateral:** Es aquella capa de vegetación que da protección y sombra a los seres que viven dentro del agua, y mantiene su temperatura

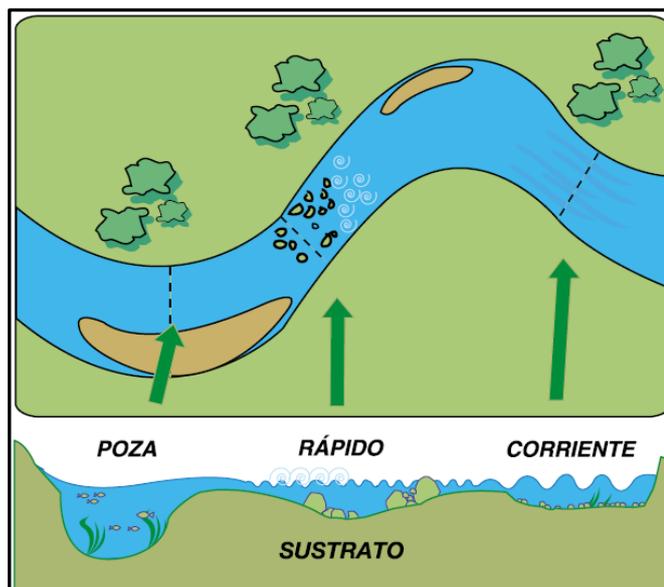


Figura 2.2. Esquema ilustrativo de los elementos de un río (Carrera & Fierro, 2001)

Las **pozas**: Son los lugares del río donde la circulación del agua es lenta y hay mayor profundidad. Normalmente, tienen sedimentos (lodo) en el fondo (Figura 2.2); los **rápidos**: Son secciones del río poco profundas y turbulentas donde el movimiento del agua es más rápido y choca con las rocas que, en esas partes, están parcial o totalmente sumergidas; Las **corrientes**: Son sectores del río donde el agua corre pero sin turbulencia. Tienen generalmente piedras pequeñas en el fondo; el **sustrato**: Es el material que se deposita en el fondo o lecho del río y que puede ser de arcilla, piedras, rocas, arena, etcétera.

### 2.3 MONITOREO DE LA CONTAMINACIÓN

Tanto a nivel global como local, los programas de monitoreo han surgido como resultado de la conjunción de las ciencias ecológicas y las políticas medioambientales; en ambos casos, la recolección de datos empezó con el imperativo de vigilar la naturaleza como la medición de parámetros ambientales espaciales y luego enfocando los cambios al monitoreo de éstos en el ambiente (midiendo la dinámica de los parámetros relacionados en el tiempo (Aronova, 2015). Los sistemas de monitoreo son muy importantes debido a que permiten disponer de información que puede ser procesada y constituir soporte científico – técnicos para la toma de decisiones.

La observación de los cambios que ocurren en el curso del río no se limitan exclusivamente a los que se pueden verificar en el agua, sino también en la flora, la fauna y en general el medioambiente que rodea a éste, tomando en cuenta que los ríos son el sustento material de una infinidad de ecosistemas y que cualquier afectación al cuerpo hídrico tendrá consecuencias directas en la biota que se sustenta en él.

## **2.4. ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA**

Un índice de calidad de agua consiste, básicamente, en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso, un color. Históricamente, organizaciones de varias nacionalidades involucradas en el control del recurso hídrico, han usado de manera regular índices físico-químicos para la valoración de la calidad del agua (Fernández et al., 2003).

Esta situación ha adquirido importancia a partir de los últimos años del siglo pasado, donde el énfasis en el estudio y la aplicación de estos indicadores se incrementó, lo que ha determinado que en la actualidad exista una cantidad apreciable de formulaciones en diferentes lugares y con propósitos que varían desde generales hasta específicos, producto de los esfuerzos y desarrollos investigativos de agencias gubernamentales reguladoras de diferente orden.

Por ejemplo, Dinius (1972), planteó un índice de calidad de agua conformado por nueve variables fisicoquímicas y dos microbiológicas, indicador que se propuso con el fin de usos agrícolas, de pesca y de recreación, por lo que en la actualidad es usado más frecuentemente el llamado índice NSF, que se basa en la relación entre ocho variables físico-químicas y una biótica (coliformes fecales). Estos indicadores en general tienen la ventaja de que la información resultante de su aplicación puede ser más fácilmente interpretada que una lista de valores numéricos, ya que al agrupar los elementos contaminantes de acuerdo a su importancia se facilita la comprensión de la manera en la que estos afectan el estado natural de los cuerpos hídricos superficiales.

En las últimas décadas, los ecólogos acuáticos han enfocado sus esfuerzos en investigar la calidad del agua desde el punto de vista del manejo sostenible de los recursos naturales, por lo que los estudios en el tema han adquirido un carácter más

desafiante en términos científicos cuando se asocia a fenómenos tales como el cambio climático. Las inundaciones, la sedimentación, las prácticas agrícolas, la deforestación junto a la urbanización y a la industrialización plantean grandes retos para los regímenes acuáticos (Olomukoro & Dirisu, 2014).

## **2.5 USO DE MACRO-INVERTEBRADOS COMO INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA**

El uso de macro-invertebrados bénticos para investigar el estatus general de salud de los ambientes acuáticos se mantiene como uno de los métodos más adecuados, seguros y aceptados comúnmente. Estas comunidades son bio-indicadores muy útiles al momento de entender el estado ecológico de un ecosistema acuático, en lugar del uso exclusivo de los datos fisicoquímicos y microbiológicos, los que determinan fluctuaciones a corto plazo de los indicadores (Ravera, 2000).

En este contexto, los invertebrados bénticos son considerados importantes debido a que ellos reflejan los efectos acumulativos de condiciones presentes y pasadas que perturban los equilibrios bióticos de los medio ambientes acuáticos, junto a su limitada movilidad, ya que muchos de ellos son sedentarios o crecen arraigados a un sustrato del que no se separan ni tampoco se desplazan; y, por último, debido a sus prolongados ciclos de vida que llegan a durar varias semanas o incluso años en algunos casos (Lenat et al., 1981).

Usar los macro-invertebrados como monitores de la calidad de las aguas de un río, de todas maneras tiene sus limitaciones; por ejemplo, se debe considerar que el muestreo cuantitativo es dificultoso debido principalmente a su distribución no aleatoria en el lecho del río. Además, debido a la estacionalidad de los ciclos de vida de algunos invertebrados, puede ser que no sean encontrados al momento de realizar los muestreos.

Según Rimet (2011), la apreciación real de la estacionalidad debe ser incorporada a cualquier estudio al momento de interpretar los datos. Por otro lado, existen otros factores además de la calidad del agua que también son determinantes para la existencia de las comunidades bénticas; de éstos, se destacan los factores relacionados con la velocidad actual y la naturaleza de los sustratos orgánicos de sustento. Puesto que estos valores difieren a lo largo del río en distintas zonas, comunidades diferentes

pueden establecerse en diversos sitios que tengan la misma calidad de agua. Sin embargo, en la práctica los sitios de muestreo que tienen condiciones similares para los organismos bénticos deben ser establecidos de acuerdo a una evaluación especial de factores que tengan en cuenta estas particularidades.

Otra de las limitaciones de los macro-invertebrados como indicadores es su distribución geográfica restringida, la incidencia y frecuencia de la aparición de algunas especies siendo diferente en ríos a lo largo de la región, lo que hace que el límite de los rangos naturales de distribución los hace más sensitivos en teoría a un mayor estrés polutivo que aquellos que están en el centro de la distribución, lo que dificulta tener un sistema universal de monitoreo biológico que sea estándar para los mismos taxos-especie (Rimet, 2011).

## **2.6 ENFOQUES PARA EL USO DE LOS MACRO-INVERTEBRADOS EN EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA**

Roldán (1999) indica que a partir de la década del 50 del siglo anterior, la tendencia general de los investigadores ha sido la generación de índices que relacionen las variables fisicoquímicas usuales con la presencia de macro-invertebrados bentónicos, lo que implica la existencia de algunos criterios respecto a la evaluación de las respuestas de estos organismos a la contaminación; éstos son: el enfoque sapróbico, de diversidad y biótico. El Enfoque de Biodiversidad basa su aplicación en la identificación de tres componentes de la estructura del ecosistema: abundancia, riqueza y uniformidad. Por lo general, las comunidades naturales con escasa alteración presentan una alta diversidad; y, a la vez, un bajo número de individuos por especie, situación que se invierte ante la presión de los contaminantes, en donde se pueden encontrar pocas especies pero un elevado número de individuos por cada una.

Al igual que en el caso anterior, se requiere determinar índices que reflejen las condiciones de biodiversidad de los ecosistemas, habiéndose clasificado estos índices de abundancia en dos grupos: índices de equidad, que son aquellos que toman en cuenta el valor de importancia de cada especie, e índices de heterogeneidad, referidos a aquellos que además del valor de importancia de cada especie consideran también el número total de especies en la comunidad. De todas maneras, cualquiera de estos dos

tipos de índices enfatiza ya sea el grado de dominancia o la equidad de la comunidad, por lo que para fines prácticos resulta mejor clasificarlos en índices de dominancia e índices de equidad (Moreno, 2001).

El más usado de los índices de dominancia es el de Simpson; y, entre los de equidad, es pertinente mencionar el de Shannon-Weaver, en donde mientras más uniforme es la distribución entre las especies que componen las comunidades su valor es mayor.

Por último, el Enfoque Biótico integra los aspectos fundamentales de los anteriores, haciendo una combinación entre la información cuantitativa de la diversidad de las especies presentes con una cualificación de la sensibilidad a los contaminantes de las especies presentes en un ecosistema. Los indicadores que reflejan este estudio se desarrollaron a partir de la segunda mitad del siglo pasado, y entre los principales se tiene al Índice Biótico de Beck y el de Déficit de Especies de Kothé (Roldan, 1999).

En 1999, la *Biological Monitoring Working Party* desarrolló un sistema fácil y concreto para el establecimiento del índice estándar para uso en el monitoreo biológico, denominado índice BMWP, que consiste en la ordenación de los macroinvertebrados acuáticos a nivel taxonómico de familia en 10 grupos en una escala de mayor a menor tolerancia a la contaminación, asignándose valores entre uno y diez puntos respectivamente bajo el criterio de presencia/ausencia.

## **2.7 APLICACIÓN DE ÍNDICES BIOLÓGICOS EN EL ECUADOR**

En el caso de los ríos del Ecuador, se ha investigado la aplicación del índice BMWP y se han logrado ajustar las equivalencias de este indicador a la fauna de los ríos de la región. Una de las principales ventajas de este índice es que funciona a nivel de familia, lo cual es muy conveniente en regiones en las cuales la identificación de la fauna a nivel de género o especie es compleja o imposible; posteriormente, las puntuaciones se ajustan a valores de calidad de acuerdo a los puntajes obtenidos.

En el contexto expuesto, resulta evidente que los estudios a ser realizados en estas latitudes deben basarse en la existencia de organismos que habitan en ecosistemas similares, ya que los indicadores más difundidos han sido realizados en países europeos o norteamericanos, en donde los ecosistemas son muy diferentes.

Al respecto, es pertinente hacer referencia a los estudios realizados por Roldán (1998) en los ríos de altura en Colombia y en el páramo andino ecuatoriano por Dangles et al. (2010), la caracterización de macroinvertebrados en la cuenca alta del río Pita en el cantón Rumiñahui por Muñoz, Giacometti & Ortiz (2010), los estudios en el bosque protector del río Guajalito por la Universidad San Francisco de Quito (2009) y la implementación del monitoreo de la calidad del agua de la subcuenca del río Yanuncay en la ciudad de Cuenca a partir del 2012, por parte de la Empresa Pública de Agua Potable.

Es destacable además la publicación del libro de Carrera y Fierro (2001), titulado “Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua”.

Finalmente, Espinoza (2014) hace referencia a los estudios realizados en la zona del presente estudio por la Universidad Técnica del Norte, específicamente en las orillas de la laguna de Yahuarcocha, el canal del Río Tahuando y la quebrada Manzanohuaco.

## **2.8 IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO**

La implementación de procedimientos estandarizados de control de contaminación de un cuerpo hídrico que basen su aplicación en una base científica tiene como su primer paso la ubicación de los puntos de monitoreo a lo largo del curso del río, los cuales deben cumplir con determinadas características, en cuanto a representatividad y accesibilidad.

Saaty (2008), indica que para tomar una decisión se debe conocer el problema, el criterio de la decisión, los actores y grupos afectados y las acciones alternativas a ser

tomadas; así, cuando se trata de definir la mejor alternativa o en el caso de la distribución de recursos se requieren prioridades ponderables para dichas opciones. En todo momento, las decisiones involucran un sinnúmero de intangibles que necesitan ser manejados; para hacerlo, estas decisiones deben compararse frente a medidas específicas que deben ser evaluadas y que no necesariamente tienen la misma significación estadística que la frecuencia, y de esta manera apoyar a la toma de decisiones de los actores. Al respecto, los métodos de análisis multicriterio son los que más se utilizan para la identificación de los puntos de muestreo.

### **2.8.1 Métodos de Evaluación Multicriterio**

Según Anderson (2008), el análisis multicriterio es una herramienta usada para la toma de decisiones al momento de decantarse por una opción entre varias múltiples de carácter heterogéneo. Su uso es muy variado en el ámbito científico, tecnológico, administrativo, etc. Se aplica en el momento en el que se presenta la necesidad de priorizar los recursos disponibles, puesto que ayuda a discriminar entre diversas alternativas sobre la prioridad en la asignación de los mismos, por lo que mejora la eficiencia en la asignación de recursos y sobre todo brinda un marco racional en el que se apoya la toma de decisiones.

Este tipo de análisis se aplica en casos en donde se requiere evaluar la capacidad de diversas acciones de un programa para alcanzar un determinado objetivo. Su desarrollo puede realizarse para registrar las valoraciones sobre la eficacia de las decisiones por parte de responsables y beneficiarios. Además aporta a estructurar las valoraciones de los responsables de proyecto o de programa sobre acciones en curso. Por último, soporta la discusión sobre el contenido de los proyectos y las asignaciones de los recursos entre acciones durante la elaboración de las estrategias y los programas.

La base fundamental de un análisis multicriterio es establecer una jerarquización de una opción específica en base a un conjunto de reglas específicas. Tomando en cuenta las diferentes posibilidades de aplicación de métodos de evaluación de variable y cantidad de objetivos podemos clasificar a estos en los siguientes tipos:

La metodología multicriterio permite: a) Identificar las partes del sistema; b) Reconocer el peso de las partes del sistema; y, c) Identificar los vínculos entre las partes.

Los problemas de decisión involucran más de dos criterios, los que están en conflicto entre sí al momento en el que el encargado de la toma de decisiones tiene que actuar, lo que hace que para seleccionar la alternativa prioritaria se requiere un manejo científico especial entre las distintas alternativas. Dos de los métodos de análisis multicriterio más usados son 1) El método del Scoring; y, 2) El Proceso de Análisis Jerárquico (Roche, 2005).

El método del Proceso de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process -AHP) pertenece al grupo de Análisis Multicriterio Discreto. Emplea variables cualitativas y cuantitativas frente a múltiples objetivos. Fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty a fines de la década de 1970. Consiste en la descomposición de estructuras complejas en sus componentes (o variables), que son ordenados en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y, finalmente los sintetiza para determinar la variable que tiene la más alta prioridad. El Proceso Analítico Jerárquico se basa en tres principios: 1.- Construcción de las jerarquías; 2.- Establecimiento de prioridades; y 3.- Consistencia lógica.

Como herramienta de apoyo a la toma de decisiones permite: Definir el problema que se desea resolver, identificar los criterios discriminantes en la toma de decisiones, trabajar con un equipo multidisciplinario, estructurar los criterios y subcriterios en una jerarquía, determinar la importancia de cada criterio en términos de ponderadores y sintetizar toda esta información para tomar la mejor decisión para llegar a un resultado en consenso.

Para tomar una decisión de una manera organizada que genere prioridades se debe descomponer la decisión en los siguientes pasos: Definir el problema y determinar la clase de conocimiento buscado; estructurar la jerarquía de las opciones desde la más alta, tomando en cuenta la meta de la decisión, luego los objetivos desde una amplia perspectiva, a través de los niveles intermedios, dependiendo de cuáles son los

elementos dependientes hasta el nivel más bajo, que generalmente es un conjunto de alternativas; construir un conjunto de matrices de comparación pareables. Cada elemento en un nivel superior se usa para comparar los elementos en el nivel inmediatamente más bajo con respecto a este y usar las prioridades obtenidas de las comparaciones para ponderar las prioridades en el nivel inmediatamente más bajo, y hacerlo para cada uno de los elementos. Entonces cada uno de estos tendrá sus valores particulares y su promedio en relación a la prioridad global.

Para hacer comparaciones se necesita una escala de números que indique cuantas veces más importante o dominante es un elemento sobre otro respecto al criterio o la propiedad sobre la cual se está comparando.

Hay muchas escalas aplicables pero una de las más usadas por su familiaridad es la del 1-9 planteada por Saaty (1974), la cual se presenta en el Cuadro 2.1.

**Cuadro 2.1. Escala fundamental de los números absolutos (Saaty, 1974)**

<i>Intensidad o Importancia</i>	<i>Definición</i>	<i>Explicación</i>
1	Igual importancia	Dos factores contribuyen de igual manera al objetivo
2	Débil o Ligera	
3	Moderada Importancia	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente a uno sobre otro factor
4	Moderada Plus	
5	Fuerte importancia	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una sobre otro factor
6	Fuerte Plus	

---

7	Muy fuerte o importancia demostrada	Un factor se demuestra fuertemente superior al otro. Su dominancia se demuestra en la práctica
8	Muy, muy fuerte	
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece a un factor sobre otro es la más alta posible
1,1-1,9	Si los factores están muy cercanos	Aunque resulte complejo asignar el mejor valor es posible comparar con otros factores, lo que implica que el tamaño de estos pequeños números no será tan apreciable a pesar de que con ellos se indique la importancia relativa de estos factores

---

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1 MATERIALES, EQUIPOS, REACTIVOS Y ESTÁNDARES

Los materiales y equipos de campo, los equipos y materiales de laboratorio y el software que se utilizaron en la investigación se presentan en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1. Materiales, equipos y software que se utilizaron en la investigación**

<i>Materiales de Campo</i>	<i>Equipos de campo</i>	<i>Materiales de Laboratorio</i>	<i>Equipos de laboratorio</i>	<i>Software y Equipos de Oficina</i>
Desinfectante				
Pinza	Cronómetro	Instrumentos de aforo	Equipo portátil de laboratorio	SPSS
Lápiz y esferográficos	Flexómetro	Reactivos para análisis de aguas	Espectrofotómetro de absorción atómica	Ofimática
Etiquetas	GPS	Placas petri	Cámara de flujo laminar	Sistema de información geográfica
Bandeja enlozada de color blanco	Red Surber	Conos Imhoff	Digestor DQO	ArcMaps
Baldes	Equipo multiparámetro para calidad de agua		Microscopio	Laptop Windows 8.1
Red surber	Cámara fotográfica		Respirómetro para DBO5	Ipad
Mascarilla antipolvo			Incubadora para DBO5	
Estacas			Estereoscopio	
Botas de caucho			Lámpara de luz	
Guantes quirúrgicos			Lupas	
Guantes de caucho				
Overall				
Coladores				
Botellas de plástico				
Frascos de vidrio				
Hielera portátil				
Cinta adhesiva				
Libreta de recolección de información				

### 3.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS

Con la finalidad de alcanzar los objetivos específicos planteados, el desarrollo de la investigación se cumplió en las siguientes fases: Caracterización de la variabilidad espacial de la contaminación en el sistema hídrico del Tahuando en el tramo seleccionado y definición de los puntos representativos para la implementación del monitoreo sistemático; Determinación de la correspondencia entre los indicadores físico-químicos y biológicos de la calidad del agua, y; Elaboración de la propuesta para el monitoreo permanente de la calidad del agua.

Dadas las particularidades de las actividades en cada una de las tres fases, fue necesario la utilización de herramientas científico- técnicas específicas. Así, en la primera fase de la investigación, en el tema de muestreo fue vital el reconocimiento espacial del entorno a estudiarse, además del empleo de técnicas de procesamiento estadístico de la información cronológica, en la perspectiva de analizar diversas alternativas mediante ponderación de variables y análisis multi-criterio.

En la segunda fase se identificaron los organismos macroinvertebrados presentes en el cuerpo hídrico y su relación para la determinación del índice BMWP y la calidad del agua muestreada. En ambos pasos fue importante la determinación de los valores de los parámetros fisicoquímicos establecidos, tanto para encontrar la correlación estadística con los resultados del monitoreo de los macro-invertebrados, como para establecer la importancia relativa de los valores a ponderar al momento de decidirse por los puntos de monitoreo.

En la tercera fase fue fundamental la participación de las entidades gubernamentales que tienen competencia alrededor de la solución del problema, para lo cual se promocionó el proyecto, particularmente en cuanto a los resultados esperados, en procura de motivar a las autoridades correspondientes a fin de concretar relaciones de apoyo sobre una base de beneficio mutuo.

### **3.3 DEFINICIÓN DE VARIABLES**

Las variables de estudio que se registraron en el presente trabajo tienen relación con los parámetros inmersos en los objetivos específicos, las cuales se describen a continuación:

#### **3.3.1. Variabilidad Espacial de la Contaminación en el Sistema Hídrico del Tahuando y Definición de Puntos Representativos de Muestreo:**

Parámetros fisicoquímicos: oxígeno disuelto, porcentaje de saturación OD, temperatura, pH, DBO5, DQO, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, etc; Niveles de contaminación biológica: coliformes totales y fecales; Distancia a la población más cercana, y; Accesibilidad

### **3.3.2 Presencia de Macroinvertebrados en los Sitios Seleccionados:**

Caracterización de los organismos presentes; clasificación taxonómica a nivel de familia, y; Frecuencia (presencia-ausencia) de organismos

### **3.3.3 Indicadores de Calidad de Agua:**

Parámetros físico – químicos – biológicos de evaluación: oxígeno disuelto, % saturación OD, temperatura, pH, DBO5, DQO, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, coliformes totales, coliformes fecales, ausencia-presencia de macroinvertebrados, etc.; Indicadores físico-químicos NSF, y; Índices BMWP basados en macroinvertebrados

## **3.4 MÉTODOS**

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en el presente trabajo se plantea aplicar la siguiente metodología:

### **3.4.1 Caracterización de la Variabilidad Espacial de la Contaminación**

Inicialmente se realizó un reconocimiento del curso del río Tahuando a lo largo de un tramo de alrededor de 20 km a partir del sector Zuleta en la confluencia del río con la quebrada Guayrapungu hasta el sector de la parroquia El Priorato, atravesando el sitio en donde está en construcción la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ibarra, que incluye las parroquias de Angochagua, La Esperanza, El Sagrario y San Francisco.

Para la caracterización de la variabilidad de la contaminación en el tramo seleccionado, se preseleccionaron 24 puntos posibles de muestreo. La preselección de los sitios se realizó bajo dos criterios; por un lado, acceso físico viable; y, por otro, lugares donde se producían posibles alteraciones de contaminación del cuerpo hídrico, tales como descargas, confluencia con fuentes hídricas, presencia de ganado, desembocadura de canales de riego, etc. En cada punto se registraron las coordenadas geográficas, la información sobre las poblaciones cercanas y las características particulares del terreno que tienen potencial afectación en el cuerpo hídrico, tales como el uso del suelo, la cobertura vegetal, etc. Toda esta información se subió al sistema ArcMaps.

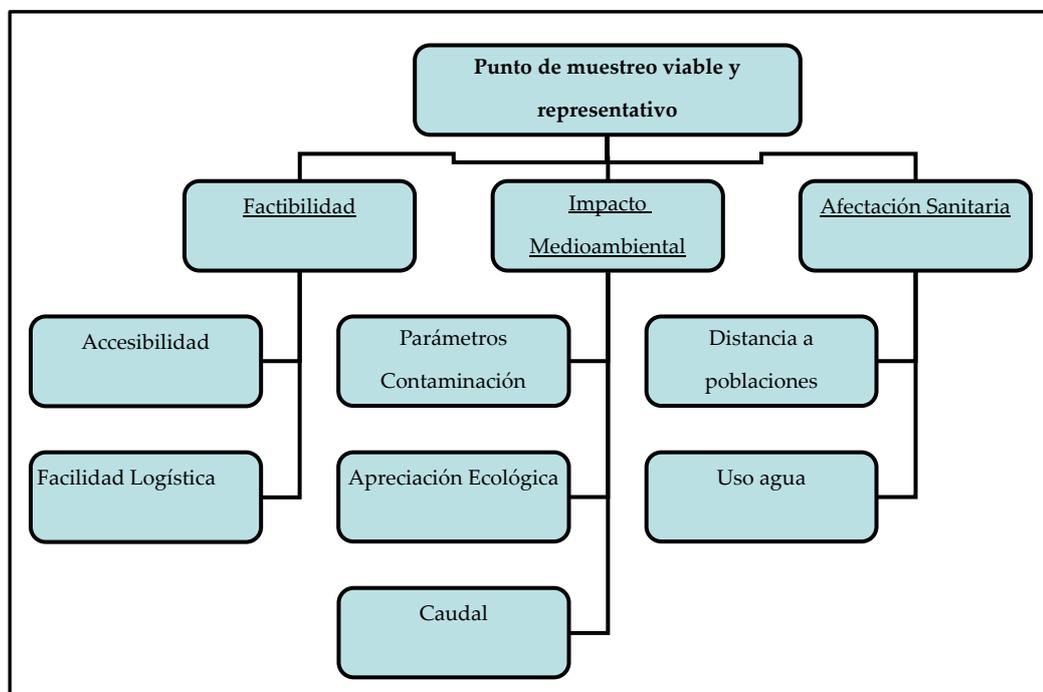
A continuación, en los sitios preseleccionados se realizó el monitoreo de la calidad del agua en el periodo comprendido entre el 5 de febrero y el 5 de junio de 2015, que consistió en la recolección de muestras compuestas de agua en cada sitio, utilizando envases de vidrio con capacidad de 500 ml, previamente lavados, esterilizados y con un lavado previo con el agua a muestrear.

Inmediatamente se realizaron los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de las muestras de agua recolectadas, siguiendo las metodologías usadas por el Laboratorio de la Empresa Municipal de Agua Potable. También, se incluyeron muestras de aportantes especiales con el fin de mejorar el criterio al momento de toma de decisiones de los futuros puntos de muestreo para el monitoreo estandarizado a ser recomendado.

Se integraron en el sistema ARGIS las coordenadas de los puntos muestreados con los correspondientes datos de los análisis físico-químicos de laboratorio y se realizó el análisis estadístico para establecer la variabilidad espacial de la contaminación (análisis de conglomerados).

Con la finalidad de establecer las variables a ser analizadas para jerarquizar los puntos de muestreo se construyó un árbol de jerarquías, en el que se consideraron tres aspectos: a.- la factibilidad física, logística y económica que facilite un análisis secuencial, b.- el impacto medioambiental del curso de agua y sus alrededores; y, c.-

la afectación sanitaria a nivel de posibilidad de contacto con la población aledaña. A su vez, de estas consideraciones se derivaron los criterios específicos a ser ponderados de acuerdo a su importancia relativa respecto al objetivo global (Figura 3.1).



**Figura 3.1** Árbol de jerarquización para establecer los puntos de muestreo de la contaminación en el río Tahuando.

Para el análisis multicriterio, del árbol de jerarquización se derivaron las siguientes matrices de comparación: para los criterios respecto a los objetivos y tres para los subcriterios entre sí (Cuadros 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5). Los valores con los cuales se puntuó la influencia de los criterios entre si están basados en la escala de Saaty (1974).

**Cuadro 3.2.** Matriz de comparación de pares entre los principales criterios respecto al objetivo.

	<i>Factibilidad</i>	<i>Impacto Medioambiental</i>	<i>Afectación Sanitaria</i>	<i>Suma</i>	<i>Peso</i>
<i>Factibilidad</i>	1	0.5	4	5.50	0.37
<i>Impacto Medioambiental</i>	2	1	3	8.00	0.53

<i>Afectación Sanitaria</i>	0.25	0.3	1	1.55	0.10
-----------------------------	------	-----	---	------	------

En relación a la comparación entre pares de subcriterios relacionados con la factibilidad se utilizaron los siguientes valores para el análisis

**Cuadro 3.3. Matriz de comparación de pares entre los subcriterios referidos a la factibilidad.**

	<i>Accesibilidad</i>	<i>Facilidad Logística</i>	<i>Suma</i>	<i>Peso</i>
<i>Accesibilidad</i>	1	2	3	0.67
<i>Facilidad Logística</i>	0.5	1	1.5	0.33

La relación de comparación entre pares de subcriterios relacionados con los impactos medioambientales se utilizó los siguientes valores:

**Cuadro 3.4. Matriz de comparación de pares entre los subcriterios referidos al impacto medioambiental en el río Tahuando.**

	<i>Parámetros de Contaminación</i>	<i>Apreciación Ecológica</i>	<i>Caudal</i>	<i>Suma</i>	<i>Peso</i>
<i>Parámetros de Contaminación</i>	1	5	3	9	0.64
<i>Apreciación Ecológica</i>	0.2	1	2	3.2	0.23
<i>Caudal</i>	0.3	0.5	1	1.8	0.13

Por último, para evaluar la afectación sanitaria se aplicaron los siguientes índices para obtener sus correspondientes relaciones.

**Cuadro 3.5. Matriz de comparación de pares entre los subcriterios referidos a la afectación sanitaria.**

	<i>Parámetros de Contaminación</i>	<i>Apreciación Ecológica</i>	<i>Caudal</i>	<i>Suma</i>	<i>Peso</i>
<i>Parámetros de Contaminación</i>	<i>1</i>	<i>5</i>	<i>3</i>	<i>9</i>	<i>0.64</i>
<i>Apreciación Ecológica</i>	<i>0.2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3.2</i>	<i>0.23</i>
<i>Caudal</i>	<i>0.3</i>	<i>0.5</i>	<i>1</i>	<i>1.8</i>	<i>0.13</i>

Los pesos para cada uno de los subcriterios establecidos en el árbol de jerarquización de acuerdo a su ponderación relativa en el global de los criterios se presentan en el Cuadro 3.6.

**Cuadro 3.6. Ponderación de Subcriterios.**

	<i>Peso Parcial</i>	<i>Ponderación del Criterio Principal</i>	<i>Peso referido al total</i>
<i>Accesibilidad</i>	0.67	0.37	0.25
<i>Facilidad Logística</i>	0.33	0.37	0.12
<i>Parámetros de Contaminación</i>	0.64	0.53	0.34
<i>Apreciación Ecológica</i>	0.23	0.53	0.11

<i>Caudal</i>	0.13	0.53	0.07
<i>Distancia a poblaciones</i>	0.75	0.10	0.08
<i>Uso del Agua</i>	0.25	0.10	0.03

En el análisis multicriterio se consideraron las siguientes variables: accesibilidad, facilidad logística, parámetros de contaminación, apreciación ecológica, caudal, distancia a poblaciones y uso del agua, las mismas que se describen a continuación.

En cuanto al indicador de la accesibilidad, cada uno de los puntos de muestreo preseleccionados fue calificado en un rango de 1 a 10, correspondiendo el mayor valor a una mejor facilidad de acceso al sitio por parte del personal encargado del muestreo. Las características del terreno que se consideraron en la calificación fueron entre otros, la distancia a una vía vehicular y la existencia de senderos.

En la evaluación del indicador de facilidad logística se consideró como criterio que la toma de la muestra pueda realizarse en el menor tiempo posible, de manera de disponer de las muestras de los otros sitios el mismo día, y así llegar con éstas al Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Municipal de Agua Potable de Ibarra (EMAPA-I), definido como centro de operaciones logísticas. Como en el caso anterior, los sitios se calificaron en el rango de 1 a 10, correspondiendo el mayor valor a aquel que presentaba las mejores condiciones logísticas.

En cada uno de los puntos preseleccionados se registraron los valores de: caudal, pH, oxígeno disuelto, % de saturación de O<sub>2</sub>, conductividad eléctrica y temperatura, utilizando un equipo multiparamétrico. Seguidamente, para la determinación de la turbiedad, sólidos totales, sólidos totales disueltos (TDS), DBO, DQO, P-PO<sub>4</sub>, P Total, N-NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, coliformes totales y E. coli se tomaron muestras de agua siguiendo un procedimiento estándar, utilizando frascos color ámbar esterilizados previamente y debidamente etiquetados, los cuales fueron transportados al Laboratorio de Control de Calidad de la EMAPA.

Para establecer un índice referencial de la contaminación se procedió a ponderar los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos constantes en el Field Manual for Water Quality Monitoring, el cual señala la metodología normalizada para el cálculo del índice de calidad del agua (NSF), en base a la determinación de los coeficientes  $W_i$  resultantes de los estudios previos que han sido condensados en cartas especializadas que se presentan en el Anexo 3. A estos valores se los ponderó con un peso específico para cada uno de ellos. La fórmula para el cálculo del índice es la siguiente:

$$NSF = \sum_{i=1}^9 S_{ii} * W_i$$

El indicador de la calidad del agua, que determina el grado de la contaminación fue ponderado en el rango de 0 a 10 tomado en cuenta el mayor valor al punto en el cual se presente el mayor grado de contaminación físico-química y biológica.

En cada uno de los 24 puntos preseleccionados de muestreo se realizó una apreciación visual del estado de conservación natural del entorno del río; para ello, se consideraron los siguientes elementos: estado de las orillas, cobertura vegetal, sedimentos, rastros de actividad antrópica, y en general todo factor que haya tenido impacto en el estado natural del río y sus alrededores.

La evaluación del parámetro caudal se realizó tomando como base el mayor caudal medido en el curso del río durante las observaciones, otorgándole a éste un puntaje de 10, a partir de este valor se realizó el cálculo proporcional para los demás puntos.

Utilizando el mapa del sistema de información geográfica en el que consta la ubicación de los 24 puntos preseleccionados se procedió a determinar la distancia de cada uno de ellos a las poblaciones más cercanas. A la menor distancia se le asignó un valor de 10 en la ponderación, que corresponden a aquellos localizados en la zona urbana de la ciudad de Ibarra.

El factor uso del agua fue evaluado tomando en cuenta la posibilidad real de uso del agua para fines agrícolas, pecuarios y/o recreativos. Se constató en algunos de los puntos esta situación por lo que en esos lugares en particular las puntuaciones tendrán el máximo valor.

### 3.4.2 Definición De Los Puntos Representativos Para El Muestreo Permanente

Se procedió a elaborar una matriz de priorización en donde, para cada punto muestreado se incluyeron las variables correspondientes a los parámetros fisicoquímicos, los indicadores microbiológicos, la posibilidad de afectación sanitaria, la fragilidad del ecosistema, la distancia a poblaciones aledañas y la accesibilidad. A partir de esta información se establecieron los criterios de ponderación con su respectiva puntuación en base a la calificación de cada uno de los criterios y se seleccionaron cinco puntos para el muestreo definitivo. La matriz utilizada en la priorización se presenta en el Cuadro 3.7.

**Cuadro 3.7. Matriz de análisis multicriterio para determinación de puntos de muestreo**

<i>Número</i>	<i>Nombre</i>	<i>Accesibilidad</i>	<i>Facilidad Logística</i>	<i>Parámetros de contaminación</i>	<i>Apreciación ecológica</i>	<i>Caudal</i>	<i>Distancia a poblaciones</i>	<i>Uso del agua</i>	<i>TOTAL</i>
---------------	---------------	----------------------	----------------------------	------------------------------------	------------------------------	---------------	--------------------------------	---------------------	--------------

### 3.4.3 Correspondencia entre los Indicadores Físico-Químicos y Biológicos

La evaluación de la calidad del agua del río Tahuando en los cinco puntos de muestreo definitivo en el trayecto de influencia del área urbana de la ciudad de Ibarra que cubre una extensión de 15 km, se realizó mediante la determinación de los índices de calidad, siguiendo dos procedimientos. El primero corresponde a los índices de calidad establecidos por la National Sanitation Foundation (NSF), que se basa en los indicadores físico-químicos y microbiológicos; en tanto que, el segundo es el sistema BMWP Col establecido por Roldán en 1998, que considera la presencia de macroinvertebrados acuáticos. A continuación se detalla la metodología que se utilizó

durante el periodo de enero a junio de 2016, en el que se realizaron seis muestreos, a un intervalo de alrededor de un mes.

Para la determinación del índice de calidad del agua del tramo seleccionado del río Tahuando, según la National Sanitation Foundation (NSF) se realizó actividades en las que consistía, el registro in-situ de los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad y porcentaje de saturación de oxígeno usando un equipo multi-parámetro. A continuación se recolectó 500 ml de agua para los análisis físico-químicos y microbiológicos respectivos en el Laboratorio de Control de Calidad de EMAPA-I, según los siguientes protocolos que se anotan en el Cuadro 3.7. Y finalmente se procede a realizar el cálculo de índices de calidad NSF, para lo cual se introdujeron los datos de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua en el Servicio de Cálculo Online ofrecido por el Water Research Center, disponible en <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>. Mediante este servicio se obtuvieron de manera directa la ponderación de los valores para cada uno de los parámetros analizados, así como, la suma ponderada de los mismos. La generación de los datos de los indicadores de calidad del agua y la obtención de los índices de calidad de agua (NSF) fue acuerdo a los criterios (Cuadro 3.8) y mediante el uso de la fórmula que se presentan a continuación:

$$NSF = \sum_{i=1}^9 Q_i * W_i$$

Dónde:  $Q_i$  es el subíndice de la variable analizada y  $W$  es el peso ponderado de cada variable.

**Cuadro 3.8. Variables físicoquímicas evaluadas en las muestras de agua del río Tahuando en el período enero – junio 2016**

<i>Variable</i>	<i>Unidad</i>	<i>Fundamento</i>
Temperatura	°C	Termómetro

---

Turbiedad	Unidades Nefelométricas	Turbidímetro
Sólidos Totales	mg/l	Gravimetría
DBO	mg/t DBO	APHA-AWWA
% Saturación O <sub>2</sub>	%	Equipo Multiparámetro
O <sub>2</sub> disuelto	mg/l O <sub>2</sub>	Equipo Multiparámetro
pH	unidades pH	pHmetro
Conductividad	μS/cm	Conductímetro
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub>	Colorimetría
Fosfatos	mg/l PO <sub>4</sub>	Colorimetría Ácido ascórbico
Coliformes fecales	NMP/100 ml	Conteo colonias tubos múltiples

---

La determinación del Índice de Calidad BMWP Col en base a los macroinvertebrados acuáticos comprendió la siguiente secuencia de actividades: Inicialmente se realiza el muestreo de macroinvertebrados en cada uno de los cinco puntos de muestreo seleccionados, en donde se caracterizó el sustrato del río y se procedió a la recolección de los organismos macroinvertebrados utilizando la red Surber recomendada para ríos y quebradas. Ésta consiste de un marco metálico de 900 cm<sup>2</sup> (30 x 30 cm), unida a una red de forma cónica y tejido muy fino (0.595 mm). El marco metálico se colocó sobre el fondo del río, en contra corriente y se removió el área demarcada con piola (1 m<sup>2</sup>), eliminando cuidadosamente las piedras y sustrato. Las larvas removidas quedaron atrapadas en la red por la propia corriente. Se recogieron por duplicado los organismos en las dos márgenes y en el centro del río, los mismos que se colocaron en recipientes de plástico de 500 ml con alcohol al 70% y se etiquetaron con referencia al lugar y fecha.

Luego, la limpieza de los macroinvertebrados colectados de cada muestra se colocó en una bandeja blanca para retirar las impurezas y resto de materiales. A continuación se adicionó cloruro de sodio para que las hojas y otros cuerpos pesados de diferente densidad floten, los mismos que fueron retirados con pinzas. Los organismos encontrados se depositaron en frascos de plástico, con alcohol al 70 % y

glicerina, se etiquetaron y se llevaron al Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Municipal de Agua Potable de Ibarra.

Finalmente para la identificación de los organismos se utilizó un estéreo - microscopio marca Leica ® y se siguió la guía propuesta para la identificación de macroinvertebrados acuáticos. Los organismos identificados se clasificaron a nivel de familia. A cada familia se le otorgó una puntuación del 1 al 10, de acuerdo con el grado de tolerancia a la contaminación. La suma de las calificaciones obtenidas determina el indicador de calidad de agua. Las familias que presentaron las mayores puntuaciones se asociaron a una buena calidad de acuerdo a lo establecido en el Cuadro 3.9.

**Cuadro 3.9. Pesos ponderados para cada variable de los índices NSF (González, Aguirre & Caicedo, 2013)**

<i>VARIABLE</i>	<i>NSF(1978)</i>
<b>% Oxígeno Disuelto</b>	0.17
<b>Coliformes Fecales</b>	0.16
<b>pH</b>	0.11
<b>DBO</b>	0.11
<b>Nitratos</b>	0.10
<b>Fosfatos</b>	0.10
<b>Temperatura</b>	0.10
<b>Turbiedad</b>	0.08
<b>Sólidos Totales</b>	0.07

Los criterios de calidad de agua propuestos para el análisis mediante presencia-ausencia de macroinvertebrados serán establecidos de acuerdo a lo establecido por el índice BMWPA.

**Cuadro 3.10. Criterios de calidad del agua según el índice BMWPA (Carrera & Fierro, 2001)**

<i>CLASE</i>	<i>CALIDAD</i>	<i>BMWPA</i>	<i>SIGNIFICADO</i>
I	MUY BUENA	101-145>	Aguas muy limpias Aguas no contaminadas poco alteradas

II	BUENA	61-100	Evidencia efectos de contaminación
III	REGULAR	36-60	Aguas contaminadas
IV	MALA	16-35	Aguas muy contaminadas
V	MUY MALA	0-15	Aguas severamente contaminadas

Para establecer la correspondencia entre los parámetros físico-químicos y los organismos macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua, se realizó el análisis de correlación de Pearson y el análisis de regresión progresivo múltiple.

#### **3.4.4 Propuesta para el Monitoreo Sistemático de la Calidad del Agua en el Río Tahuando**

A partir de la información obtenida y procesada sobre los parámetros físico-químicos y biológicos, se elaboró la propuesta técnica, operativa y económicamente viable para el monitoreo sistemático de la calidad del agua en los puntos definidos, que considere tanto los parámetros físico-químicos (cualitativos y cuantitativos) como la composición de las comunidades de organismos macro invertebrados fluviales, cuya implementación futura deberá ser asumida de las entidades gubernamentales que tienen la competencia de manejo del recurso hídrico de la zona de estudio, como base para la formulación de las políticas, estrategias y acciones técnicas más convenientes para el manejo ambiental sostenido de la cuenca del río Tahuando, las cuales a su vez servirán de referente para otras cuencas del país.

El borrador de la propuesta técnica elaborada será socializado en un evento especial, en el que participarán las autoridades y funcionarios de las entidades gubernamentales que tienen la competencia de manejo del recurso hídrico de la zona de estudio. Las opiniones y sugerencias servirán como insumos para la formulación de la propuesta definitiva.

## **CAPÍTULO IV**

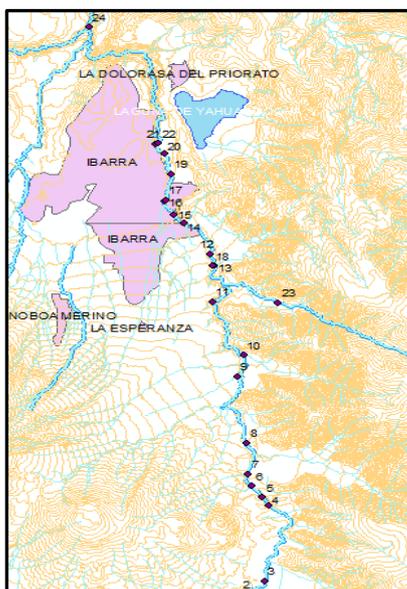
### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA CONTAMINACIÓN EN EL RÍO TAHUANDO**

La variabilidad espacial de la contaminación en el río Tahuando ha sido estudiada mediante la evaluación de los criterios expuestos en la metodología. Dicha información se presentan a continuación

#### 4.1.1 Características de los Puntos Preseleccionados

En la Figura 4.1 se presenta el mapa que contiene la ubicación geográfica de los 24 puntos preseleccionados para evaluar la contaminación espacial del río Tahuando en el trayecto de alrededor de 20 km desde la confluencia con la quebrada Guayrapungu hasta la parroquia El Priorato ; en tanto que, el Anexo 2 (Tabla 1) contiene los nombres de los sitios, las coordenadas geográficas y las variables de accesibilidad, facilidad logística, apreciación ecológica, distancia a poblaciones y uso del agua.



**Figura 4.1. Localización espacial de los 24 puntos preseleccionados de muestreo en el río Tahuando, desde la confluencia con la quebrada Guayrapungu hasta la parroquia El Priorato**

Los puntos más accesibles fueron los más cercanos a la zona urbana de la ciudad de Ibarra, debido a la disponibilidad de vías de acceso directo, lo que implica una mayor facilidad logística al estar ubicado el Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Municipal de Agua Potable en el sector de Caranqui. Al revisar el tema de apreciación ecológica se verifica que los sitios de mejor puntuación son los que han sufrido escasa afectación por la actividad antrópica, básicamente los que se encontraban en la zona rural alejados de las principales concentraciones pobladas por su relación con las descargas de aguas negras, lo que también influye de manera notable en los aspectos observados en el aspecto de afectación sanitaria.

#### **4.1.2 Indicadores Físico-Químicos Determinados *In Situ***

Los valores de los indicadores físico-químicos determinados in situ en los 24 puntos preseleccionados del río Tahuando se presentan en el Anexo 2 (Tabla 2), el caudal registrado en los 24 puntos varía entre 0,4 y 2,5 m<sup>3</sup>/s para los puntos 10 y 8, respectivamente; sin embargo, predominan los caudales menores a 1m<sup>3</sup>/s; no obstante que el Tahuando, un río de altura y de trayecto de montaña, en general el agua tiene reacción alcalina, con valores de pH que oscilan entre 7,09 y 8,36 (puntos 1 y 15, respectivamente); los valores del oxígeno disuelto varían entre 6,45 y 8,82 mg/l, (puntos 16 y 9, respectivamente); el porcentaje de saturación de oxígeno se sitúa entre 63,62 y 86,07% (puntos 16 y 15, respectivamente); la temperatura del agua se encuentra en el rango de 10,7 a 18,5 °C, correspondiendo los valores más bajos a los puntos de la sección más alta del tramo del río, cuya diferencia de nivel va desde 2890 hasta 1560 m.s.n.

#### **4.1.3 Indicadores Físico-Químicos y Biológicos Determinados En El Laboratorio**

Los valores de los indicadores físico-químicos y microbiológicos de las muestras de agua tomadas en los 24 puntos del río Tahuando se presentan en el Anexo 2 (Tabla 3).

Los valores de turbiedad de los 24 puntos preseleccionados del agua del río Tahuando oscilan entre 6 y 90 NTU. Dichos valores tienen su variabilidad en función de la pluviosidad de la zona, ya que a mayores caudales ocasionados por las lluvias hay un mayor arrastre de sólidos en el agua, lo que se asocia a los valores de los sólidos totales, que durante el tiempo del estudio se mantuvieron en el rango de 130 a 330 partes por millón, de éstos, los sólidos totales disueltos están entre 48 y 143 partes por millón.

La conductividad que representa la carga eléctrica correspondiente a los iones disueltos se encuentra entre 64 y 162  $\mu$ s.

La demanda química de oxígeno presenta un amplio rango de variabilidad, entre 5 y 135 ppm; mientras que, la demanda bioquímica de oxígeno está en los rangos de 1 a 28. Ambos valores se van incrementando en el recorrido del río.

Los valores de fósforo en la forma del ión fosfato, de los 24 puntos preseleccionados del agua del río Tahuando oscilan entre 0.43 y 3 ppm, además el nitrógeno en la forma de ión nitrato se encuentra entre 0.2 y 1.1 ppm; en tanto que el amonio varía entre 0 a 8 ppm.

Por último, los indicadores biológicos de contaminación encontrados en los conteos reportan valores desde 800 hasta 1 500 000 UFC; de éstos, los coliformes fecales oscilan en un amplio rango que va de 30 a 868 000 UFC.

#### **4.1.4 Ponderación de Factores Analizados**

En el Anexo 2 (Tabla 4) se presenta la matriz de ponderación de los factores analizados en cuanto a accesibilidad, facilidad logística, parámetros de contaminación, apreciación ecológica, caudal, distancia a poblaciones y uso del agua.

## **4.2 PUNTOS REPRESENTATIVOS PARA EL MUESTREO PERMANENTE**

Entre los 24 puntos preseleccionados del río Tahuando, aquellos que alcanzaron en la ponderación valores de 15, 17, 19, 20 y 24 corresponden a las mejores puntuaciones para el monitoreo de la contaminación; sin embargo, debido a que la distancia entre algunos de estos puntos fue demasiado corta (19 y 20; 17 y 16) como para ser espacialmente representativos en el contexto de un monitoreo viable, se procedió a fusionarlos para incluir el siguiente menos puntuado.

El Cuadro 4.1 contiene las coordenadas geográficas de cada uno los cinco puntos seleccionados, el nombre del sitio y el número respectivo.



continuación se presenta las imágenes de los puntos de monitoreo final en los cuales se tomaron las muestras.



**Figura 4.3. Primer punto de muestreo “La Toma”**

El **erillo Alto**, y tiene como característica fundamental la presencia de la bocatoma del canal de riego que termina en la Laguna de Yahuarcocha



**Figura 4.4. Segundo punto de muestreo “El Alpargate”**

Este punto que se ha denominado “El Alpargate” se encuentra ubicado en el barrio del mismo nombre, a un lado del camino de ingreso a la Loma de Guayabillas.



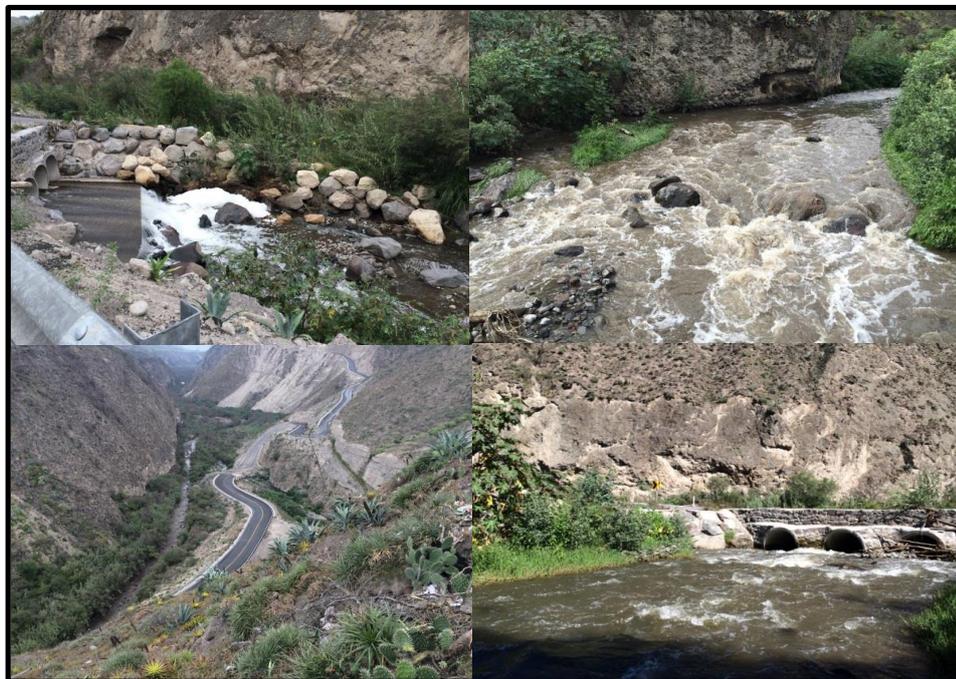
**Figura 4.5. Tercer punto de muestreo “Puente Rojo”**

El tercer punto se ha denominado “Puente Rojo” por el puente peatonal del mismo color, que atraviesa el Tahuando en el Barrio “La Victoria”.



**Figura 4.6. Cuarto punto de muestreo “17 de julio”**

El punto denominado “17 de julio” se ha denominado debido a la presencia de un tanque de sedimentación de aguas servidas identificado de esa manera. Este punto es cercano a la llamada “Piedra Chapetona”



**Figura 4.7. Quinto punto de muestreo “Tahuando”**

Este punto final de muestreo esta ubicado cerca de la unión del río Tahuando con el Ambi, y cuyo acceso es a la fecha restringido, debido a la construcción de la nueva vía que une la Panamericana con la carretera a Urcuquí.

### **4.3 CORRESPONDENCIA ENTRE INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA**

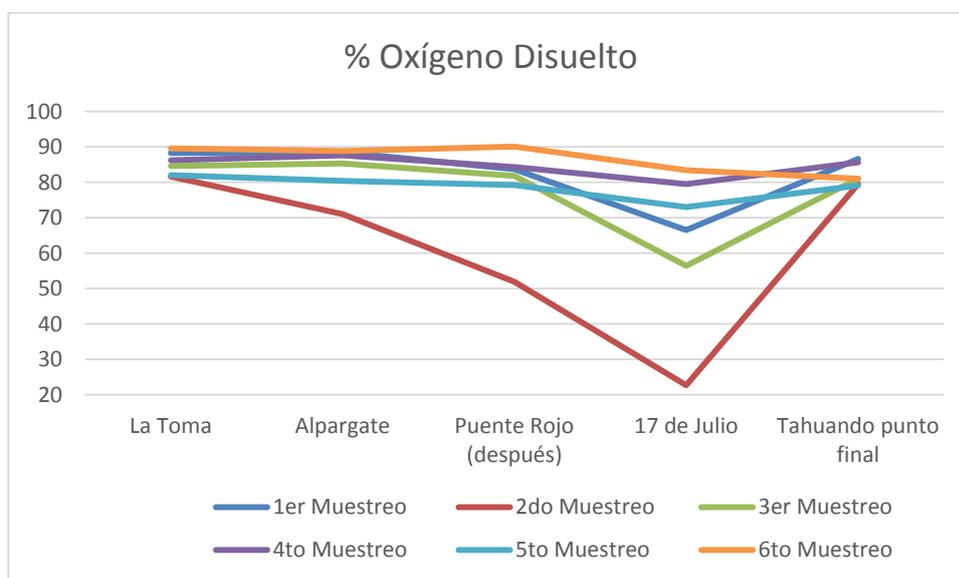
La obtención de los datos de calidad de agua indica, como veremos a continuación, una relación directa que se refleja en curvas casi paralelas, lo que da la idea que existe relación entre ambos procedimientos de evaluación, sin embargo es necesario determinar de manera estadística dicha correspondencia.

### 4.3.1 Parámetros físico-químicos y biológicos

A continuación se analiza la evolución de los parámetros físico-químicos del agua del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016, los mismos que sirvieron para el cálculo del índice NSF de calidad de agua en relación a la presencia de contaminantes.

#### 4.3.1.1 Oxígeno disuelto

El porcentaje de oxígeno disuelto en los puntos representativos del río Tahuando varía entre 80 a 90%, excepto en el sitio 17 de Julio en el que se registraron los menores valores en todas las fechas de muestreo (Figura 4.8), llegando a un valor de 20% en el segundo muestreo, en el cual también se puede apreciar un considerable y progresivo descenso desde el sitio La Toma hasta el punto 17 de Julio, para nuevamente ascender a 80% en el sitio Tahuando Punto final.

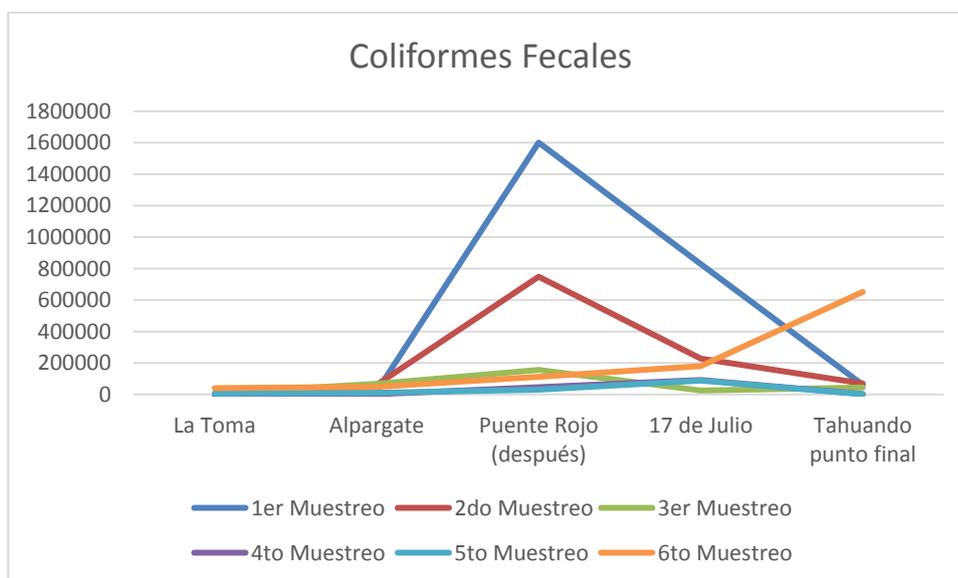


**Figura 4.8. Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016**

Estos resultados indican que la calidad del agua en lo referente al oxígeno disuelto en el Río Tahuando es buena al momento de soportar la existencia de organismos aerobios. Así, mismo, estos valores guardan una relación inversa con la cantidad de materia orgánica y de coliformes fecales, parámetros que se analizan más adelante.

#### 4.3.1.2 Coliformes fecales

Durante las seis fechas de muestreo, los coliformes fecales en los sitios La Toma y Alpargate prácticamente están ausentes. En cambio, el sitio Puente Rojo (después) presentó las mayores cargas de coliformes fecales en el primer y segundo muestreo (1500000 y 700000 (UFC/100 ml respectivamente), lo cual se atribuye a la presencia de un intenso aporte de aguas residuales provenientes del alcantarillado que son aportadas al río en esos puntos (Figura 4.9).



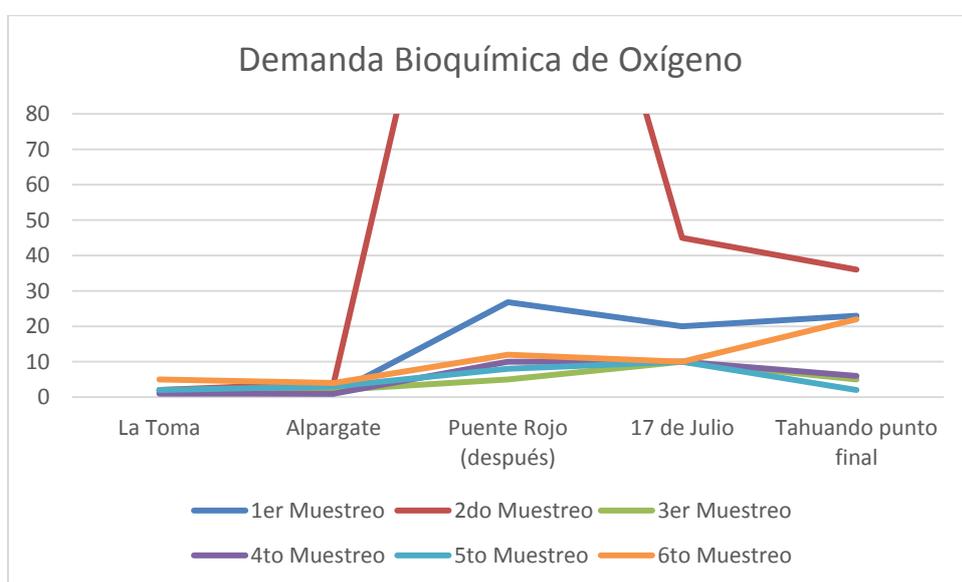
**Figura 4.9. Coliformes Fecales (UFC/100 ml) del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016**

En el sitio Tahuando Punto Final, la carga de coliformes fecales disminuye muy significativamente, alcanzando el valor inicial del punto La Toma, excepto en el sexto muestreo en el que se detecta un valor superior a 500000 (UFC/100 ml).

Estos valores evidencian que la calidad del agua del río Tahuando en su paso por el área urbana de la ciudad es de una bajísima calidad, siendo contaminadas por las descargas del alcantarillado municipal.

### 4.3.1.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La evolución de la demanda bioquímica de oxígeno, guarda correspondencia inversa con la carga de coliformes totales; así, los mayores valores corresponden al segundo muestreo para el sitio Puente Rojo (después), seguido del punto 17 de Julio. En los sitios La Toma y Alpargate los valores son menores a 10%; aunque, una situación similar se evidencia en el sitio Tahuando Punto Final en primer y cuarto muestreo (Figura 4.10).



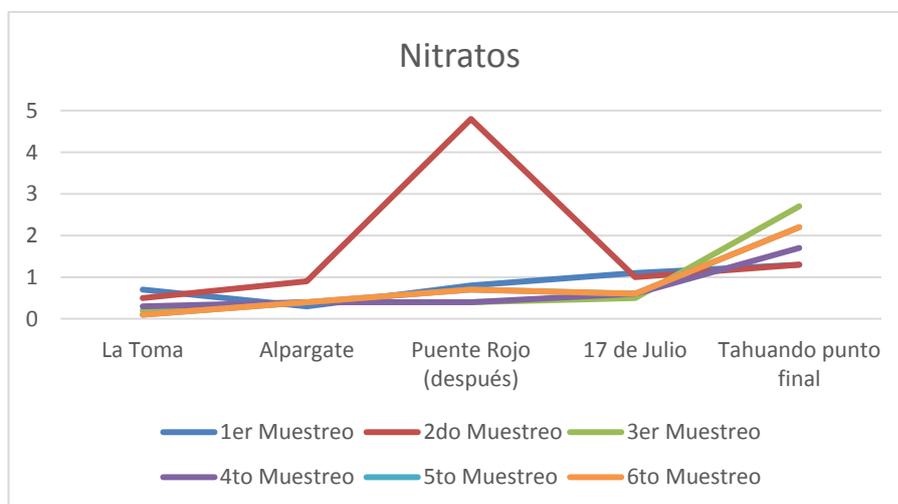
**Figura 4.10. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 ppm) del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016**

Es necesario señalar que en el segundo muestreo el valor de la DBO5 en el punto Puente Rojo fue de 215%, lo que evidencia que el río sufrió una fuerte carga contaminante la cual se concentró debido al escaso caudal. Ello lo corroboran también en las tendencias de nutrientes (nitratos y fosfatos) que se analizan más adelante.

### 4.3.1.4 Nitratos

En los sitios La Toma y Alpargate la concentración de nitratos en las seis fechas de muestreo es inferior a 1 ppm. También, en el sitio Puente Rojo (después) se observa una concentración similar, excepto en el segundo muestreo que alcanza el valor

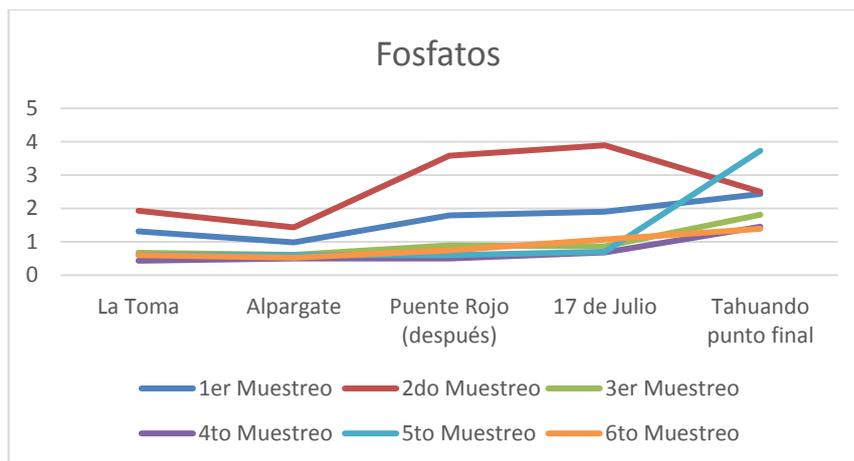
superior a 4 ppm. En cambio, en el sitio Tahuando Punto Final, en las seis fechas de muestreo el contenido de nitratos se ubica en el rango de 1 a 3 ppm (Figura 4.11).



**Figura 4.11. Contenido de nitratos (ppm) del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016**

#### 4.3.1.5 Fosfatos

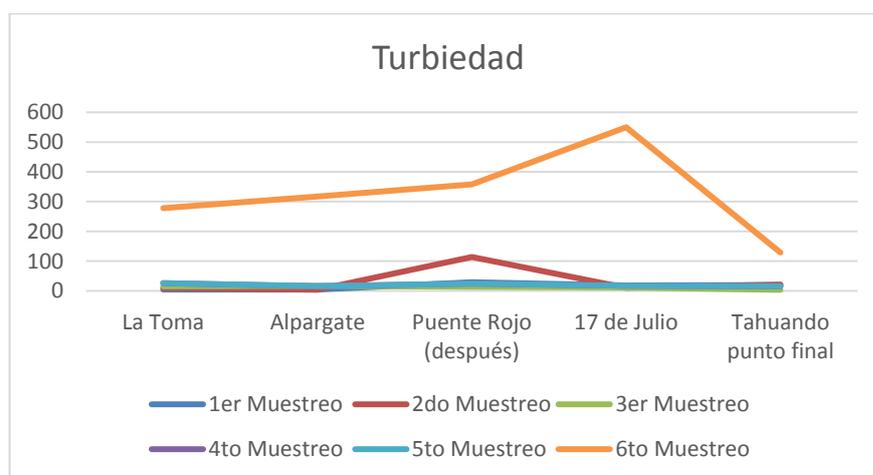
La concentración de fosfatos en los sitios La Toma, Alpagate Puente Rojo (después) en y 17 de Julio, en cinco de seis fechas de monitoreo se ubican en el rango de 0.5 a 2 ppm. Para todos los cinco puntos en el segundo muestreo se obtuvieron los mayores contenidos de fosfato, correspondiendo los valores más altos a los puntos Puente Rojo (después) y 17 de Julio, que se ubican en el rango de 3 a 4 ppm. Igual rango le corresponde al sitio Tahuando Punto Final en quinto muestreo (Figura 4.12).



**Figura 4.12. Contenido de fosfatos (ppm) del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016**

#### 4.3.1.6 Turbiedad

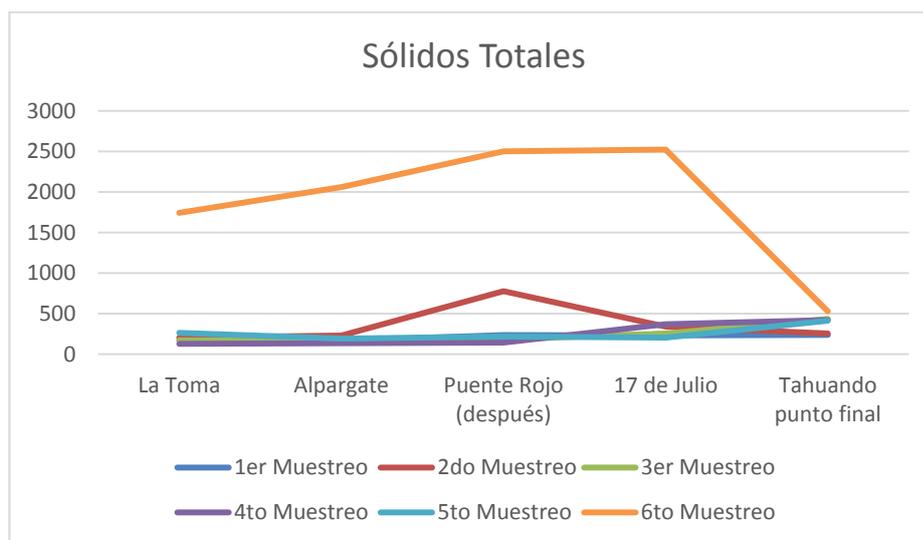
La turbiedad del agua a lo largo del periodo de monitoreo en los cinco puntos representativos es inferior a 100 NTU; sin embargo, en el muestreo final, realizado el 8 de junio de 2016 se evidencia una apreciable elevación de la turbiedad en todos los puntos, correspondiéndole el mayor rango (500 – 600 NTU) al sitio 17 de Julio. (Figura 4.13), lo cual se atribuye a un importante arrastre de materiales producido por el período lluvioso en torno a la fecha indicada. Ello tiene también relación con el contenido de sólidos totales y la presencia de macroinvertebrados, parámetros que se analizan más adelante.



**Figura 4.13. Turbiedad (NTU) del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016**

#### 4.3.1.7 Sólidos Totales

A lo largo del período de monitoreo, la evolución de la concentración de sólidos totales es similar a aquella de la turbiedad, con valores inferiores a 500 ppm; excepto, en el sexto muestreo en el que se eleva en todos los puntos, alcanzando el máximo valor de 2500 ppm en los sitios Puente Rojo (después y 17 de Julio (Figura 4.14).



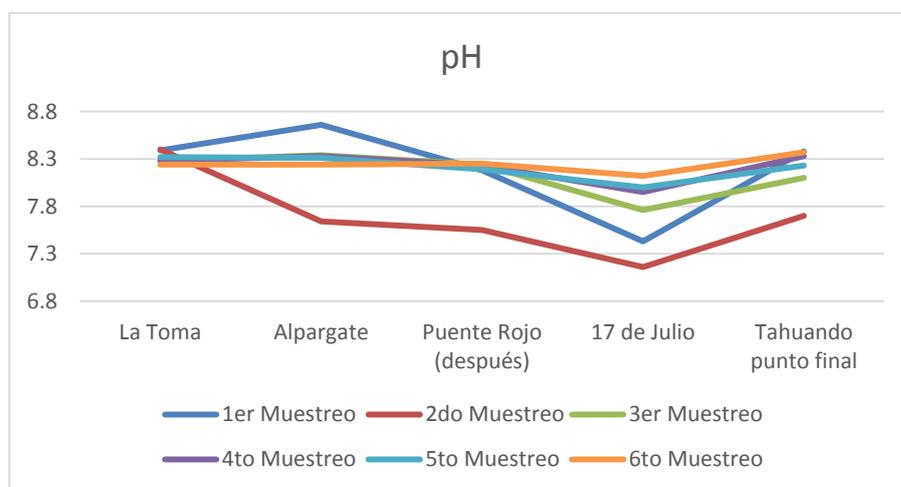
**Figura 4.14. Sólidos Totales (ppm) del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016**

Es pertinente hacer notar que en el segundo muestreo tanto los valores de turbiedad como de sólidos totales en el sitio Puente Rojo (después) son mayores a los otros puntos.

#### 4.3.1.8 Potencial Hidrógeno (pH)

En general en los cinco puntos de muestreo y en las seis fechas de monitoreo, el agua del río Tahuando en el tramo seleccionado es de reacción alcalina, con valores de pH superiores a 7. En los sitios La Toma y Alpargate los valores de pH se ubican en el rango de 8.3 a 8.8, produciéndose un progresivo descenso en todas las fechas de muestreo hasta el sitio 17 de Julio, en el que se registra un valor de pH 7 en el segundo muestreo. Esta tendencia descendiente se atribuye a los vertidos de alcantarillado; sin embargo, es notable que en el sitio Tahuando Punto Final, los valores de pH se elevan

nuevamente al rango de 7.6 a 8.3 (Figura 4.15).



**Figura 4.15. pH del agua del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016**

#### 4.3.2 Índices de calidad de agua NSF

En el Cuadro 4.2. se presentan los valores de los índices de la calidad del agua (NSF) del río Tahuando, obtenidos a partir de los indicadores físico-químicos y microbiológicos, en los cinco sitios seleccionados y para las seis fechas de muestreo del período enero a junio de 2016.

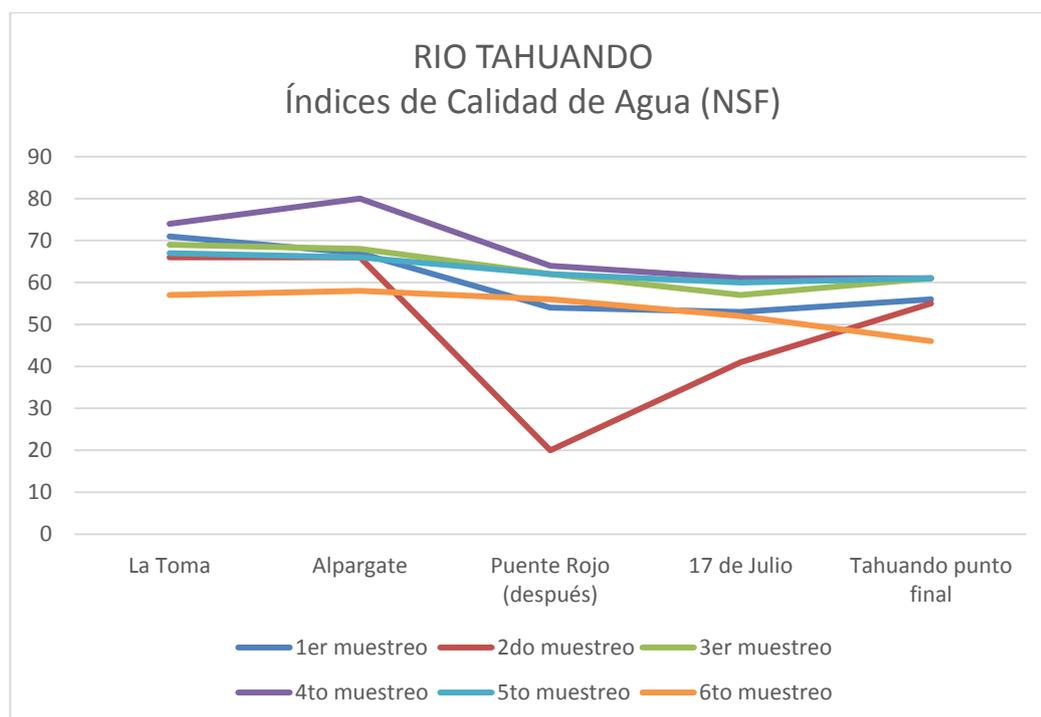
**Cuadro 4.2. Índices de calidad del agua (NSF) en cinco sitios del río Tahuando, en seis fechas de muestreo**

<i>Sitio</i>	<i>Fecha de Muestreo</i>					
	<i>28/1/16</i>	<i>23/2/16</i>	<i>23/3/16</i>	<i>19/4/16</i>	<i>19/5/16</i>	<i>8/6/16</i>
<i>La Toma</i>	71	66	69	74	67	57
<i>Alpargate</i>	67	66	68	80	66	58
<i>Puente Rojo (después)</i>	54	20	62	64	62	56
<i>17 de Julio</i>	53	41	57	61	60	52
<i>Tahuando</i>	56	55	61	61	61	46

*punto  
final*

Los valores de los índices NSF oscilan entre 20 (segunda fecha de muestreo) y 80 (cuarta fecha de muestreo), los cuales corresponden a un mayor y menor grado de contaminación, respectivamente. En todas las fechas de muestreo la mejor calidad del agua correspondió a los sitios La Toma y Alpargate.

Es bastante notable que el índice de calidad del agua del río Tahuando disminuye a medida que su curso atraviesa la zona urbana de la ciudad de Ibarra, llegando a su valor mínimo en el sitio Puente Rojo, recuperándose paulatinamente hasta un promedio de 84% de las seis fechas de registro en el Punto Final, en relación al valor que le corresponde al sitio La Toma, lo cual se atribuye a la resiliencia natural, ello se ilustra en la Figura 4.16.



**Figura 4.16. Tendencia Espacial de los Índices NSF del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016**

### 4.3.3 Calidad del agua en base a macroinvertebrados (BMWP)

En el río Tahuando, durante los seis muestreos paralelos mediante la recolección de macroinvertebrados, se utilizó la tabla de identificación de familias recopilada por Roldán (1999) para puntuar la existencia o no mediante el sistema BMWP Colombia, lo que permitió determinar que en el curso del río se apreció la existencia de las siguientes familias de macroinvertebrados.

**Cuadro 4.3. Familias de Macroinvertebrados avistadas en el Río Tahuando**

Número	Familias Macroinvertebrados
1	Leptophlebiidae
2	Psephenidae
3	Polycentropodidae
4	Corydalidae
5	Calopterygidae
6	Lutrochidae
7	Hydropsychidae
8	Tipolidae
9	Planorbidae
10	Hydrometridae
11	Chironomidae
12	Oligochaeta

#### **4.3.3.1 Familias de macroinvertebrados presentes en los sitios representativos del río Tahuando**

El Anexo 5 contiene el registro de presencia de las familias de los macroinvertebrados acuáticos en los cinco puntos representativos del río Tahuando y en las seis fechas de muestreo. También se presentan las puntuaciones de la calidad del agua en función de la presencia de las familias de macroinvertebrados acuáticos

#### 4.3.3.2. Índices de calidad de agua BMWP

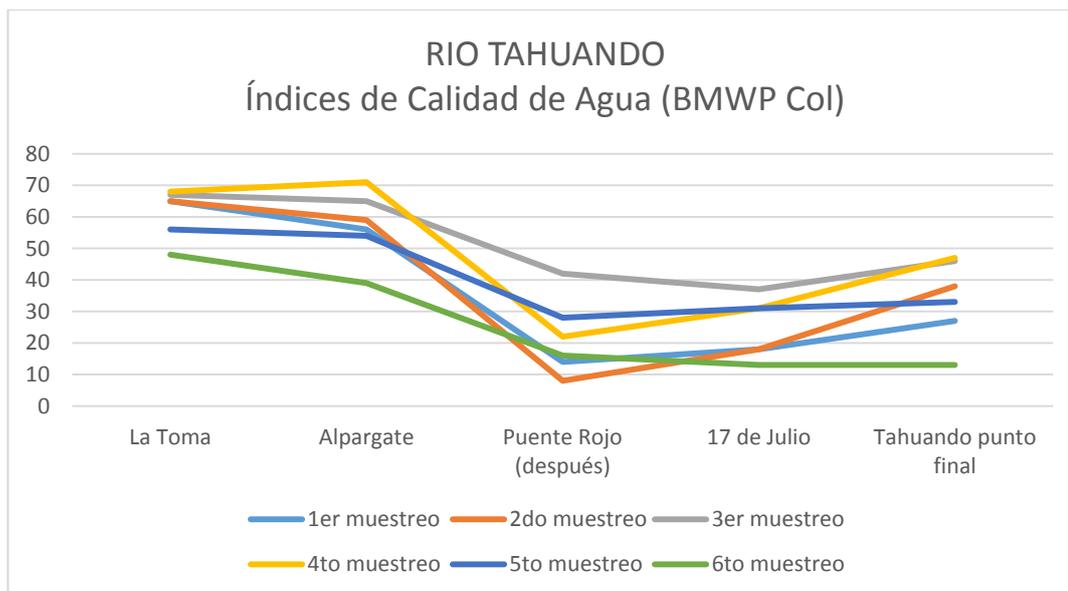
El Cuadro 4.4 contiene los valores de los índices de la calidad del agua BMWP (presencia de familias de macroinvertebrados) del río Tahuando en los cinco sitios seleccionados y para las seis fechas de muestreo, en el período enero a junio de 2016.

**Cuadro 4.4. Índices de calidad de agua BMWP en cinco sitios del río Tahuando, en seis fechas de muestreo**

<i>Sitio</i>	<i>Fecha de Muestreo</i>					
	<i>28/1/16</i>	<i>23/2/16</i>	<i>23/3/16</i>	<i>19/4/16</i>	<i>19/5/16</i>	<i>8/6/16</i>
La Toma	65	65	67	68	56	48
Alpargate	56	59	65	71	54	39
Puente Rojo (después)	14	8	42	22	28	16
17 de Julio	18	18	37	31	31	13
Tahuando punto final	27	38	46	47	33	13

Los valores de los índices BMWP varían desde 8 (segunda fecha de muestreo) hasta 71 (cuarta fecha de muestreo), los cuales corresponden a un menor y mayor grado de calidad del agua, respectivamente. Ello coincide en sitio y fecha con lo indicado por los índices NSF.

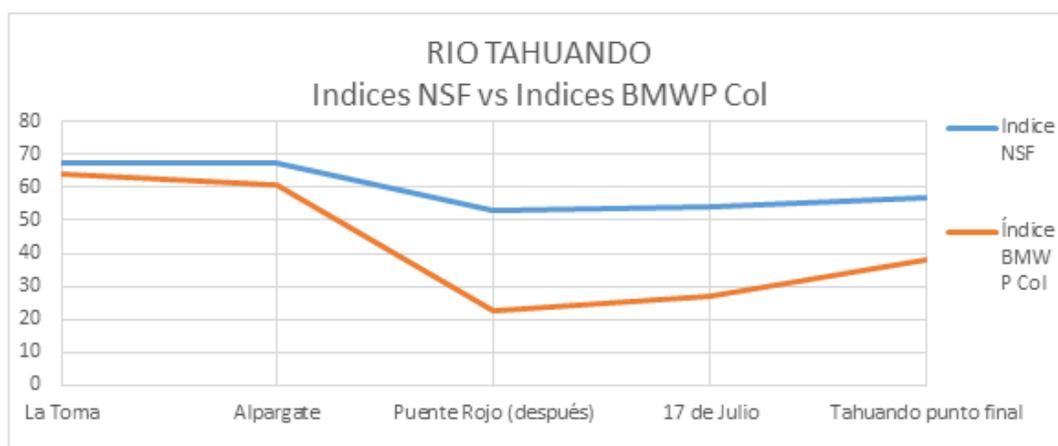
También los índices BMWP evidencian que la calidad del agua del río Tahuando disminuye a medida que su curso atraviesa la zona urbana de la ciudad de Ibarra, dado que para las seis fechas de muestreo los mayores valores corresponden a los sitios La Toma y Alpargate, alcanzando su valor mínimo nuevamente en el sitio Puente Rojo, recuperándose hasta un promedio de 54% de las seis fechas de registro en el Punto Final, considerando como 100% el valor que le corresponde al sitio La Toma, ello se ilustra en la Figura 4.17.



**Figura 4.17. Tendencia Espacial de los Índices BMWP del río Tahuando en cinco sitios y en seis fechas de muestreo del período enero – junio 2016**

#### 4.3.4 Correspondencia entre índices fisicoquímicos y bióticos

Los promedios de los valores de los índices de calidad NSF y BMWP Col de las seis fechas de muestreo, por supuesto no son numéricamente iguales; sin embargo, su tendencia espacial siguen curvas casi paralelas (Figura 4.18), confirmando la influencia negativa de la actividad antrópica en la zona urbana de la ciudad de Ibarra sobre la calidad del agua del río Tahuando.



**Figura 4.18. Tendencia espacial de los Promedios de los Índices de Calidad de Agua NSF y BMWP de seis fechas de muestreo del río Tahuando en el período enero – junio de 2016**

La diferencia en los valores numéricos de los índices NSF y BMWP encontrados,

se atribuye a las características particulares de cada uno de estos procedimientos; sin embargo, los rangos de valores para la interpretación de la calidad del agua son altamente coincidentes.

Un aspecto muy importante que se debe resaltar es que los resultados de los dos procedimientos coinciden en que el punto de mayor contaminación en el tramo evaluado en el Río Tahuando es el que está ubicado en el denominado “Puente Rojo”, paso peatonal en el sector del Barrio La Victoria, debido a que en esta zona confluyen dos fuertes descargas de aguas residuales provenientes del sistema de alcantarillado municipal.

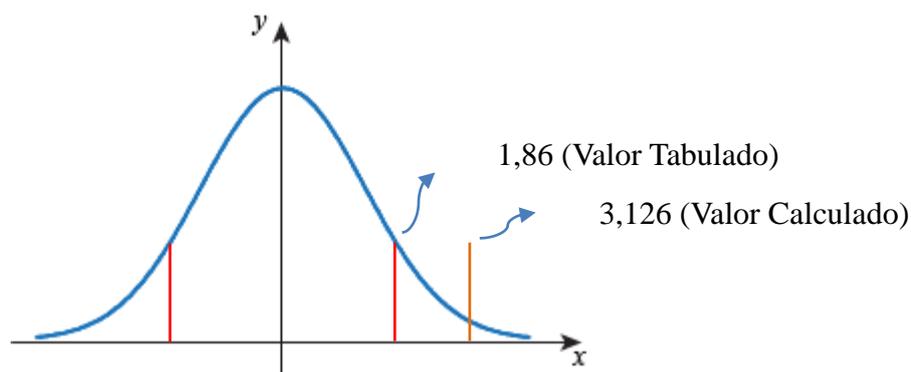
Al promediar los datos de cada una de las tablas de índices obtenemos los siguientes valores estadísticos para los puntos muestreados, los cuales se presentan el Cuadro 4.5.

**Cuadro 4.5. Valores estadísticos de los índices promedios**

<i>Índices Promedios</i>		
<i>Punto</i>	<i>NSF</i>	<i>BMWP</i>
<b>La Toma</b>	67,3	64,2
<b>Alpargate</b>	67,5	61
<b>Puente Rojo (después)</b>	53	22,8
<b>17 de Julio</b>	54	27
<b>Tahuando punto final</b>	56,7	38,2

Con la finalidad de establecer la correspondencia estadística entre los dos métodos de medición se realizará un análisis estadístico univariado entre las medias aritméticas calculadas de los métodos, aplicando el software Bio-Dap, 2010 mediante una prueba “t” pareada ( $\alpha = 0,05$ ). Los resultados son los siguientes:

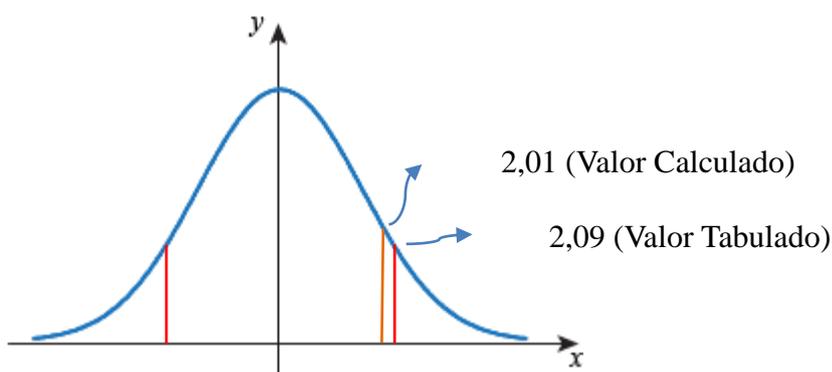
Caso 1.- Al realizar una corrida utilizando los cinco promedios de mediciones se verifica lo siguiente:



**Figura 4.19. Prueba T pareada entre todos los datos NSF vs BMWP**

**Resultado:** existen diferencias significativas (al 95% de confianza), puesto que NSF y BMWP son métodos distintos, para los cinco (pares) de puntos muestreados.

Caso 2. Se realiza una prueba eliminando los datos correspondientes a “Puente Rojo” y “17 de Julio”, debido a la dificultad logística en la toma de muestras de macroinvertebrados, obteniéndose los siguientes resultados:



**Figura 4.20. Prueba T pareada entre tres datos NSF vs BMWP**

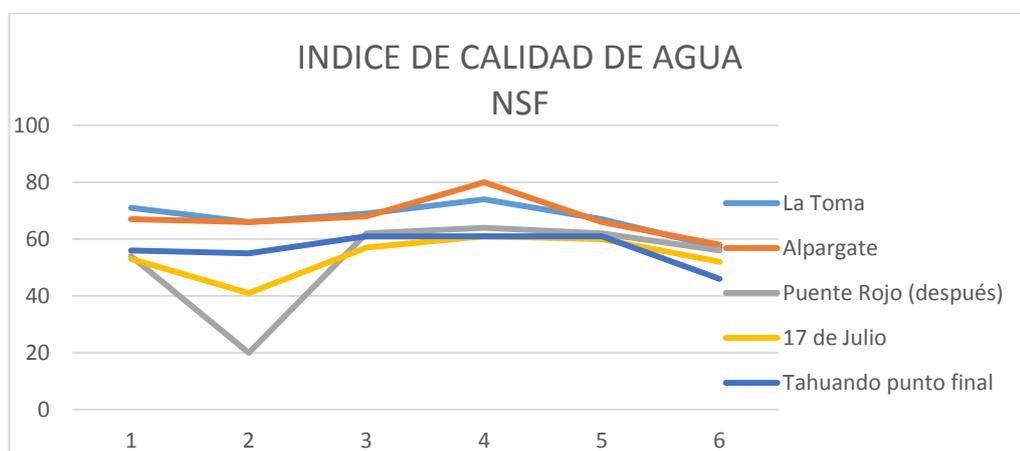
**Resultado:** No existen diferencias significativas (al 95%), por lo que NSF y BMWP son métodos que arrojan resultados similares, para los tres (pares) de puntos muestreados.

Como se puede apreciar, al eliminar el sesgo derivado de la dificultad de realizar la toma de muestras de macroinvertebrados en aguas completamente contaminadas,

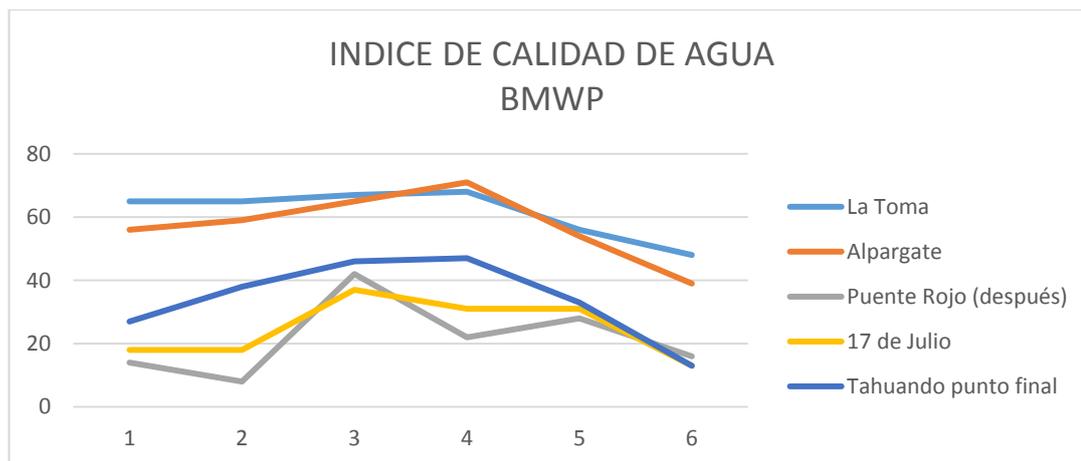
como es el caso de los puntos “Puente Rojo” y “17 de Julio”, los dos métodos no presentan diferencias significativas, lo que determina que la confiabilidad de los datos arrojados mediante indicadores BMWP disminuye en cuanto el agua a ser muestreada baja su calidad por errores asociados a la logística y al operador.

#### 4.3.5 Análisis temporal

Al considerar como variable independiente el tiempo, los datos de índice de calidad de agua en función de las seis fechas de muestreo presentan las tendencias que se ilustran en las Figuras 4.20 y 4.21, para los índices NSF y BMWP, respectivamente.



**Figura 4.21. Tendencia Temporal del Índice de Calidad NSF en cinco sitios del Río Tahuando en seis fechas de muestreo del período enero – junio de 2016**



**Figura 4.22. Tendencia Temporal del Índice de Calidad BMWP en cinco sitios del Río Tahuando en seis fechas de muestreo del período enero – junio de 2016**

La tendencia temporal de la calidad del agua del río Tahuando para las seis fechas de muestreo indican que los índices NSF y BMWP registraron los menores y mayores valores en la segunda y cuarta fecha de muestreo, respectivamente; sin embargo, es pertinente mencionar que durante el período de estudio las condiciones de precipitación fueron extremadamente variadas, lo que determinó que el caudal del río presente considerables diferencias entre fechas de muestreo, factor que no fue objeto de análisis y que es determinante al momento de evaluar la carga contaminante y su dilución. Consecuentemente, las curvas de tendencia no dan indicio certero de relaciones que lleven a considerar el tiempo como un factor determinante al momento de evaluar la calidad del agua del río.

#### **4.4. PROPUESTA PARA EL MONITOREO ESTANDARIZADO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL RÍO TAHUANDO**

El día martes 6 de septiembre de 2016, a las 15h00 en el Auditorio de la Empresa Municipal de Agua Potable de Ibarra se realizó la reunión técnica de presentación de los resultados de la caracterización del agua del río Tahuando, con la finalidad de discutir dichos datos y establecer recomendaciones a futuro. Dicha reunión tuvo la presencia de funcionarios de la Dirección Técnica, Control de Calidad, Gestión

Ambiental de EMAPA-I y además del Gobierno Autónomo Provincial de Imbabura, como Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable.

El debate generado en dicha reunión dio lugar a varias observaciones, las cuales se mencionan a continuación:

Se demuestra el estado crítico de contaminación del río Tahuando y se insiste en la urgencia del arranque del proyecto Planta de Tratamiento

El análisis de los datos revela que las descargas realizadas en el punto denominado Puente Rojo tienen un alto sesgo al momento de determinar la calidad del agua, por lo que se debe analizar la posibilidad de priorizar la construcción de los colectores marginales para este punto, actividad incluida en el proyecto PTAR Ibarra.

Se requiere establecer una asociación de los índices de calidad de agua con algunas variables (caudal, pluviometría) que si bien es cierto quedaban fuera del alcance del presente trabajo, podrían ayudar a explicar algunos comportamientos observados, como por ejemplo los datos obtenidos a partir del segundo análisis.

El laboratorio de control de calidad de la Empresa Municipal de Agua Potable de Ibarra dispone de una amplia gama de equipos y de facilidades logísticas para la evaluación periódica de la calidad del agua del río Tahuando por lo que se verifica la factibilidad del uso de indicadores físico-químicos y microbiológicos (NSF), para una propuesta metodológica viable y económica de monitoreo permanente de la calidad de agua del río Tahuando

La evaluación posterior de la calidad del río, una vez puesta en marcha la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, debe realizarse en los mismos puntos con una periodicidad similar, estableciendo el porcentaje de mejora a partir de la línea base que se ha establecido en el presente trabajo.

En base a dicha discusión, se propone realizar una evaluación de indicadores de calidad de agua por el método propuesto por la National Sanitation Foundation (NSF) basados en la información que provendrá de los monitoreos mensuales en los puntos del río predeterminados.

#### **4.4.1. Plan de monitoreo de la calidad ambiental del río Tahuando**

En el marco del trabajo de tesis del programa de Maestría en Gestión Sustentable de Recursos Naturales organizado por el Instituto de Postgrado de la Universidad Técnica del Norte se presenta el siguiente Plan de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Río Tahuando, con la finalidad de que las entidades responsables de dicho control puedan hacer uso de este planteamiento para la evaluación de las variables ambientales del cuerpo hídrico.

##### **4.4.1.1. Introducción**

Teniendo en cuenta la inminente puesta en marcha de la Planta de Aguas Residuales de la ciudad de Ibarra y en el marco de acción del Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa Municipal de Agua Potable de Ibarra, mediante el trabajo de Investigación previo a la obtención del título de Master en Gestión Sustentable en Recursos Naturales de autoría del Ing. Jorge Arturo Castro Morillo, estudiante del Instituto de Postgrado de la Universidad Técnica del Norte denominado “CORRESPONDENCIA ENTRE INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA EL MONITOREO SISTEMÁTICO DE LA CONTAMINACIÓN EN EL RÍO TAHUANDO” elaborado entre los años 2015 y 2016, desarrollándose el esquema que se describe a continuación cuya acción se centra en las zonas de influencia antrópica.

En este documento se describen acciones de monitoreo para la protección de la calidad de las aguas, biota acuática y sedimentos del Río Tahuando. Las actividades a desarrollar se basan en las realizadas en el trabajo de investigación anteriormente mencionados, tomándose en cuenta además los parámetros contemplados en la tabla 2 del Anexo 1 del Libro VI del Tratado Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Medio Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua para protección de las aguas destinadas a uso Criterios de Calidad admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios. Además, este plan contempla el procesamiento de

la información generada que permita además de determinar el estado natural del recurso, verificar el apartamiento de dichas condiciones naturales por la potencial afectación de las actividades urbanas en el cuerpo de agua previo al inicio del funcionamiento de la PTAR.

Este plan está basado en una secuencia de monitoreo continuo que permite evaluar tendencias de forma mensual, para conseguir una evaluación real de mediano y largo plazo de los impactos de los aportes de aguas residuales. Se determinan indicadores de calidad de agua para determinar el estado de las comunidades bentónicas, de peces, de aguas y sedimentos.

El control de calidad ambiental mediante la determinación de los valores de parámetros controlados tiene un carácter de vigilancia, es decir que permite alertar respecto de una variación significativa en la concentración de dichos parámetros y por lo tanto detectar variaciones en la calidad de agua, biota acuática y sedimentos.

Por ello es importante el control de calidad analítico, motivo por el cual el laboratorio de control de calidad de la Empresa Municipal de Agua Potable de Ibarra y demás laboratorios participantes deben documentar las técnicas analíticas empleadas y los límites de detección del método.

#### **4.4.1.2. Objetivo general de la propuesta**

Monitorear en forma permanente la calidad del agua del Río Tahuando en el área de influencia urbana

#### **4.4.1.3 Objetivos específicos de la propuesta**

Establecer una línea de base actual de calidad de aguas mediante la determinación de ICAS

Verificar grado de cumplimiento de objetivos de calidad de agua de parámetros establecidos en la Normativa Legal Aplicable

Clasificar las aguas en base a los índices de calidad de aguas

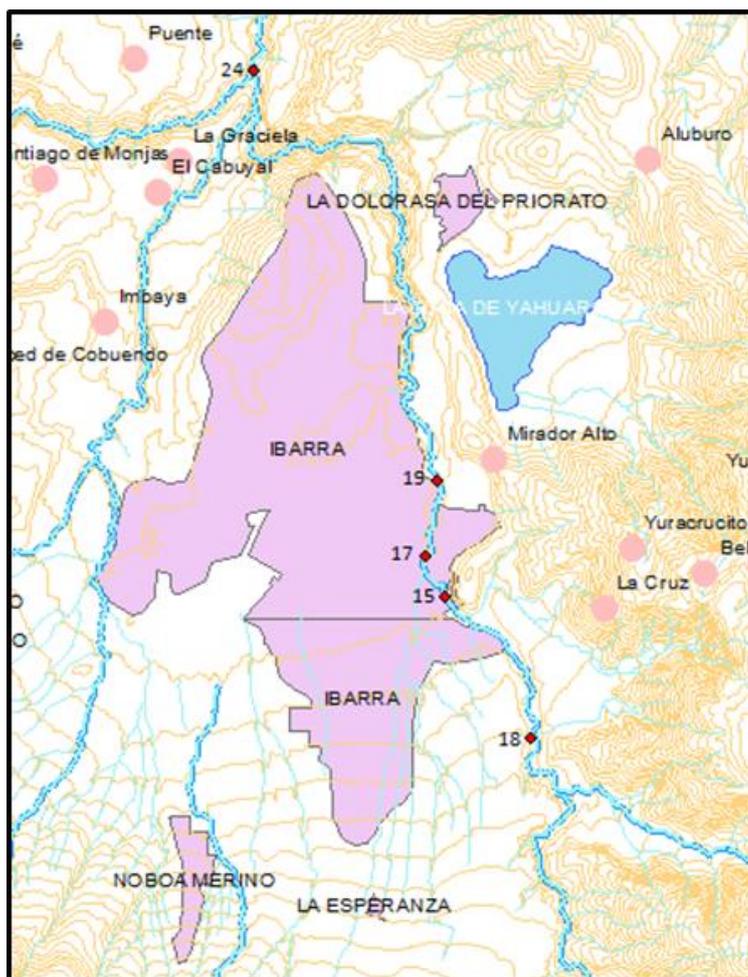
Determinar tendencias de calidad de agua.

#### 4.1.1.4 Área de trabajo

El área de monitoreo incluye la comprendida en el sector de influencia antrópica del río Tahuando, en sitios de muestreo aguas arriba y aguas abajo del punto escogido para la operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, considerando la potencial zona de influencia de ésta, de acuerdo a la discriminación de puntos significativos para la evaluación de la calidad de agua establecido mediante jerarquización.

**Cuadro 4.6. Nombre del sitio y coordenadas de los puntos de muestreo definitivo.**

<i>Nombre</i>	<i>Coord. X</i>	<i>Coord Y</i>
La Toma	822823	10035254
Alpargate	821653	10037189
Puente Rojo	821399	10037758
17 de Julio	821559	10038774
Tahuando punto final	819068	10044390



**Figura 4.23.** Ubicación de los puntos de muestreo definitivo en el trayecto del río Tahuando bajo la influencia urbana de la ciudad de Ibarra.

*Como puede apreciarse en los cuadros anteriores, dichos puntos están ubicados cerca del centro logístico de análisis, que en este caso es el Laboratorio de Control de Calidad de EMAPA-I ubicado en el Barrio Caranqui.*

#### **4.1.4.5. Actividades de monitoreo**

Las acciones de monitoreo a emprender en el área, se establece como la evaluación de los parámetros físico-químicos y biológicos requeridos para el cálculo del Índice de Calidad del agua NSF en el río Tahuando. Además se pueden establecer ciertos parámetros auxiliares que si bien no se requieren para dicho cálculo, aportan también con información valiosa para el estado del río.

**Cuadro 4.7. Parámetros auxiliares que aportan información para el estado del río.**

<i>Parámetro</i>	<i>Evaluación</i>	<i>Unidades</i>
<b>Temperatura</b>	In situ	°C
<b>pH</b>	In situ	Unid. Ph
<b>Oxígeno Disuelto</b>	In situ	ppm
<b>DBO5</b>	Laboratorio	ppm
<b>DQO</b>	Laboratorio	ppm
<b>% Sat. OD</b>	In situ	%
<b>Fosfatos</b>	Laboratorio	ppm
<b>Nitratos</b>	Laboratorio	ppm
<b>Coliformes totales</b>	Laboratorio	Col /100 ml
<b>Coliformes fecales</b>	Laboratorio	Col /100 ml
<b>Turbiedad</b>	In situ/Lab.	NTU
<b>Conductividad</b>	In situ	μS/m
<b>Solidos Disueltos</b>	In situ	ppm
<b>Solidos Totales</b>	Laboratorio	ppm

**4.1.4.6. Materiales y Equipos:**

*Materiales de Campo:* Desinfectante, Pinza, Lápiz y esferográficos, Etiquetas, Bandeja enlozada de color blanco, Baldes, Mascarilla antipolvo, Botas de caucho, Guantes quirúrgicos, Guantes de caucho, Overall, Coladores, Botellas de plástico,

Frascos de vidrio, Hielera portátil, Cinta adhesiva, Libreta de recolección de información

*Equipos de campo:* Cronómetro, Flexómetro, GPS, Equipo multiparámetro para calidad de agua, Cámara fotográfica

*Materiales de Laboratorio:* Instrumentos de aforo, Reactivos para análisis de aguas, Placas Petri, Conos Imhoff

*Equipos de Laboratorio:* Equipo portátil de laboratorio, Espectrofotómetro de absorción atómica, Cámara de flujo laminar, Digestor DQO, Microscopio, Respirómetro para DBO5, Incubadora para DBO5, Estereoscopio, Lámpara de luz, Lupas

*Software y Equipos de Oficina:* SPSS, Ofimática, Sistema de información geográfica ArcMaps, Laptop Windows 10, Ipad

#### **4.1.4.7. Técnica de Muestreo**

El personal que realiza los monitoreos deberá llevar un equipo multiparámetro que permita obtener información in-situ sobre las variables pH, % de saturación de oxígeno disuelto y temperatura. Deberá mantenerse un registro de las calibraciones de dicho equipo. Para los análisis de laboratorio se usa una botella especial que haya sido previamente esterilizada que se sumerja dentro del cuerpo de agua. A una profundidad preestablecida la tapa se retira, la botella se llena y se recupera, aplicando lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:1998 sobre las Técnicas de Muestreo para determinación de Calidad de Agua para la toma de muestra puntual: “La muestra puntual es adecuada para la investigación de una posible polución y en estudios para determinar su extensión o en el caso de recolección automática de muestra individual para determinar el momento del día cuando los polulantes están presentes. También se puede tomar muestras puntuales para establecer un programa de muestreo más extensivo. Las muestras puntuales son esenciales cuando el objetivo del programa de muestreo es estimar si la calidad del agua cumple con los límites o se aparta del promedio de calidad”

Al momento de recolectar la muestra se deben seguir los siguientes criterios relacionados con los recipientes:

a) Reducir la contaminación en la muestra de agua causada por el material del que está hecho el recipiente y la tapa, por ejemplo: la migración de los constituyentes inorgánicos del vidrio (especialmente del vidrio suave), de los compuestos orgánicos de los materiales plásticos y de los elastómeros (de las tapas de vinilo plastilizado, y de las envolturas de neopreno).

b) Facilidad para limpiar y tratar las paredes de los recipientes, a fin de reducir la superficie de contaminación por trazas de metales pesados o radionucléidos.

c) El material del cual están hechos los recipientes debe ser inerte química y biológicamente, para prevenir o reducir la reacción entre los constituyentes de la muestra y el recipiente.

d) Los recipientes pueden ser causa de errores debido a la adsorción de los constituyentes. Las trazas de metales son particularmente propensas a este efecto; pero otros constituyentes (detergentes, pesticidas, fosfatos) también pueden estar sujetos a error

El Informe de muestreo debe incluir los siguientes datos en el informe de muestreo:

a) Localización (y nombre) del sitio del muestreo, con coordenadas (lagos y ríos) y cualquier información relevante de la localización;

b) Detalles del punto de muestreo;

c) Fecha de la recolección;

d) Método de recolección

e) Hora de la recolección;

f) Nombre del recolector;

g) Condiciones atmosféricas;

h) Naturaleza del pretratamiento;

i) Preservante o estabilizador adicionado;

j) Datos recogidos en el campo.

#### **4.1.4.8. Preservación de la Muestra**

Las aguas muestreadas son susceptibles a diversas alteraciones como consecuencia de de las reacciones físico-químicas o biológicas que se originan desde el mismo momento del muestreo y durante el análisis. La naturaleza y el rango de dichas reacciones son de tal magnitud que de no tomarse precauciones durante el transporte, así como durante el tiempo en el cual las muestras son conservadas en el laboratorio antes del análisis, los parámetros determinados mediante las técnicas de laboratorio serán diferentes a las existentes en el momento del muestreo, por lo que se recomienda la aplicación de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:1998 sobre las Técnicas de Manejo y Conservación de muestras de Agua.

En muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, llenar los frascos completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra. Esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte (así se evita la modificación del contenido de dióxido de carbono y la variación en el valor del pH, los bicarbonatos no se conviertan a la forma de carbonatos precipitables; el hierro tienda a oxidarse menos, limitando las variaciones de color, etc.). En las muestras que se van a utilizar en el análisis microbiológico, los recipientes, no deben llenarse completamente de modo que se deje un espacio de aire después de colocar la tapa. Esto permitirá mezclar la muestra antes del análisis y evitar una contaminación accidental. Las muestras deben guardarse a una temperatura más baja de la que se recolectó

Para la identificación adecuada de las muestras y el transporte se deben considerar las siguientes observaciones

- a) Los recipientes que contienen las muestras deben estar marcados de una manera clara y permanente, que en el laboratorio permita la identificación sin error.
- b) Anotar, en el momento del muestreo todos los detalles que ayuden a una correcta interpretación de los resultados (fecha y hora del muestreo, nombre de

la persona que muestreó, naturaleza y cantidad de los preservantes adicionados, tipo de análisis a realizarse, etc.).

c) Las muestras especiales con material anómalo, deben ser marcadas claramente y acompañadas de la descripción de la anomalía observada. Las muestras que contienen material peligroso o potencialmente peligroso, por ejemplo ácidos, deben identificarse claramente como tales

Al arribo al laboratorio, las muestras deben, si su análisis no es posible inmediatamente, ser conservadas bajo condiciones que eviten cualquier contaminación externa y que prevengan cambios en su contenido. Es recomendable para este propósito el uso de refrigeradoras o de lugares fríos y oscuros y en todos los casos y especialmente cuando se requiera establecer la cadena de custodia es necesario verificar el número recibido, contra el registro del número de recipientes enviados por cada muestra.

#### **4.1.4.9. Técnicas Analíticas:**

Para la determinación de los restantes parámetros necesarios para el cálculo del ICA NSF se realizarán en las muestras de agua las técnicas analíticas establecidas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de la American Public Health Association, American Water Works Association y la Water Environment Federation versión 1999 en donde se establecen los procedimientos a aplicarse para la determinación de Coliformes Fecales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Turbiedad y Sólidos Totales. Al igual que en el caso del equipo múltiparámetro se deberá mantenerse un registro de las calibraciones de los instrumentos de laboratorio empleados.

#### **4.1.4.10. Cálculo del Índice de Calidad de Agua NSF**

Para realizar el cálculo de índices de calidad NSF, se utilizarán los datos de los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua en el Servicio de Cálculo Online ofrecido por el Water Research Center, disponible en <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>. Mediante este servicio se obtendrá de manera directa la ponderación de



**Cuadro 4.8. Matriz de evaluación del agua del río Tahuando para registro de datos**

Para efectos de la evaluación de la calidad del agua y su registro documental se propone el formato establecido en el cuadro 4.8, documento cuyo control estará a cargo del Laboratorio de Control de Calidad, y cuyo acceso será restringido bajo solicitud aprobada de forma expresa por la Gerencia de EMAPA-I

**Cuadro 4.9. Matriz de implementación**

<b>Actividad</b>	<b>Responsable</b>	<b>Tiempo /Frecuencia</b>	<b>Costo Estimado</b>	<b>Costo Total</b>
<b>Recolección de muestras y análisis de parámetros in situ</b>	Laboratorio de Control de Calidad de EMAPA-I	1 mensual /24 meses	USD 40	USD 960
<b>Análisis de muestras en laboratorio parámetros</b>	Laboratorio de Control de Calidad de EMAPA-I	1 mensual /24 meses	USD 300	USD 7200
<b>Cálculo de índices de calidad de agua y registro en base de datos</b>	Laboratorio de Control de Calidad de EMAPA-I	1 mensual /24 meses	USD 25	USD 600
<b>Revisión trimestral de tendencias de calidad de agua Río Tahuando</b>	Laboratorio EMAPA-I/Dirección Técnica PTAR Ibarra/Dirección Ambiente Municipio de Ibarra	1 trimestral /24 meses	USD 10	USD 240
<b>Implementación de acciones preventivas-correctivas y de mejora en procesos de tratamiento de aguas residuales</b>	Dirección Técnica PTAR Ibarra	Continuo	Presupuesto Operativo PTAR	Presupuesto Operativo PTAR

<b>Evaluación anual operativa de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ibarra</b>	Directorio EMAPA-I/Municipio de Ibarra	Anual	USD 150	USD 300
<b>Difusión y socialización de resultados en la comunidad</b>	Dirección de comunicación Municipio de Ibarra	Continuo	USD 3000	USD 6000
<b>TOTAL COSTOS</b>			<b>USD 15300</b>	

En el cuadro 4.9 se detalla de manera específica las actividades a ser ejecutadas en el marco del programa de monitoreo propuesto, los responsables, los tiempos y frecuencias, los costos estimados y los costos totales.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

La contaminación en el curso del río Tahuando, desde su confluencia con la quebrada Guayrapungu sector Zuleta hasta su desembocadura en el río Ambi presentó una elevada variabilidad espacial. Los parámetros conductores de la contaminación fueron fundamentalmente las descargas de aguas residuales provenientes de las actividades urbanas en cada uno de los puntos.

De los 24 puntos preseleccionados en el curso del río Tahuando, desde su confluencia con la quebrada Guayrapungu sector Zuleta hasta su desembocadura en el río Ambi, aquellos que alcanzaron en la ponderación valores entre 15 a 24 se consideraron representativos; sin embargo, con la finalidad de asegurar una mejor distribución espacial finalmente se seleccionaron cinco: 17 de julio, Tahuando Punto Final, Puente Rojo Después, Alpargate y La Toma en un tramo de alrededor de 15 km.

Los valores de los índices NSF y BMWP Col evidenciaron que la calidad del agua del río Tahuando disminuye a medida que su curso atraviesa la zona urbana de la ciudad de Ibarra, llegando a su mínimo en el sitio Puente Rojo donde confluyen dos fuertes descargas de aguas residuales provenientes del sistema de alcantarillado municipal, recuperándose paulatinamente en el Punto Final por efecto de la resiliencia natural.

Los promedios de los valores de los índices de calidad NSF y BMWP Col de las seis fechas de muestreo no fueron numéricamente iguales, por lo que al emplear prueba

t pareada entre todas las medias obtenidas se verifica que existen diferencias significativas entre los dos métodos.

Sin embargo, al eliminar los valores de los puntos en donde se presentan los índices más bajos, caso “Puente Rojo” y “17 de julio”, se puede apreciar que los dos métodos no presentan diferencias significativas al 95% de confianza, lo que determina la correspondencia estadística entre los dos métodos.

La tendencia temporal de la calidad del agua del río Tahuando para las seis fechas de muestreo indica que los índices NSF y BMWP registraron los menores y mayores valores en la segunda y cuarta fecha de muestreo, respectivamente.

Con la institución responsable asegurar de la calidad del agua del río Tahuando (EMAPA-I) se determinó que es viable implementar un procedimiento científico y técnicamente fundamentado para implementar el monitoreo estandarizado, en el marco de los indicadores, tanto físico-químicos como biológicos.

Las variaciones del caudal del río debido a las condiciones climáticas determinaron considerables diferencias de los índices NSF y BMWP Col entre las fechas de muestreo.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Debido a la disponibilidad de equipos, facilidades logísticas y menor especialización del procedimiento, en la evaluación periódica de la calidad del sería recomendable utilizar los indicadores físico-químicos y microbiológicos (NSF), sin dejar de lado de manera esporádica controles comparativos con los indicadores de macroinvertebrados (índices BMWP Col).

El nivel de contaminación del río Tahuando ha llegado a valores sumamente altos, lo que implica que la construcción y operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ibarra tiene una inusitada importancia al momento de planificar cualquier obra o modificación al sistema de alcantarillado urbano.

Las entidades de gestión ambiental competentes para la zona de influencia de la ciudad de Ibarra deben adoptar medidas de estricto control y seguimiento a las actividades económicas desarrolladas por la ciudadanía en orden de que los efluentes generados y que sean destinados a ser tratados la PTAR-I sean de una naturaleza tal que no dificulte los procesos de biodegradación aplicados.

**CAPÍTULO VI**

**BIBLIOGRAFÍA**

Acosta, M., Díaz, R., & Anaya, A. (2009). Revisión de técnicas de análisis de decisión multicriterio como soporte a problemas complejos. *Revisa Científica Guillermo de Ockham*, 91 - 110.

Aguirre, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, Dinius y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 97-108.

Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., & Martin, K. (2011). *Métodos cuantitativos para los negocios*. México: Cengage Learning Editores.

Aronova, E. (2015). Environmental Monitoring in the Making: From Surveying Nature's Resources to Monitoring Nature's Change. *Historical Social Research*, 222-245.

Bervoets, L., Bruylants, B., Marquet, P., Vandelannoote, A., & Verheyen, R. (1989). A proposal for modification of the Belgian biotic index method. *Hydrobiology*, 223– 228.

Carrera, C., & Fierro, K. (2001). *Manual de Monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos como inidcadores de la calidad del agua*. Quito: EcoCiencia.

Chiriboga, C., & Dávalos, M. (2010). Propuesta de un sistema de monitoreo para la caracterización de las aguas residuales que recepta el río Tahuando. *Propuesta de un sistema de monitoreo para la caracterización de las aguas residuales que recepta el río Tahuando*. Ibarra, Imbabura, Ecuador: Repositorio digital UTN.

Del Moral, M., Martínez, F., & Pujante, M. (1997). Estudio de los pequeños ríos de la Sierra de Espadán (S.O. de Castellón). *Ecología*, 11, 37-61.

Fernandez, N., Ramirez, A., & Solano, F. (2003). Índices físico químicos de calidad de agua: Un estudio comparativo. *Usos múltiples del Agua: Para la vida y el desarrollo sostenible*. Universidad del Valle.

González, I., & Martínez, A. (2010) Análisis espacial multicriterio en SIG para las cuencas Copalita-Zimatán-Huatulco (CZH) Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. Manejo del Agua en Cuencas Hidrográficas: Desarrollo de Nuevos Modelos en México

González, V., Caicedo, O., & Aguirre, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, Dinius y BMWP en la quebrada La Ayurá. *Gestión y Ambiente*, 97-108.

González, V., Caicedo, O., & y Moreno, C. (2001). *Métodos para medir biodiversidad, I*, 97-108. Zaragoza: M&T Manuales y Tesis.

Kenneth, M. (2003). *Clean Water: An Introduction to water quality and water pollution control*. Oregon: Press Corvalis.

Lenat, D., Penrose, D., & W, E. K. (1981). Variable effects of sediment addition on stream benthos. *Hydrobiology*, 79:187-194.

Martínez, A. (2010) Análisis espacial multicriterio en SIG para las cuencas Copalita-Zimatán-Huatulco (CZH) Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. Manejo del Agua en Cuencas Hidrográficas: Desarrollo de Nuevos Modelos en México

Naranjo, C., & González, D. (2007). El BMWP, un índice biótico promisorio. *Bioriente*, 1:9-12.

Olomkoro, J., & Dirisu, A. (2014). Macroinvertebrate community and pollution tolerance index in edition and Omodo rivers in derived savannah wetlands in south Nigeria. *Journal of Biological Science*, 7:19-24.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2002). Agua y Cultivos: Logrando el punto óptimo del agua en la agricultura. FAO, Roma

Persone, G., & De Pauw, N. (1979). Systems of biological indicators for water quality assessment. En O. Ravera, *Biological aspects of freshwater pollutions* (págs. 39-75). Oxford: Pergamon .

Prat, N., Ríos, B., Acosta, R., & Rieradevall, M. (2011). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas. En E. Dominguez, & H. Fernández, *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos*. San Miguel de Tucumán: Publicaciones especiales.

Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente. (2002). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*. Madrid: Mundi - Prensa.

Ravera, O. (2000). Ecological monitoring for water body management. Proceedings of monitoring Tailor made III. *International Workshop on Information for Sustainable Water Management*. 157 – 167.

Rimet, F. (2011). Recent views on river pollution and diatoms. *Hydrobiology*.

Roche, H., & Viejo, C. (29 de Abril de 2015). *Métodos cuantitativos aplicados a la Administración: Análisis multicriterio en la toma de decisiones*. Obtenido de sitio web de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración de Montevideo: <http://www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdA-Scoring-AHP.pdf>

Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados su valor como indicadores de calidad de agua. *Revista académica de Colombia*, 375-387.

Saaty, T. (1994). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24:19-43.

Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarch process. *International Journal of services Science*, 20-28.

Sánchez, K., Jiménez, F., Velazquez, S., Piedra, M. & Romer,o E., (2004). Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica Tesis Mag. Sc.Turrialba,Costa Rica, CATIE.149 p.

Schwoerbel, J. (1970). *Methods of Hydrobiology. Freshwater Biology. Pergamon Press. London, UK.*

Shi-Yun, C., Jin-Xiu, Z., Gang, Y., Ming, L., & H, J.-X. (2015). Macroinvertebrate communities in recovery phase in the middle reaches of China's Huaihe river. *Polish Journal of Enviromental Studies*, 491-500.

UNESCO (2016) World water resources at the beginning of the 21st century. Unesco State Hydrological Institute. (<http://webworld.unesco.org/water>).

Villarroel, M, Jimenez, K., & Calles, J. (2011). Conservación y fortalecimiento de capacidades para la gestión de áreas protegidas seccionales en la zona de influencia de la cuenca del río Dashino. Cantón Gonzalo Pizarro y Lumbaquí. *Fundación Ecuatoriana de Estudios Ecológicos Ecofondo.*

Weaver, L. A. & Garman, G.C. (1994). Urbanization of a watershed and historical changes in a stream fish assemblage. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 123: 162-172.

Zúñiga de Cardozo, M.C., Rojas, A.M & Mosquera S. (1997). Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del Río Cauca. *Bioindicadores Ambientales de Calidad De Agua. Universidad del Valle, Cali.*

**ANEXOS**

# **ANEXO I**

## **TERMINOLOGÍA**

**Aguas residuales.-** Son aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original.

**Sólidos.-** La materia suspendida o disuelta presente en el agua residual o efluente.

**Sólidos totales.-** Toda la materia que permanece en un recipiente después de evaporar la fracción líquida de la muestra.

**Sólidos volátiles.-** La fracción de materia que se pierde por calcinación de los sólidos totales.

**Sólidos en suspensión.-** La fracción de los sólidos totales que son retenidos en el filtro.

**Gravimetría.-** Análisis que consiste en utilizar una determinada técnica para aislar un componente que se quiere medir; separado éste y una vez seco, se procede a pesarlo.

**Conductividad específica.-** Es una medida de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sustancias ionizadas en el agua y con la temperatura a la que se mide.

**Conductividad Eléctrica.-** Es la recíproca de la resistencia que se mide entre 2 electrodos separados 1cm y con un área de 1cm<sup>2</sup>.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).-** El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica como inorgánica de las aguas naturales así como también de las residuales, es una estimación rápida de la materia orgánica contenida en una muestra. En el ensayo se emplea un agente químico fuertemente

oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que pueda oxidarse.

**Coliformes totales.-** Son bacterias que se utilizan como indicadores de contaminación ya sea fecal, del suelo o de la vegetación en el control de la calidad del agua.

***E. coli.***- Pertenece a la familia de las enterobacteriaceas y se caracteriza por poseer las enzimas  $\beta$ -galactocidasa y  $\beta$ -glucoronidasa. Se desarrolla a 44-45 °C o a 37 °C, en medios complejos, fermenta la lactosa y el manitol liberando ácido y gas produciendo indol a partir de triptófano, La *E. coli* abunda en las heces humano y animal por tanto son indicadores de contaminación exclusivamente fecal.

**Fosfatos.-** Los fosfatos orgánicos se forman principalmente en procesos biológicos. Son aportados al alcantarillado por los residuos corporales y de alimentos, también se pueden formar a partir de los ortofosfatos durante los procesos de tratamiento biológico o por recibir la carga biológica del agua. Cantidades pequeñas de algunos fosfatos condensados se añaden a algunos suministros de agua durante el tratamiento, y se puede añadir cantidades mayores de los mismos compuestos cuando el agua se utiliza para lavar ropa u otras limpiezas, ya que son los componentes principales de muchos preparados comerciales para la limpieza.

**Nitratos.-** Los nitratos revelan la presencia de materia orgánica. Su determinación se dificulta porque es relativamente complejo el procedimiento requerido tiene altas probabilidades de presentar interferencias.

**Nitritos.-** El nitrito ( $\text{NO}_2$ ) se presenta en las aguas como producto intermedio en los procesos de oxidación o reducción. No debería existir en aguas para consumo humano porque indica una contaminación reciente especialmente con *Echerichia coli*. En aguas superficiales crudas, el nitrito indica contaminación por acción de bacterias y otros microorganismos, o indica contaminación por heces.

**Macro invertebrados.-** Término que se usa para referirse a animales invertebrados tales como insectos, crustáceos, moluscos y anélidos, entre otros, que tienen su hábitat natural en sistemas de agua dulce.

**Macro invertebrados bentónicos.-** Son los organismos que durante la mayor parte de su ciclo de vida se mantienen en el fondo del cuerpo hídrico apoyándose en sustratos orgánicos como plantas acuáticas, hojas, ramas y troncos caídos, o también sobre cualquier sustrato inorgánico, como piedras, grava y arena.

**Monitoreo sistemático y estandarizado de la contaminación en cursos de agua.-** Levantamiento de información en determinados intervalos de tiempo que ayuda a determinar la calidad del agua en cuerpos hídricos, a la vez que ayudan a visualizar los cambios que se dan en los mismos en función de variables externas como la presencia de asentamientos humanos cercanos, actividades agrícolas, ganaderas, industriales, etc.

**Indicadores de calidad del agua.-** Resultados del proceso de relacionamiento estadístico de las variables analíticas fisicoquímicas, microbiológicas o bióticas que evidencia los posibles efectos de una alteración de las condiciones del medio.

## **ABREVIATURAS**

**NSF:** (National Sanitation Foundation) Fundacion Nacional para la Sanitizacion: Organismo no gubernamental norteamericano fundado en 1944 que tiene como misión desarrollar estándares que ayudan a proteger la calidad de alimentos, agua potable y productos manufacturados dirigidos al consumo global.

# **ANEXO II**

## **TABLAS DE RESULTADOS**

**Tabla.1. Ubicación y características de los puntos de muestreo preseleccionados**

Número	Nombre	Fecha	Hora	Coord. X	Coord Y
1	Zuleta Inicio Tahuando	25/02/2015	10:43	863500	10021955
2	Entrada Hacienda Zuleta	05/02/2015	9:51	823660	10022697
3	Ptar Zuleta	05/02/2015	10:37	824420	10023201
4	Guaraczapas	05/02/2015	11:13	824543	10026093
5	Ojo Angochagua	05/02/2015	11:49	824369	10026399
6	Pesca Minis. Amb	05/02/2015	12:10	824035	10026849
7	Puente Rinconada	05/02/2015	12:27	823931	10027292
8	Encañonada Magdalena	25/02/2015	13:00	823875	10028476
9	Yaguachi	05/03/2015	9:24	823584	10031025
10	Quebrada Cucho de Torres	05/03/2015	10:25	823789	10031832
11	Puente San Eduardo	25/03/2015	12:40	822850	10033869
12	Coangue Romerillo	25/03/2015	12:50	822769	10035707
13	Hcda. La Violeta	22/04/2015	10:00	822883	10035248
14	Guayabillas	22/04/2015	11:00	821960	10036873
15	Alpargate	22/04/2015	11:18	821653	10037189
16	Puente Rojo (antes)	22/04/2015	11:45	821374	10037727
17	Puente Rojo (después)	22/04/2015	11:50	821399	10037758
18	La Toma	13/05/2015	11:43	822823	10035254
19	17 de Julio	13/05/2015	12:23	821559	10038774
20	Ptar nueva	13/05/2015	12:46	821359	10039552
21	Puente Olivo	20/05/2015	10:12	821089	10039906
22	Antes Criger	20/05/2015	10:01	821183	10039936
23	Qda Cariacu	05/06/2015	9:50	824835	10033852
24	Tahuando punto final	05/06/2015	12:38	819068	10044390

**Tabla 2. Valores de los indicadores físico-químicos determinados in situ en los 24 puntos preseleccionados del río Tahuando**

<i>Número</i>	<i>Caudal</i>	<i>pH</i>	<i>Oxígeno disuelto</i>	<i>% Saturación O2</i>	<i>Temperatura</i>
	<i>m<sup>3</sup>/s</i>	<i>upH</i>	<i>mg/l</i>	<i>%</i>	<i>°C</i>
1	0.61	7.09	8.33	74.98	11.00
2	0.54	7.13	8.2	73.30	10.70
3	0.56	7.42	7.5	67.98	11.30
4	0.56	8.11	8.6	78.11	11.40
5	0.56	8.20	8.01	74.25	12.30
6	0.56	8.26	8.35	78.09	12.70
7	0.64	8.25	8.38	78.37	12.70
8	2.50	8.29	7.78	75.01	14.10
9	0.89	8.35	8.82	84.84	14.00
10	0.4	8.11	6.86	68.38	15.70
11	0.46	8.23	8.2	80.24	14.80
12	0.7	8.24	8.17	80.45	15.10
13	0.63	7.86	7.64	73.81	14.20
14	0.78	8.28	8.30	81.39	14.90
15	1.79	8.36	8.76	86.07	15.00
16	1.35	8.35	6.45	63.62	15.20
17	1.5	8.35	7.94	68.24	15.30
18	0.6	8.32	8.64	83.11	14.00
19	1.5	7.59	8.26	82.02	15.50
20	1.5	7.27	8.03	80.23	15.80
21	1.6	7.77	7.66	76.22	15.60
22	1.3	8.07	7.83	77.59	15.40
23	1	8.08	8.67	78.57	11.30
24	2	8.30	7.48	78.90	18.50

**Tabla 3. Valores de los indicadores físico, químicos y microbiológicos del agua de los 24 puntos preseleccionados del río Tahuando, analizados en el Laboratorio de Control de Calidad de EMAPA**

Nro.	Turbiedad	Sólidos Totales	TDS	Conductividad	DBO	DQO	P-PO4	P Total	N-NO3	NH4	Coliformes Totales	E. coli
	NTU	mg/L	mg/l	us/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UFC	UFC
1	12	130	49	94	4	23.0	0.66	0.22	0.30	0.63	3280	510
2	16	165	58	112.3	4	131.0	0.59	0.19	0.2	0.34	11120	4720
3	10.00	152.5	48	94	6	51.0	0.53	0.17	0.4	0.45	12480	6280
4	20	175	61	117.1	6	16.0	0.72	0.23	0.2	0.39	22040	7760
5	19	185	83	122	6	25.0	0.72	0.23	0.6	0.4	12560	7480
6	21	220	81	138	6	11.0	0.66	0.22	1.1	0.39	10520	6040
7	18	202.5	82	140	6	43.0	0.75	0.24	0.2	0.31	9720	7720
8	6	180	78	149.5	4	17.0	0.93	0.3	0.9	0.44	4600	1820
9	6.3	227.5	64	132	2	14.0	0.89	0.29	0.6	0.36	2620	560
10	6.3	227.5	64	132	0	5.0	0.53	0.17	0.4	0.003	3410	30
11	30.4	200	68	131.5	3.4	20.0	0.83	0.27	0.2	1.21	7700	1500
12	89.6	185	67	130.1	1.6	17.0	0.73	0.24	0.8	1.17	12800	3200
13	16.1	267.5	79	152.4	2.5	38.0	0.89	0.29	0.6	0.64	20700	5100
14	14.3	272.5	79	152.1	2	38.0	1.09	0.36	1	0.47	23700	7200
15	15.1	255.0	81	155.6	2.3	39.0	1.01	0.33	0.5	0.55	20400	4500
16	14.1	267.5	81	155.9	2.1	36.0	0.93	0.3	0.3	0.85	57000	5800
17	14.5	290.0	85	162.7	3.9	52.0	0.73	0.24	0.24	0.72	90200	72400
18	9.63	180	64	123.7	0.2	24.0	0.7	0.23	0.3	0.77	27000	3100
19	9.15	232.5	73	123.3	4.2	13.0	0.96	0.31	1.1	0.53	189600	77600
20	9.18	187.5	52	100.7	4.4	19.0	0.42	0.14	0.2	0.2	174800	81200
21	7.6	337.5	143	275	6.3	135.0	1.25	0.41	0.3	7.35	1112000	556000
22	8.07	225	143	276	9.2	48.0	1.32	0.43	1	7.9	1456000	868000
23	5	102.5	24	45.6	1.2	9.0	0.4	0.13	0.1	0.012	860	208
24	45.6	402.5	274	527	20.4	88.0	3.11	1.01	0.8	0.84	1592000	824000

**Tabla 4. Matriz de ponderación de los factores analizados**

<i>Número</i>	<i>Nombre</i>	<i>Accesibilidad</i>	<i>Facilidad Logística</i>	<i>Parámetros de contaminación</i>	<i>Apreciación ecológica</i>	<i>Caudal</i>	<i>Distancia a poblaciones</i>	<i>Uso del Agua</i>	<i>TOTAL</i>
19	17 de Julio	2.25	1.2	2.45	0.22	0.42	0.80	0.12	7.46
24	Tahuando punto final	2.25	0.84	3.03	0.22	0.56	0.48	0.03	7.41
20	Ptar nueva	2.25	1.2	2.39	0.22	0.42	0.80	0.03	7.31
17	Puente Rojo (después)	2	1.08	2.59	0.22	0.42	0.80	0.03	7.15
15	Alpargate	2	0.96	2.41	0.33	0.50	0.80	0.12	7.13
16	Puente Rojo (antes)	2	1.08	2.58	0.22	0.38	0.80	0.03	7.09
18	La Toma	2	0.84	2.36	0.77	0.17	0.66	0.21	7.01
21	Puente Olivo	1.5	0.96	2.57	0.44	0.45	0.80	0.24	6.96
12	Coangue Romerillo	2	0.84	2.43	0.66	0.19	0.49	0.24	6.86
14	Guayabillas	1.75	0.96	2.45	0.55	0.22	0.78	0.12	6.82
4	Guaraczapas	2	0.48	2.46	0.88	0.16	0.65	0.15	6.78
1	Zuleta Inicio Tahuando	2.25	0.24	2.29	0.99	0.17	0.57	0.18	6.70
2	Entrada Hacienda Zuleta	2.25	0.24	2.40	0.66	0.15	0.72	0.12	6.54
11	Puente San Eduardo	1.75	0.72	2.40	0.77	0.13	0.38	0.15	6.29
22	Antes Criger	1.25	0.72	2.65	0.44	0.36	0.77	0.03	6.23
13	Hcda. La Violeta	1.25	0.84	2.43	0.66	0.18	0.46	0.3	6.12
7	Puente Rinconada	1.75	0.36	2.47	0.66	0.18	0.49	0.18	6.10
5	Ojo Angochagua	1	0.48	2.53	0.99	0.16	0.63	0.24	6.04
6	Pesca Minis. Amb	1	0.6	2.53	0.88	0.16	0.55	0.3	6.02
3	Ptar Zuleta	1.25	0.24	2.43	0.99	0.16	0.66	0.12	5.85
8	Encañonada Magdalena	0.25	0.36	2.40	1.1	0.70	0.44	0.03	5.28
9	Yaguachi	0.5	0.6	2.25	0.77	0.25	0.36	0.24	4.97
10	Quebrada Cucho de Torres	0.5	0.36	2.04	0.99	0.11	0.35	0.24	4.59
23	Qda Cariacu	0.25	0.12	2.07	1.1	0.28	0	0.03	3.85

# **ANEXO III**

## **CARTAS DE ÍNDICES (Q) NSF POR PARÁMETRO**

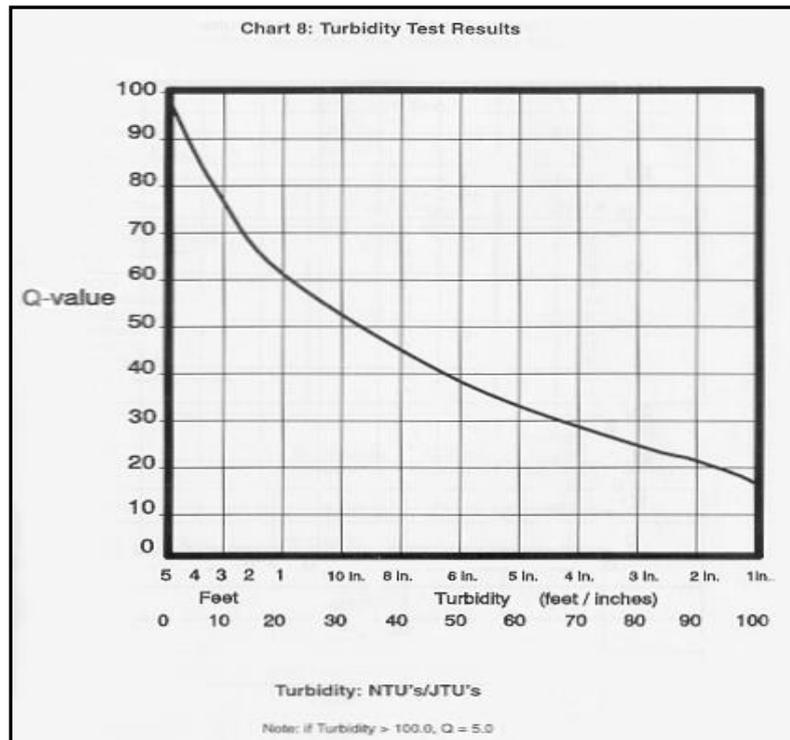


Grafico 1. Carta de índice (Q) NSF de Turbiedad

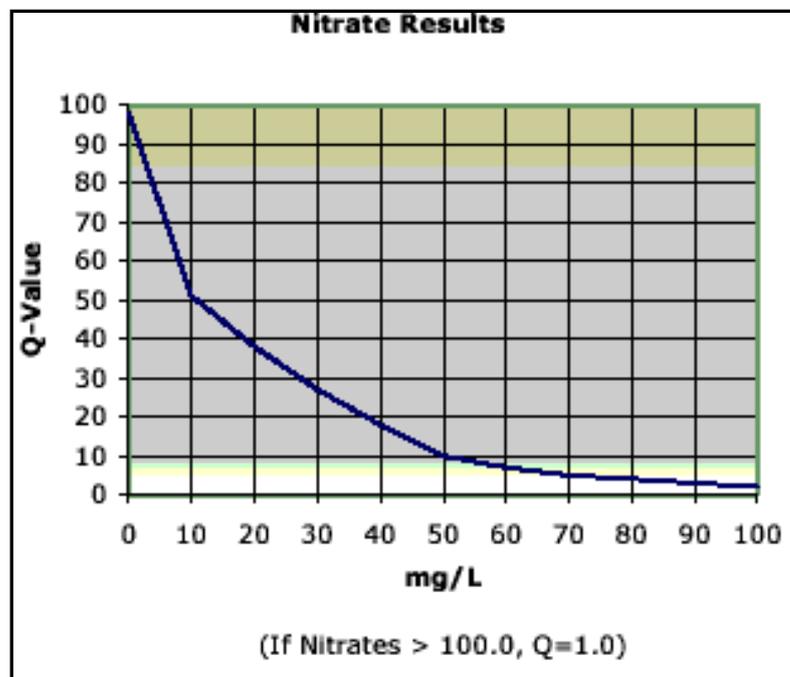
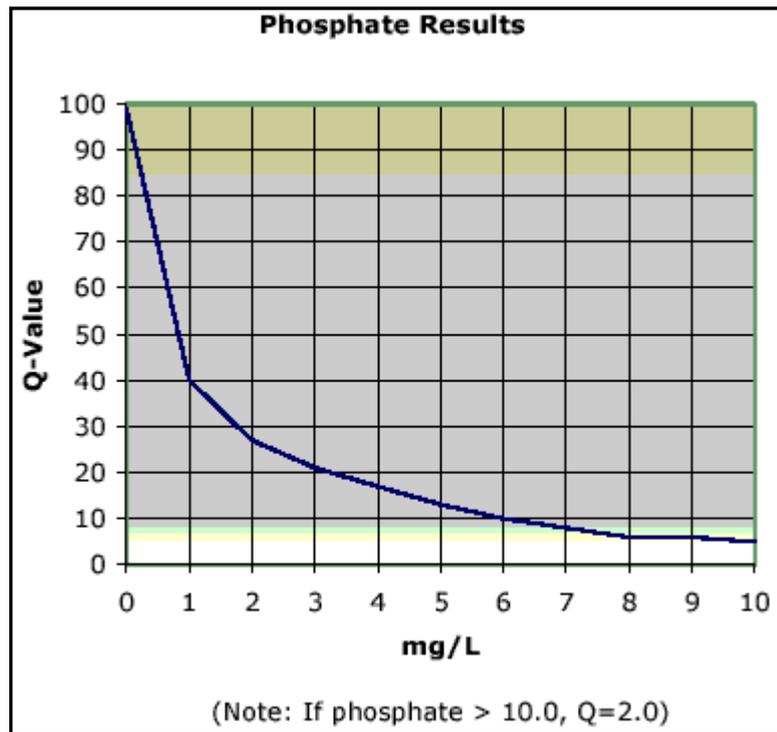
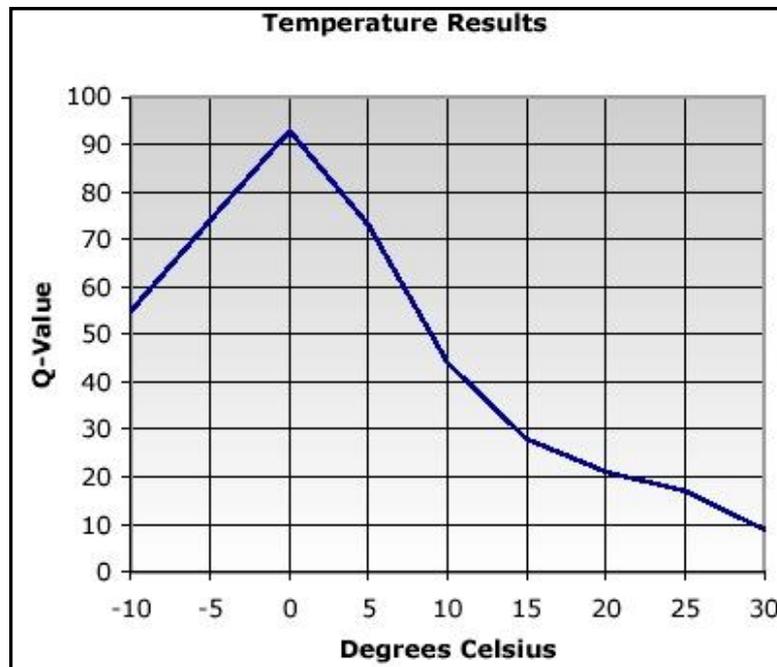


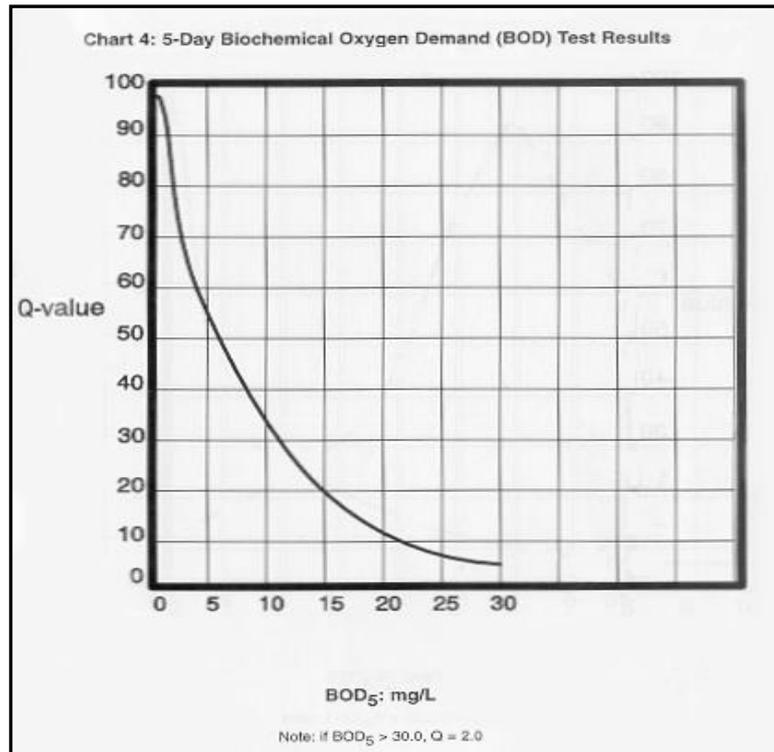
Gráfico 2. Carta de índice (Q) NSF de Nitratos



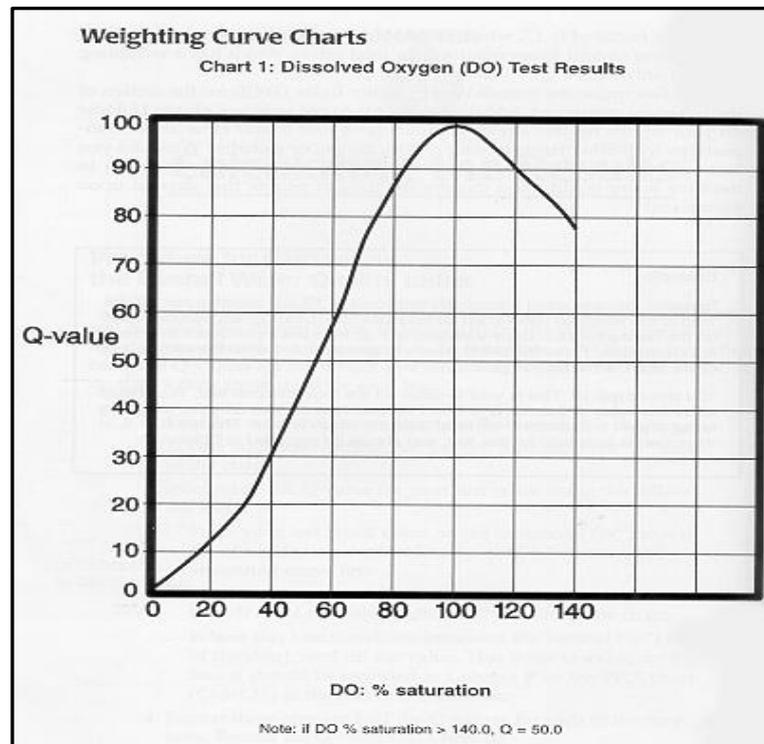
**Gráfico 3. Carta de índice (Q) NSF de Fosfatos**



**Gráfico 4. Carta de índice (Q) NSF de Temperatura**



**Gráfico 5. Carta de índice (Q) NSF de Demanda Bioquímica de Oxígeno**



**Gráfico 6. Carta de índice (Q) NSF de Oxígeno disuelto**

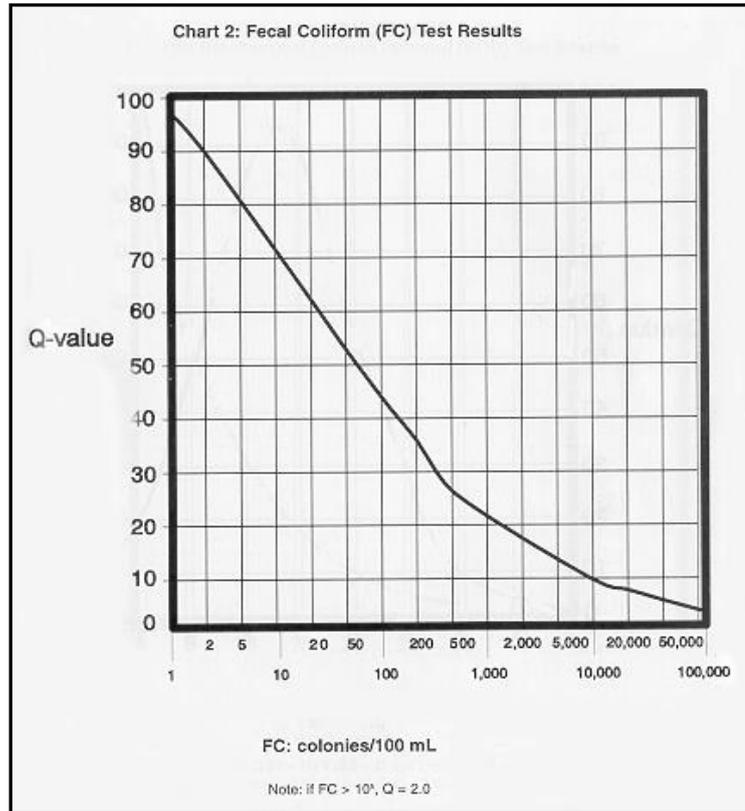
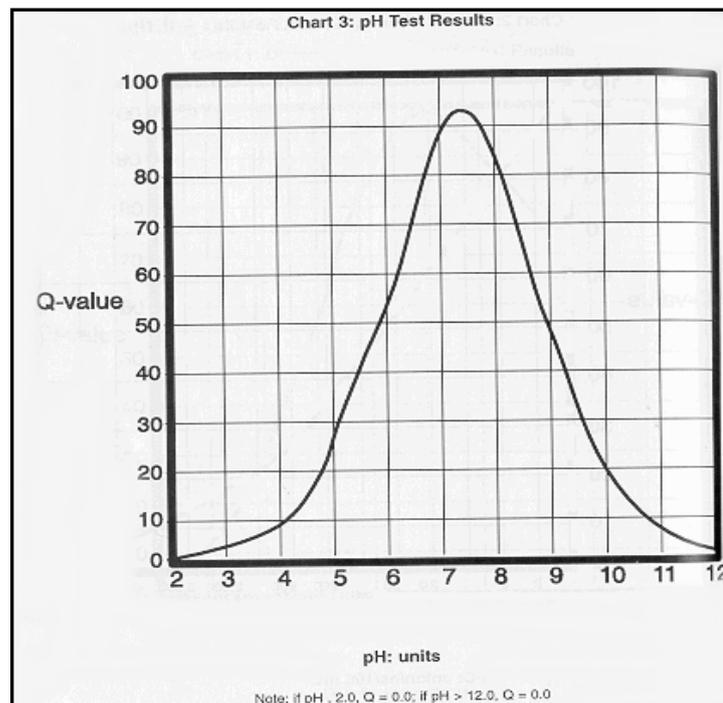


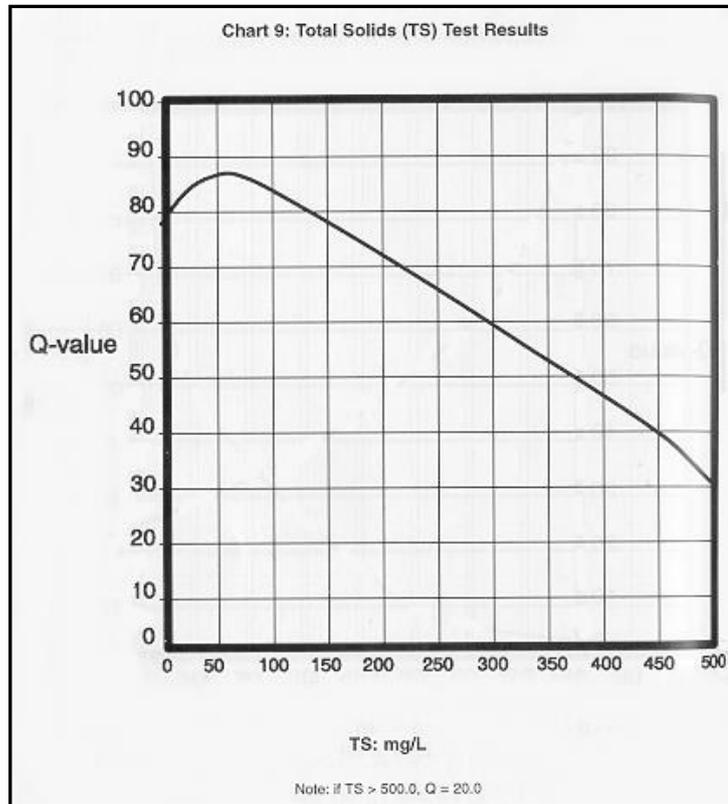
Gráfico 7.

índice (Q) NSF de Coliformes Fecales

Carta de



**Gráfico 8. Carta de índice (Q) NSF de Potencial hidrógeno (pH)**



**Gráfico 9. Carta de índice (Q) NSF de Sólidos Totales**

# **ANEXO IV**

## **ÍNDICES NSF**

**Primer punto: La Toma 1**



Water Quality Report - 01/28/2016 10:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Tecnica Del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River  
 Coordinates: 0.33488082561783766 -78.11008613115234

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	88.3	94
Fecal Coliform	0.16	400	31
pH	0.16	8.39	70
BOD	0.11	1.4	91
Temperature Change	0.11	5.2	72
Total Phosphate	0.10	1.31	34
Nitrates	0.10	0.7	96
Turbidity	0.08	4.58	87
Total Solids	0.07	172.5	78

Factors Entered:	9
Final Index:	71

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Primer punto: La Toma 2**



Water Quality Report - 02/23/2016 11h00

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica Del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: La Toma  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	81.6	88
Fecal Coliform	0.16	880	23
pH	0.16	8.4	70
BOD	0.11	2	80
Temperature Change	0.11	4.7	74
Total Phosphate	0.10	1.93	28
Nitrates	0.10	0.5	97
Turbidity	0.08	9.87	76
Total Solids	0.07	205	72

Factors Entered:	9
Final Index:	86

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Primer punto: La Toma 3**



Water Quality Report - 02/23/2016 11h00

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica Del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: La Toma  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	81.6	88
Fecal Coliform	0.16	880	23
pH	0.16	8.4	70
BOD	0.11	2	80
Temperature Change	0.11	4.7	74
Total Phosphate	0.10	1.93	28
Nitrates	0.10	0.5	97
Turbidity	0.08	9.87	76
Total Solids	0.07	205	72

Factors Entered:	9
Final Index:	66

**Water Quality Index Legend**

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Primer punto: La Toma 4**



Water Quality Report - 05/19/2016 09:30 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: La Toma  
 Coordinates: 41.2539752 -76.04861919999998

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	86.2	92
Fecal Coliform	0.16	940	23
pH	0.16	8.28	74
BOD	0.11	1	95
Temperature Change	0.11	3.2	80
Total Phosphate	0.10	0.43	67
Nitrates	0.10	0.3	97
Turbidity	0.08	11.9	72
Total Solids	0.07	127.5	81

Factors Entered:	9
Final Index:	74

**Water Quality Index Legend**

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Primer punto: La Toma 5**



Water Quality Report - 05/19/2016 10:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Instituto de Postgrado, Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River, La Toma  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186892

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	82	89
Fecal Coliform	0.16	8000	13
pH	0.16	8.32	73
BOD	0.11	2	80
Temperature Change	0.11	2.2	84
Total Phosphate	0.10	0.81	55
Nitrates	0.10	0.1	97
Turbidity	0.08	25.9	56
Total Solids	0.07	262.5	64

Factors Entered:	9
Final Index:	87

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Primer punto: La Toma 6**



Water Quality Report - 06/08/2016 09:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica Del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River, La Toma  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	89.6	95
Fecal Coliform	0.16	40000	6
pH	0.16	8.24	75
BOD	0.11	5	56
Temperature Change	0.11	1.7	86
Total Phosphate	0.10	0.6	55
Nitrates	0.10	2.3	94
Turbidity	0.08	278	5
Total Solids	0.07	1742.5	20

Factors Entered:	9
Final Index:	57

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Segundo punto: El Alpargate 1**



Water Quality Report - 01/28/2016 10:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Tecnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River El Alpargate  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	88.5	94
Fecal Coliform	0.16	19600	8
pH	0.16	8.66	61
BOD	0.11	1	95
Temperature Change	0.11	6	67
Total Phosphate	0.10	0.98	41
Nitrates	0.10	0.3	97
Turbidity	0.08	4.53	87
Total Solids	0.07	167.5	77

Factors Entered:	9
Final Index:	67

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Segundo punto: El Alpargate 2**



Water Quality Report - 02/23/2016 11h00

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica Del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: Alpargate  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Meaured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	71	76
Fecal Coliform	0.16	62000	5
pH	0.16	7.64	92
BOD	0.11	4	61
Temperature Change	0.11	5.6	70
Total Phosphate	0.10	1.43	32
Nitrates	0.10	0.9	96
Turbidity	0.08	4.07	88
Total Solids	0.07	230	69

Factors Entered:	9
Final Index:	66

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Segundo punto: El Alpargate 3**



Water Quality Report - 03/23/2016 08:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: Alpargate  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	85.3	91
Fecal Coliform	0.16	68000	5
pH	0.16	8.34	72
BOD	0.11	2	80
Temperature Change	0.11	1.3	88
Total Phosphate	0.10	0.61	55
Nitrates	0.10	0.4	97
Turbidity	0.08	17	65
Total Solids	0.07	170	76

Factors Entered:	9
Final Index:	68

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Segundo punto:** El Alpargate 4



Water Quality Report - 05/19/2016 09:30 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: Alpargate  
 Coordinates: 41.2539752 -76.04861919999996

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	87.6	93
Fecal Coliform	0.16	1880	19
pH	0.16	8.33	72
BOD	0.11	1	95
Temperature Change	0.11	2.8	82
Total Phosphate	0.10	0.5	60
Nitrates	0.10	0.4	97
Turbidity	0.08	5.77	84
Total Solids	0.07	135	80

Factors Entered:	9
Final Index:	73

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Segundo punto: El Alpargate 5**



Water Quality Report - 05/19/2016 10:30 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Instituto de Postgrado, Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River, El Alpargate  
 Coordinates: 0.4504082 -78.1188892

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	80.7	88
Fecal Coliform	0.16	11000	10
pH	0.16	8.31	73
BOD	0.11	3	87
Temperature Change	0.11	2.2	84
Total Phosphate	0.10	0.61	55
Nitrates	0.10	0.4	97
Turbidity	0.08	15.9	88
Total Solids	0.07	192.5	73

Factors Entered:	9
Final Index:	88

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Segundo punto: El Alpargate 6**



Water Quality Report - 06/08/2016 09:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica Del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River, Alpargate  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1188892

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	88.8	94
Fecal Coliform	0.18	48000	6
pH	0.18	8.24	75
BOD	0.11	4	81
Temperature Change	0.11	0	93
Total Phosphate	0.10	0.52	59
Nitrates	0.10	1.7	95
Turbidity	0.08	317	5
Total Solids	0.07	2080	20

Factors Entered:	9
Final Index:	58

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Tercer punto:** Puente Rojo 1



Water Quality Report - 01/28/2016 10:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Tecnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River Puente Rojo  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	83.7	90
Fecal Coliform	0.16	1600000	2
pH	0.16	8.18	78
BOD	0.11	26.8	6
Temperature Change	0.11	4	77
Total Phosphate	0.10	1.79	29
Nitrates	0.10	0.8	96
Turbidity	0.08	29	54
Total Solids	0.07	235	68

Factors Entered:	9
Final Index:	54

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Tercer punto:** Puente Rojo 2



Water Quality Report - 02/23/2016 11h00

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica Del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: Puente Rojo  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	51.9	46
Fecal Coliform	0.16	748000	2
pH	0.16	7.55	92
BOD	0.11	215	5
Temperature Change	0.11	5.9	68
Total Phosphate	0.10	3.58	19
Nitrates	0.10	4.8	66
Turbidity	0.08	114	5
Total Solids	0.07	777.5	20

Factors Entered:	9
Final Index:	66

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



**Tercer punto:** Puente Rojo 3



Water Quality Report - 03/23/2016 08:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: Puente Rojo  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	81.8	88
Fecal Coliform	0.16	156000	2
pH	0.16	8.24	75
BOD	0.11	5	56
Temperature Change	0.11	1.6	87
Total Phosphate	0.10	0.89	44
Nitrates	0.10	0.4	97
Turbidity	0.08	13.7	69
Total Solids	0.07	182.5	75

Factors Entered:	9
Final Index:	63

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



Tercer punto: Puente Rojo 4



Water Quality Report - 04/19/2016 11:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: Puente Rojo  
 Coordinates: 41.2539752 -76.04861919999996

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	84.3	90
Fecal Coliform	0.16	46000	6
pH	0.16	8.23	76
BOD	0.11	10	34
Temperature Change	0.11	3.3	80
Total Phosphate	0.10	0.5	60
Nitrates	0.10	0.4	97
Turbidity	0.08	9.21	78
Total Solids	0.07	142.5	80

Factors Entered:	9
Final Index:	64

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



Tercer punto: Puente Rojo 5



Water Quality Report - 05/19/2016 11:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Instituto de Postgrado, Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River, Puente Rojo  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	79.2	86
Fecal Coliform	0.16	30000	7
pH	0.16	8.19	77
BOD	0.11	8	42
Temperature Change	0.11	2.5	83
Total Phosphate	0.10	0.8	55
Nitrates	0.10	0.7	98
Turbidity	0.08	24.2	58
Total Solids	0.07	217.5	70

Factors Entered:	9
Final Index:	62

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



Tercer punto: Puente Rojo 6



Water Quality Report - 06/08/2016 11:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica Del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River, Puente Rojo  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1188692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	90.1	95
Fecal Coliform	0.16	112000	2
pH	0.16	8.25	75
BOD	0.11	4	81
Temperature Change	0.11	1.8	88
Total Phosphate	0.10	0.74	49
Nitrates	0.10	2.7	92
Turbidity	0.08	358	5
Total Solids	0.07	2500	20

Factors Entered:	9
Final Index:	56

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad





Water Quality Report - 01/28/2016 10:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Tecnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River 17 de julio  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	66.5	69
Fecal Coliform	0.16	828000	2
pH	0.16	7.43	93
BOD	0.11	20	12
Temperature Change	0.11	5	73
Total Phosphate	0.10	1.9	28
Nitrates	0.10	1.1	96
Turbidity	0.08	18.6	63
Total Solids	0.07	232.5	68

Factors Entered:	9
Final Index:	53

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



Cuarto punto: 17 de julio 2



Water Quality Report - 02/23/2016 11h00

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica Del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: 17 de julio  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	22.7	14
Fecal Coliform	0.16	228000	2
pH	0.16	7.16	91
BOD	0.11	45	5
Temperature Change	0.11	5.9	68
Total Phosphate	0.10	3.89	17
Nitrates	0.10	1	96
Turbidity	0.08	10.4	75
Total Solids	0.07	340	54

Factors Entered:	9
Final Index:	41

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



Cuarto punto: 17 de julio 3



Water Quality Report - 03/23/2016 08:30 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: 17 de Julio  
 Coordinates: 41.2539752 -76.04861919999996

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	56.4	52
Fecal Coliform	0.16	25000	8
pH	0.16	7,76	88
BOD	0.11	10	34
Temperature Change	0.11	1,9	89
Total Phosphate	0.10	0.86	45
Nitrates	0.10	0.5	97
Turbidity	0.08	11.4	73
Total Solids	0.07	255	65

Factors Entered:	9
Final Index:	57

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



Cuarto punto: 17 de julio 4



Water Quality Report - 04/19/2016 11:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: 17 de Julio  
 Coordinates: 41.2539752 -76.04861919999996

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	79.5	86
Fecal Coliform	0.16	92000	4
pH	0.16	7.95	86
BOD	0.11	10	34
Temperature Change	0.11	3.5	79
Total Phosphate	0.10	0.68	51
Nitrates	0.10	0.6	96
Turbidity	0.08	7.91	80
Total Solids	0.07	370	50

Factors Entered:	9
Final Index:	61

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



Cuarto punto: 17 de julio 5



Water Quality Report - 05/19/2016 11:30 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Instituto de Postgrado, Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River, 17 de Julio  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Meaured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	73	79
Fecal Coliform	0.16	88000	4
pH	0.16	8	84
BOD	0.11	10	34
Temperature Change	0.11	3.3	80
Total Phosphate	0.10	0.7	50
Nitrates	0.10	0.8	96
Turbidity	0.08	17.8	64
Total Solids	0.07	205	72

Factors Entered:	9
Final Index:	80

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad





Water Quality Report - 01/28/2016 11:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica Del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	86.6	92
Fecal Coliform	0.16	62000	5
pH	0.16		
BOD	0.11	8.38	40
Temperature Change	0.11	4.7	74
Total Phosphate	0.10	2.43	24
Nitrates	0.10	1.3	96
Turbidity	0.08	19.3	62
Total Solids	0.07	238.5	67

Factors Entered:	8
Final Index:	56

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



Quinto punto: Punto final 2



Water Quality Report - 02/23/2016 11h00

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica Del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: Punto Final  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	79.5	86
Fecal Coliform	0.16	70000	5
pH	0.16	7.7	91
BOD	0.11	36	5
Temperature Change	0.11	3.5	79
Total Phosphate	0.10	2.5	24
Nitrates	0.10	1.3	96
Turbidity	0.08	21	60
Total Solids	0.07	256	65

Factors Entered:	9
Final Index:	55

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



Quinto punto: Punto final 3



Water Quality Report - 03/23/2016 08:30 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: Punto Final  
 Coordinates: 41.2539752 -76.04861919999996

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	81	88
Fecal Coliform	0.16	44000	6
pH	0.16	8.1	80
BOD	0.11	5	56
Temperature Change	0.11	4.2	76
Total Phosphate	0.10	1.81	28
Nitrates	0.10	2.7	92
Turbidity	0.08	3.31	89
Total Solids	0.07	425	43

Factors Entered:	9
Final Index:	61

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



Quinto punto: Punto final 4



Water Quality Report - 04/19/2016 12:00 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River: Punto Final  
 Coordinates: 41.2539752 -76.04861919999996

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	85.6	91
Fecal Coliform	0.16	3240	16
pH	0.16	8.33	72
BOD	0.11	6	51
Temperature Change	0.11	4.7	74
Total Phosphate	0.10	1.45	32
Nitrates	0.10	1.7	95
Turbidity	0.08	7.43	81
Total Solids	0.07	420	44

Factors Entered:	9
Final Index:	61

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



Quinto punto: Punto final 5



Water Quality Report - 05/19/2016 11:30 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Instituto de Postgrado, Universidad Técnica del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River, Punto Final  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	79.1	88
Fecal Coliform	0.16	2000	18
pH	0.16	8.23	78
BOD	0.11	2	80
Temperature Change	0.11	5.4	71
Total Phosphate	0.10	3.73	18
Nitrates	0.10	2.2	94
Turbidity	0.08	15.5	88
Total Solids	0.07	412.5	45

Factors Entered:	9
Final Index:	81

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad





Water Quality Report - 06/08/2016 11:30 am

Generated By: Jorge Arturo Castro  
 Email: jorturo@gmail.com  
 Organization: Universidad Técnica Del Norte  
 Type: stream  
 Location: Tahuando River, Punto Final  
 Coordinates: 0.4504062 -78.1186692

Factor	Weight	Measured	Quality Index
Dissolved Oxygen	0.17	81	88
Fecal Coliform	0.16	852000	2
pH	0.16	8.37	71
BOD	0.11	22	10
Temperature Change	0.11	5.5	70
Total Phosphate	0.10	1.39	33
Nitrates	0.10	2.2	94
Turbidity	0.08	129	5
Total Solids	0.07	530	20

Factors Entered:	9
Final Index:	46

Water Quality Index Legend

Range	Quality
90-100	Excellent
70-90	Good
50-70	Medium
25-50	Bad
0-25	Very Bad



# **ANEXO V**

**HOJAS DE REPORTE**

**PRESENCIA**

**MACROINVERTEBRADO POR**

**DIA DE MUESTREO**



Reporte de Campo Análisis de Presencia de Macroinvertebrados Río Tahuandó												Nrd:		1	
Fecha	Chrysothrix	4	Hora Inicio 08:00				Hora Final 12:30								
Curculionidae		4													
Tabanidae		4													
Tipulidae		4	S	17 de Julio	4	Abriendo punto final	A	ente Rojo (después)	S	Alpargate	4	S	La Toma	4	
FAMILIAS															
Ceratopogonidae	Puntaje BMWP Cq1	4	S/N	Puntaje	S/N	Puntaje	S/N	Puntaje	S/N	Puntaje	S/N	Puntaje	S/N	Puntaje	
Pschygodidae	10	4													
Leptopodidae	10	4							s		10	s		10	
Euthypodidae	10	4													
Oligoneuridae	10	4													
Helicopsychidae	10	4													
Calamita	10	4													
Odontoceridae	10	4													
Ptilodrepanidae	10	4													
Goniatidae	10	4													
Polytrichidae	10	4													
Lamprolaimidae	10														
Psocoptera	10	3							s		10	s		10	
Blepharidoptera	10	3													
Lymnidae	3								s		3	s		3	
Baetidae	8	3													
Leptoceridae	8	3	s		3	s	3	s	3	s	3				
Hydropsychidae	8	3	s		3	s	3	s	3	s	3				
Polycentropidae	8	3							s		8	s		8	
Hydropsychidae	8	3													
Xiphocentronidae	8														
Simuliidae	8	2	s		2	s	2	s	2						
Hydroptilidae	8	2													
Plecoptera	8	2													
Philopotamidae	8														
Coryphidae	8	1	s		1		s		1		s		8		
Saldidae	8														
Totales BMWP	8			18		27		14		56			65		
Pseudohelopsidae	8														
Calopterygidae	7										s			7	
Glossosomatidae	7														
Corixidae	7														
Scirtidae	7														
Leptohyphidae	7														
Coenagrinidae	6														
Ancylidae	6														
Lutrochidae	6			s		5		s		5	s		5		
Noteridae	6														
Aeshnidae	6														
Libellulidae	6														
Elmidae	6														
Staphylinidae	6														
Dryopidae	6														
Hydropsychidae	5	s		5	s	5		s		5	s		5		
Dugesidae	5			s		5	s	5	s	5	s		5		
Gelastocoridae	5														
Notonectidae	5														













Curculionidae	4								
Chrysomelidae	4								
Tabanidae	4								
Tipolidae	4	s	4 s	4	s	4 s	4		
Ceratopogonidae	4								
Pschycodidae	4								
Pyralidae	4								
Belostomatidae	4								
Mesovelidae	4								
Dolicopodidae	4								
Stratiomyidae	4								
Halipidae	4								
Empididae	4								
Naucoridae	4								
Scarabidae	4								
Glossiphoniidae	3								
Physidae	3								
Lymneidae	3		s	3	s	3 s	3		
Nepidae	3								
Planorbidae	3	s	3 s	3 s	3 s	3 s	3 s	3	
Hydrometridae	3	s	3 s	3 s	3 s	3 s	3		
Gryndidae	3								
Hydrophilidae	3								
Chironomidae	2	s	2 s	2 s	2				
Culicidae	2								
Muscidae	2								
Oligochaeta	1	s	1 s	1 s	1				
TOTAL INDICE BMWP			31	47	22	71	68		
Cualificacion		E-B-R-M-MM							







**ANEXO VI**

**FOTOGRAFÍAS**

**PUNTOS DE MUESTREO PARA ANÁLISIS MULTICRITERIO**



**Fotografía 1. Punto de muestreo La Magdalena**



**Fotografía 2. Punto de muestreo Yahuachi**



**Fotografía 3. Punto de muestreo Quebrada Santa Martha**



**Fotografía 4. Punto de muestreo Quebrada Cucho de Torres**



**Fotografía 5. Punto de muestreo Inicio Tahuando**



**Fotografía 6. Punto de muestreo La Toma**



**Fotografía 7. Punto de muestreo Puente el Olivo**

**Fotografía 8. Punto de muestreo Angochagua (Guaraczapas)**





**Fotografía 9. Punto de muestreo Puente San Eduardo**



**Fotografía 10. Punto de muestreo Zuleta**



**Fotografía 11. Punto de muestreo Romerillo Alto**



**Fotografía 12. Punto de muestreo Puente Guayabillas**



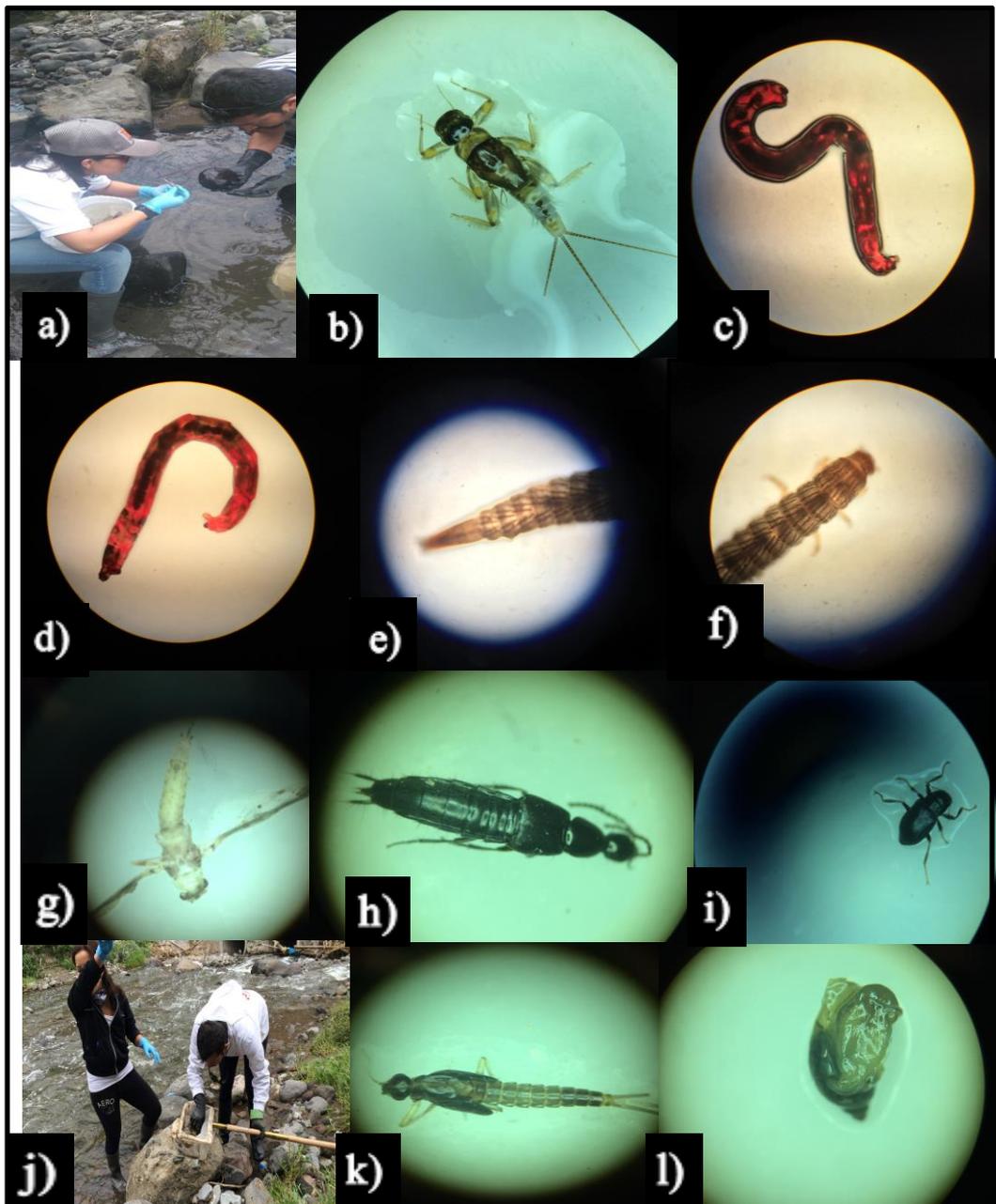
**Fotografía 13. Equipo multiparamétrico para análisis *in situ***

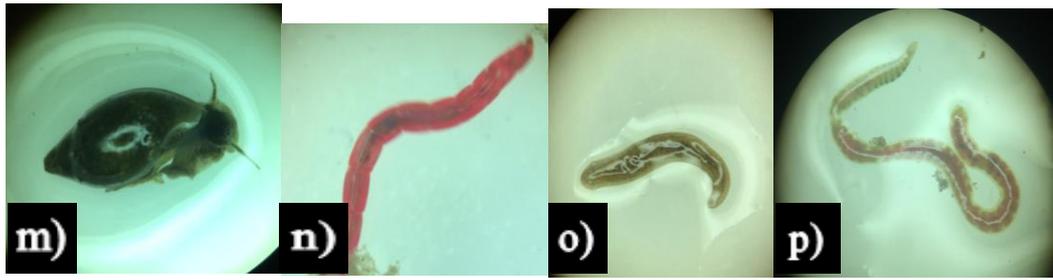


Fotografía 14. Transporte de muestras en cooler controlando la temperatura



Fotografía 15. Crecimiento de colonias de Coliformes Totales y Fecales





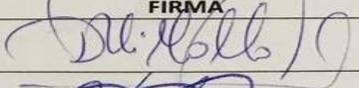
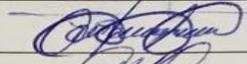
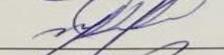
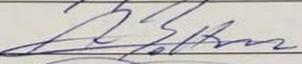
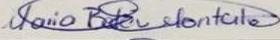
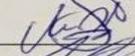
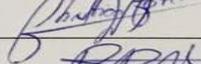
Fotografía 16. Análisis de Macroinvertebrados: a) Recolección de macroinvertebrados, b) Leptopophlediidae, c) Chironomidae, d) Chironomidae, e) Tipolidae , f) Tipolidae , g) Calopterygidae, h) Elmidae, i) Lutrochidae, j) uso de la red Surber , k) Leptopophlediidae, l) Psephenidae, m) Planorbidae, n) Chironomidae, o) Dugesiidae, p) Oligochaeta.

# ANEXO VII

# **FIRMAS DE CONSTANCIA**

**Lista de ASISTENTES en la socialización de la investigación “CORRESPONDENCIA ENTRE INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA EL MONITOREO SISTEMÁTICO DE LA CONTAMINACIÓN EN EL RÍO TAHUANDO”**

**SOCIALIZACION MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA RIO TAHUANDO**

NOMBRES Y APELLIDOS	ENTIDAD A LA QUE REPRESENTA	FIRMA	CORREO ELECTRONICO
Diego Villalba	AIRSAP		villalbadiego@yabato.com
CARLA VALERA L	LABORATORIO GUANO I		cvalera@emapai.gob.ec
MARIELA POZO	GESTION AMBIENTAL		mpozo@emapai.gob.ec
RAÚL BELTRÁN	DIRECCIÓN TÉCNICA		rbeltran@emapai.gob.ec
María Belén Montalvo	Gestión Ambiental		mmontalvo@emapai.gob.ec
Agustín Rueda	GAD Provincial I-babara		arueda@hotmail.com
Edson Aguillón	GADPI		edsonaguillon@yabato.com
CINTIA MUÑOZ	LABORATORIO EMAPA - J		cmunoz@emapai.gob.ec
Christian Tafur	Laboratorio EMAPA-I		chtafur@emapai.gob.ec
GIOVANI RIVADENEIRA	EMAPAI		jirivadeneira@yahoo.com