



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



### FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

#### “ESTIMACIÓN DE VALORES DE CONTAMINACIÓN DIFUSA PARA EL RÍO TOMBAMBA EN ZONAS PERIFÉRICAS Y URBANAS – PRIMERA APROXIMACIÓN”

Tesis previa a la obtención del  
título de Ingeniero Civil

**AUTORA:**

VALERIA ANDREA CAJAS PARRA

**DIRECTOR:**

INGENIERO FELIPE EDUARDO CISNEROS ESPINOSA. PhD

**CUENCA – ECUADOR**

**2015**



## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en la ciudad de Cuenca, en los ríos Tomebamba, Tarqui y Yanuncay. Se presenta una modelación de los parámetros más importantes de calidad de agua: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Coliformes y Oxígeno Disuelto (OD). Se utilizó un modelo matemático en Excel.

Para el estudio se estableció una red de monitoreo de trece puntos a lo largo de los tres ríos, que comprenden tres sitios de monitoreo continuo y diez sitios de contaminación puntual. Se realizaron dos muestreos en diferentes épocas del año (lluvia y sequía).

El modelo matemático desarrollado, se basa en la ecuación de Streeter & Phelps: el mismo que ha permitido obtener el transporte de contaminantes puntuales a sitios de monitoreo continuo. Este modelo ha sido ya calibrado y verificado en estudios anteriores de manera que se pueda obtener valores confiables.

Finalmente se obtuvieron valores de contaminación difusa de las principales variables de calidad de agua en el Río Tomebamba antes y después de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

Con este proyecto se podrá tener una primera aproximación de valores de contaminación difusa en el río.

**PALABRAS CLAVES:** Contaminación difusa, Streeter & Phelps, DBO, Oxígeno Disuelto, Coliformes, Calidad de Agua, estación de monitoreo.



## ABSTRACT

The present research was developed in the city of Cuenca in the rivers Tomebamba, Tarqui and Yanuncay.

The most important parameters of water quality: Biochemical demand of Oxygen (DBO), Coliforms and Dissolved Oxygen(OD) were modeled to assess diffuse contamination in the study area.

For the study there was established a network of monitoring of thirteen points along three rivers, which comprise three places of continuous monitoring and ten places of punctual contamination. Two samplings were realized in different seasons (rain and drought).

The developed mathematical model, is based on the equation of Streeter and Phelps: the same one that has allowed to obtain the transport of punctual pollutants to places of continuous monitoring. This model has been already calibrated and verified in previous studies so that it is possible to obtain reliable values.

Finally there were obtained values of diffuse contamination of the main variables of water quality in the Tomebamba river earlier and after the urban area of the city of Cuenca.

With this project it will be possible to have the first approach of values of diffuse contamination in the river.

**KEY WORDS:** Diffuse contamination, Streeter and Phelps, DBO, Dissolved Oxygen, Coliforms, Water Quality, Station of Monitoring.



## CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| ÍNDICE DE TABLAS .....   | 6  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....   | 8  |
| DEDICATORIA .....  | 11 |
| AGRADECIMIENTO .....   | 12 |
| CAPITULO 1. ....   | 13 |
| INTRODUCCIÓN.....  | 13 |
| 1.1 PROBLEMÁTICA.....  | 13 |
| 1.2 OBJETIVOS.....   | 14 |
| 1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....  | 14 |
| 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 14 |
| 1.3 HIPOTESIS.....   | 14 |
| CAPITULO 2. ....   | 15 |
| REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....  | 15 |
| CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES.....  | 15 |
| 2.1 CALIDAD DE AGUA.....   | 15 |
| 2.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN.....  | 19 |
| Contaminación Puntual .....  | 19 |
| Contaminación Difusa.....  | 20 |
| CAPÍTULO 3. ....   | 22 |
| METODOLOGÍA.....   | 22 |
| 3.1 ANTECEDENTES.....  | 22 |
| 3.1.1 AREA DE ESTUDIO .....  | 22 |
| 3.1.2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS NATURALES.....   | 23 |
| 3.1.3 USO Y CALIDAD DEL AGUA.....  | 24 |
| 3.2 MODELOS DE CALIDAD DE AGUA.....  | 24 |
| 3.3 MODELO USADO PARA EL TRASPORTE DE CONTAMINANTES BASADO EN<br>EL MODELO DE STREETER Y PHELPS..... | 26 |
| 3.3 ESTACIONES DE MONITOREO .....  | 34 |
| 3.3.1 Estaciones de monitoreo continuo.....  | 34 |
| 3.3.2 Fuentes puntuales de contaminación.....  | 36 |
| 3.4 PARÁMETROS ANALIZADOS EN EL LABORATORIO .....  | 40 |



---

|  |    |
|--|----|
| 3.5 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Y PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO .....  | 41 |
| CAPÍTULO 4. ....   | 44 |
| RESULTADOS.....  | 44 |
| 4.1 MONITOREO, RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS .....          | 44 |
| 4.2 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO ... | 45 |
| 4.3 MODELACIÓN DE COLIFORMES .....                               | 46 |
| 4.4 MODELACIÓN DE LA DBO.....                                    | 52 |
| 4.5 MODELACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO.....                         | 58 |
| 4.6 CONTAMINACIÓN DIFUSA .....                                   | 64 |
| CAPÍTULO 5. ....   | 66 |
| CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....               | 66 |
| 5.1 CONCLUSIONES .....   | 66 |
| 5.2 OBSERVACIONES .....  | 67 |
| 5.3 RECOMENDACIONES.....   | 67 |
| BIBLIOGRAFÍA.....  | 68 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Fuentes de contaminación difusa importantes.....  | 21 |
| Tabla 2. Rangos de profundidad y velocidades para la aplicación de las expresiones para la determinación de la reaeración.....         | 32 |
| Tabla 3. Coeficientes de reaeración de primer orden en distintos ríos.....   | 32 |
| Tabla 4. Descripción de las estaciones de monitoreo continuo.....  | 35 |
| Tabla 5. Fuentes puntuales de contaminación .....  | 37 |
| Tabla 6. Distancias entre los puntos de estudio.....   | 39 |
| Tabla 7. Parámetros analizados en el laboratorio, métodos y equipo. ....   | 40 |
| Tabla 8. Datos de los puntos de monitoreo continuo. ....   | 44 |
| Tabla 9. Datos de las fuentes de contaminación puntual del río. ....   | 44 |
| Tabla 10. Parámetros del río Tomebamba medidos en laboratorio de las estaciones de monitoreo continuo.....                             | 45 |
| Tabla 11. Parámetros del río Tomebamba medidos en el laboratorio de las fuentes de contaminación puntual.....                          | 46 |
| Tabla 12. Datos iniciales para la modelación de Coliformes del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 23 de Julio del 2014..... | 47 |
| Tabla 13. Resultados aplicación de modelo balance de masas para coliformes.....  | 47 |
| Tabla 14. Resultados aplicación de modelo remoción de coliformes. ....   | 47 |
| Tabla 15. Modelación de Coliformes del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 23 de Julio del 2014. ....                        | 48 |
| Tabla 16. Modelación de Coliformes del tramo San Joaquín- Interseccion1 del muestreo del 23 de Julio del 2014.....                     | 48 |
| Tabla 17. Modelación de Coliformes del tramo V. de Portete -Tomebamba Monay del muestreo del 23 de Julio del 2014.....                 | 49 |
| Tabla 18. Modelación de Coliformes del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.....                    | 49 |
| Tabla 19. Modelación de Coliformes del tramo San Joaquín- Interseccion1 del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.....                | 50 |
| Tabla 20. Modelación de Coliformes del tramo V. de Portete -Tomebamba Monay del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.....            | 50 |
| Tabla 21. Coliformes en la época de sequía y lluvia del tramo LL-I2. ....  | 51 |
| Tabla 22. Coliformes en la época de sequía y lluvia del tramo TQ1-TM.....  | 52 |
| Tabla 23. Datos iniciales para la modelación de DBO del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 23 de Julio del 2014. ....       | 53 |
| Tabla 24. Resultados del modelo de la DBO del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 23 de Julio del 2014.....                  | 54 |
| Tabla 25. Resultados del modelo de la DBO del tramo San Joaquín –Intersección1 del muestreo del 23 de Julio del 2014.....              | 54 |
| Tabla 26. Resultados del modelo de la DBO del tramo V. de Portete - Tomebamba Monay del muestreo del 23 de Julio del 2014. ....        | 55 |



---

|  |    |
|--|----|
| Tabla 27. Resultados del modelo de la DBO del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.....                   | 55 |
| Tabla 28. Resultados del modelo de la DBO del tramo San Joaquín –Intersección1 del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.....               | 56 |
| Tabla 29. Resultados del modelo de la DBO del tramo V. de Portete - Tomebamba Monay del muestreo del 25 de Septiembre del 2014. ....         | 56 |
| Tabla 30. DBO del tramo LL-I2 de la época de lluvia y sequía.....  | 57 |
| Tabla 31. DBO en la época de lluvia y sequía del tramo TQ1-TM.....   | 58 |
| Tabla 32. Datos utilizados en la modelación del oxígeno disuelto del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 23 de Julio de 2014. .... | 59 |
| Tabla 33. Resultados del modelo de OD del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 23 de Julio del 2014.....                            | 60 |
| Tabla 34. Resultados del modelo de OD del tramo San Joaquín-Intersección1 del muestreo del 23 de Julio del 2014.....                         | 60 |
| Tabla 35. Resultados del modelo de OD del tramo V. de Portete-Tomebamba Monay del muestreo del 23 de Julio del 2014. ....                    | 61 |
| Tabla 36. Resultados del modelo de OD del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 25 de Septiembre del 2014. ....                      | 61 |
| Tabla 37. Resultados del modelo de OD del tramo San Joaquín-Intersección1 del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.....                    | 62 |
| Tabla 38. Resultados del modelo de OD del tramo V. de Portete-Tomebamba Monay del muestreo del 25 de Septiembre del 2014. ....               | 62 |
| Tabla 39. OD en el tramo LL-I2 en la época de lluvia y sequía. ....  | 62 |
| Tabla 40. OD en el tramo TQ1-TM en la época de lluvia y sequía.....  | 63 |
| Tabla 41. Contaminación difusa de coliformes.....  | 64 |
| Tabla 42. Contaminación difusa de DBO. ....  | 64 |
| Tabla 43. Contaminación difusa de OD. ....   | 65 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Área de estudio .....  | 22 |
| Figura 2. Tramos de estudio: Estaciones y puntos de monitoreo. ....        | 27 |
| Figura 3 Ubicación de las estaciones de muestreo. ....                     | 35 |
| Figura 4. Ubicación de las fuentes puntuales de contaminación.....         | 37 |
| Figura 5. Equipo utilizado en el muestreo. ....                            | 41 |
| Figura 6. pHmetro portátil de marca Thermo Orion 4-Star.....               | 42 |
| Figura 7. Distancia A-B de un tramo del Río Tomebamba. ....                | 42 |
| Figura 8. Coliformes del tramo LL-I2 en la época de lluvia y sequía. ....  | 51 |
| Figura 9. Coliformes del tramo TQ1-TM en la época de lluvia y sequía. .... | 52 |
| Figura 10. DBO en la época de lluvia y sequía del tramo LL-I2. ....        | 57 |
| Figura 11. DBO del tramo TQ1-TM en la época de lluvia y sequía.....        | 58 |
| Figura 12. OD en la época de lluvia y sequía en el tramo LL-I2.....        | 63 |
| Figura 13. OD en la época de lluvia y sequía en el tramo TQ1-TM.....       | 63 |

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

|  |    |
|--|----|
| Foto 1. Estación Llaviuco (LL) .....                                 | 36 |
| Foto 2. Estación Matadero en Sayausí (MS) .....                      | 36 |
| Foto 3. Estación Tomebamba en Monay (TM) .....                       | 36 |
| Foto 4. Cumbe (CB)      Foto 5. Victoria de Portete (TQ1).....       | 38 |
| Foto 6. Tarqui (TQ2)      Foto 7. La Calera (TQ3).....               | 38 |
| Foto 8. Tres Marías (TQ4)      Foto 9. San Joaquín (YN1).....        | 38 |
| Foto 10. Colinas del Paraíso (YN2)      Foto 11. Sayausí (TM1) ..... | 38 |
| Foto 12. Italpisos (TM2)      Foto 13. Lavadoras- Monay (TM3).....   | 39 |
| Foto 14. Surucucho (LL1) .....                                       | 39 |



**CLÁUSULA DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, *VALERIA ANDREA CAJAS PARRA*, autora de la tesis **"ESTIMACIÓN DE VALORES DE CONTAMINACIÓN DIFUSA PARA EL RÍO TOMBAMBA EN ZONAS PERIFÉRICAS Y URBANAS – PRIMERA APROXIMACIÓN"**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de INGENIERO CIVIL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, Octubre del 2015

*VALERIA CAJAS P.*

VALERIA ANDREA CAJAS PARRA

C.I: 0302292362



**CLAÚSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL**

Yo, Valeria Andrea Cajas Parra, autora de la tesis **“ESTIMACIÓN DE VALORES DE CONTAMINACIÓN DIFUSA PARA EL RÍO TOMEBAMBA EN ZONAS PERIFÉRICAS Y URBANAS – PRIMERA APROXIMACIÓN”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, Octubre del 2015

*Valeria Cajas P.*

Valeria Andrea Cajas Parra

C.I: 0302292362



## DEDICATORIA

A Dios ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera.

A mis padres, por su amor, trabajo, sacrificio y por siempre estar a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una gran persona.

A mis hermanos por sus palabras y compañía.

A mi esposo por su confianza, amor y por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente.

A mi hijo que está por nacer que ha sido la fuerza para seguir adelante y conseguir cada una de mis metas.

Valeria Andrea Cajas Parra.



## AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme a lo largo de este camino y darme las fuerzas para superar cada obstáculo y hacer realidad este sueño anhelado.

A mis padres y hermanos quienes con su amor, apoyo y comprensión siempre estuvieron a mi lado a lo largo de mi vida estudiantil.

A mi esposo e hijo que han sido el incentivo para ser una mejor persona y seguir adelante.

A mi director de tesis el Ingeniero Felipe Cisneros y a mi tutor de tesis el Ingeniero Diego Mora por brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia que han sido de gran importancia para la realización de este trabajo.

Al Programa para el Manejo del Agua y Suelo (PROMAS) por proporcionar información necesaria para la ejecución del estudio.

Al programa VLIROUS que financió las campañas de monitoreo y los análisis de laboratorio de las muestras recolectadas.

Al Ingeniero Oscar Morales, por su apoyo en las salidas de campo.

Y finalmente a todas las personas que brindaron su servicio para la culminación de la investigación y carrera.

Valeria Andrea Cajas Parra.



---

## CAPITULO 1.

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 PROBLEMÁTICA

La Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) y el Ministerio del Medio Ambiente, a nivel nacional; la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA EP) a nivel local, son instituciones que trabajan para recuperar la calidad de los cuerpos de agua mediante la implementación de políticas y normas que ayudan a prevenir, controlar y enfrentar la contaminación de los recursos hídricos en el Ecuador.

Desde 1984 la ciudad de Cuenca, a través de la empresa municipal ETAPA EP, trabaja para recuperar la calidad de agua de los ríos de la ciudad. Durante varios años ha existido una fuerte contaminación en los cuerpos hídricos generada por las aguas residuales provenientes de la ciudadanía, las mismas que eran descargados directamente a los cursos de agua en diferentes puntos a los ríos y quebradas de la ciudad.

En la actualidad ETAPA EP en su política de gestión ambiental establece la protección de fuentes hídricas, tratamiento de aguas residuales, laboratorios ambientales y gestión ambiental urbana, a pesar de los esfuerzos de esta empresa municipal y de otras instituciones locales, en ejecutar obras de saneamiento y alcantarillado urbano y rural, aún existen la presencia de efluentes de aguas residuales crudas que son vertidas directamente a los ríos provocando la contaminación de estos, agravando los problemas sanitarios y la degradación del medio ambiente.

El programa bilateral “Manejo Integral de la Calidad del Agua” VLIR IUC-UNIVERSIDAD DE CUENCA, a través del Programa para el Manejo del Agua y del Suelo (PROMAS) analiza diversas temáticas encaminadas a fortalecer la comprensión de los recursos hídricos, permitiendo desarrollar herramientas de administración basada en la combinación de control de calidad del agua y modelización, de forma tal que los administradores de los recursos hídricos tengan mayor información para dirigirlos de mejor manera.

Con lo expuesto anteriormente es importante identificar las principales fuentes de contaminación puntual que hay en la cuenca del Río Tomebamba y a través de un balance de masas con datos observados en diferentes puntos establecidos a lo largo de la cuenca poder estimar valores de la contaminación difusa en dos estaciones ubicados en la periferia antes y después de la zona urbana, con este proyecto se podrá tener una primera aproximación de dichos valores.

Para realizar este proyecto se usó el modelo de calidad de agua de Streeter y Phelps el mismo que permitirá realizar el transporte de contaminantes puntuales a los sitios de monitoreo continuo.



## 1.2 OBJETIVOS

La presente investigación plantea los siguientes objetivos:

### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Estimar la contaminación difusa de las principales variables de calidad de agua en el Río Tomebamba antes y después de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compilar información de estudios anteriores relacionados con variables hidrológicas como lluvia y caudales, y de variables de calidad de agua para tres puntos de interés de monitoreo continuo de contaminación: Llaviuco, Matadero-Sayausí y Tomebamba en Monay; y de la misma manera para sitios con contaminación puntual.
- Realizar el transporte de contaminantes desde los sitios de contaminación puntual hacia los sitios de monitoreo continuo a través del uso del modelo de calidad de agua de Streeter y Phelps.
- Realizar el balance de contaminantes en sitios de monitoreo continuo.

## 1.3 HIPOTESIS

- La contaminación difusa ( $C_D$ ) es igual a la contaminación total en sitio de monitoreo ( $C_T$ ) menos la contaminación puntual transportada a sitio de monitoreo ( $C_{PTrans.}$ ).

$$C_D = C_T - C_{PTrans.}$$



---

## CAPITULO 2.

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

“La polución de aguas es la presencia en el agua de contaminante en concentraciones y permanencias superiores o inferiores a las establecidas en la legislación vigente capaz de deteriorar la calidad de agua” (TULAS)

La contaminación de los recursos hídricos puede ser consecuencia directa de la descarga de aguas negras e industriales, llamadas fuentes puntuales o consecuencia indirecta de la contaminación del aire y suelo, llamadas fuentes no puntuales o difusas.

La calidad de agua ha ido decreciendo en gran parte por las actividades productivas que se desarrollan en las cuencas hidrográficas y por el mal uso que le dan sus habitantes al tratarlas como receptoras de residuos. Siendo las mayores fuentes contaminantes las emisiones de agua domesticas e industriales que contiene gran cantidad de materia orgánica, nutrientes y sustancias tóxicas como las del sector agrícola: abonos, pesticidas, herbicidas y estiércol.

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

Las sustancias que son arrojadas a los ríos pueden ser biodegradables y no biodegradables. Las biodegradables son aquellas que son posibles descomponer por medio de los microorganismos y reacciones químicas, mientras que las no biodegradables son de mayor gravedad debido a que su acción devastadora perdura en el tiempo y se trasmite por el transporte de agua e inclusive por la cadena trófica.

#### 2.1 CALIDAD DE AGUA

Para la definición de calidad de agua, se contemplan varios factores de acuerdo a los diferentes usos que puede dársele al recurso.

*La calidad de agua es definida como una lista de concentraciones, especificaciones y particiones físicas de sustancias orgánicas e inorgánicas, así como, la composición y estado de la biota acuática encontrada en el cuerpo de agua. Esta calidad muestra la variación temporal y espacial de los factores tanto internos como externos de los cuerpos de agua (Chapman, 1992).*

La definición de calidad de agua está basada en el tipo de uso al que se destina este recurso, donde la suma de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas superficiales (quebradas, ríos y lagos) y las subterráneas deberán cumplir con los requerimientos establecidos para cada uso, como consumo humano, industrial, abrevaderos, agricultura, etc. (Batram y Ballance, 1992).



Estas características se deben monitorear para determinar las condiciones del agua y así proporcionar las bases para detectar las tendencias y conocer las causas y efectos de las relaciones que hay entre estas características.

Para la evaluación de la calidad de agua es muy importante identificar las actividades que influyen directa o indirectamente, así como también las características geográficas del área que pueden ser: el uso de la tierra, el clima, la hidrología entre otros, y los usos del agua ya sea en embalses, canales, uso industrial, agricultura, navegación, recreación, consumo humano. A demás de las fuentes contaminantes incluyendo domésticas, industriales y agricultura. (Chapman, 1992)

### 2.1.1 PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

Algunos parámetros que son usados en calidad de agua se explican brevemente a continuación:

- Color

El color indirectamente describe el origen y las propiedades del agua. Se produce por el contacto del agua con algas, desechos orgánicos tales como hojas, madera, etc., en varios estados de descomposición así como también por la presencia de óxidos metálicos como el hierro.

En la formación del color en el agua intervienen entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados.

Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda o natural y color verdadero o real al que queda luego de que el agua ha sido filtrada.

- Turbidez

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos como arcillas, materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, plancton, sedimentos procedentes de la erosión, compuestos orgánicos solubles coloreados y microorganismo. Se utiliza la turbidez para indicar la calidad de agua y la eficiencia de la filtración para determinar si existen organismos que pueden provocar enfermedades causando daños a la salud.

- Alcalinidad

La alcalinidad es la medida de la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Se debe principalmente a las sales de ácidos débiles, aunque las bases débiles o fuertes también pueden contribuir, esas sustancias actúan como amortiguadores para resistir la caída del pH.

La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica.

Este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y cuando alcanza niveles altos puede tener efectos sobre el sabor.



- Dureza

La dureza mide la capacidad del agua para producir incrustaciones por formación de precipitados insolubles de carbonatos e hidróxidos debido a la presencia de sales disueltas principalmente de calcio y magnesio.

La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad, depende de ambos. La dureza del agua es diferente dependiendo del sitio en donde se encuentra, refleja la naturaleza de las formaciones geológicas con las que el agua ha estado en contacto.

- Temperatura

La temperatura es una variable muy importante en el medio acuático, pues influye en el metabolismo de las especies, como productividad primaria, respiración de los organismos y descomposición de la materia orgánica.

Las descargas de agua a altas temperaturas pueden producir daños a la flora y fauna de las aguas receptoras al interferir con la reproducción de las especies, incrementar el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización, produciendo de esta forma que el agua no sea apta para ciertos usos.

La temperatura influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad de agua como el pH, la conductividad eléctrica, el déficit de oxígeno y otras variables fisicoquímicas.

- Conductividad eléctrica

La conductividad es una medida de la capacidad que tiene la solución para transportar una corriente eléctrica. Este parámetro tiene relación con la existencia de iones disueltos en el agua, que son partículas con cargas eléctricas. Cuando mayor sea la concentración de iones disueltos, mayor será la conductividad eléctrica en el agua. Es decir, la medida de la conductividad de una muestra de agua nos da la idea de los sólidos disueltos en la misma.

- Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos son partículas muy pequeñas que no se pueden eliminar por medio de deposición, estos son los responsables de las impurezas visibles. Determinan el olor, sabor, el color aparente del agua y la profundidad hasta la cual penetra la luz del sol, por su relación estrecha con la turbidez del agua, afectada por materiales como hojas, residuos vegetales, partículas de suelo provenientes de escorrentía superficial y erosión; y el deterioro de material animal y vegetal que es convertido en sedimentos dentro del río.

- pH (Índice de Ión de Hidrógeno)

El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. Determina si una sustancia es ácida cuando tiene valores menores a 7, neutra cuando es igual a 7 y básica cuando es mayor a 7.



Las medidas de pH son de extrema utilidad, pues provee mucha información con respecto a la calidad de agua. Las aguas superficiales tienen pH entre 4 y 9. Algunas veces son ligeramente alcalinas por causa de la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Generalmente un Ph muy ácido o muy alcalino está relacionado a la presencia de desechos industriales.

- Oxígeno disuelto

El oxígeno es una sustancia indispensable para la supervivencia de los animales y de otros muchos seres vivos tanto acuáticos como terrestres. Este parámetro proporciona una medida de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

La concentración de oxígeno disuelto disminuye con la presencia de microorganismos, bacterias y materia orgánica indicando que el agua es de mala calidad, los microorganismos presentes en el agua aumentan los riesgos a la salud.

- Demanda bioquímica de oxígeno(DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica y alguna inorgánica del agua, mediante procesos biológicos aerobios. La DBO indica el consumo de oxígeno por microorganismo, un alto contenido de DBO presenta riesgos a la salud.

- Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de materia orgánica e inorgánica presente en el agua.

La DQO se relaciona directamente con la DBO y debe ser igual o mayor que esta.

- Nitritos y Nitratos

El ion nitrito y nitrato son iones de origen inorgánico de origen natural que forman parte del ciclo del nitrógeno.

Los desechos con nitrógeno orgánico se descomponen en la naturaleza por la acción de microorganismos y forman el amoníaco o amonio. Luego se oxida y forma iones nitritos y estos forman a su vez nitratos.

El agua que contiene altas concentraciones de nitratos y nitritos causan en niños menores de seis meses una enfermedad llamada metahemoglobinemia infantil.

- Coliformes totales

Los coliformes totales son todos los microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua. Las bacterias del género coliformes se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, pero también están ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales.



Los coliformes se introducen en mayor número al medio ambiente por las heces de los humanos y animales, por tal motivo se suele deducir que la mayoría de los coliformes que se encuentran son de origen fecal, sin embargo, existen muchos coliformes de vida libre.

- Coliformes fecales

Las coliformes fecales son un indicador biológico de materia orgánica, corresponden a un grupo de las coliformes totales. La presencia de estos coliformes es evidencia de contaminación fecal, los cuales tiene origen en las excretas de los seres humanos y animales de sangre caliente. La mayoría de estos organismos son anaeróbicos y facultativos, otros dependen del oxígeno disuelto para realizar procesos de metabolización. (Bartram y Ballance, 1996) Se diferencian de los coliformes totales ya que crecen a una temperatura mayor (termotolerantes).

- Cloruros

Los cloruros son los principales aniones inorgánicos en el agua. Estos compuestos resultan de la combinación del cloro con una sustancia simple o compuesta (excepto hidrógeno u oxígeno). Los cloruros son altamente solubles por lo que contaminan fácilmente el agua.

El incremento de cloruros en el agua ocasiona el aumento de la corrosividad del agua.

Los cloruros ingresan al agua debido al lavado del suelo que realizan las aguas lluvias, la concentración es generalmente baja si es que no ha tenido eventos antrópicos. A este parámetro se le considera como un indicador de afección antrópica.

Algunos eventos antrópicos que se pueden presentar en el río de estudio son: la contaminación doméstica en particular procedentes de la orina del hombre y de los animales (aguas residuales), riego agrícola y diversos efluentes de la actividad industrial. (Catalán L. *et al.*, 1971)

## 2.2 FUENTES DE CONTAMINACIÓN

### Contaminación Puntual

La contaminación puntual son puntos específicos de descarga de contaminantes. Este tipo de contaminación es fácil de identificar, monitorear y tratar.

Las mayores fuentes de contaminación del agua son los desechos de agua doméstica, los escurrimientos industriales, el escurrimiento de la tierra labrada, rellenos sanitarios, etc.

Las fuentes puntuales descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías o alcantarillas a cuerpos de agua superficial. Por ejemplo fábricas, plantas de tratamiento industrial, plantas de tratamiento de aguas negras, industria textil, etc.



---

## Contaminación Difusa

La evaluación y el control de la contaminación difusa o contaminación no puntual son más complejos y difíciles. La contaminación difusa involucra el transporte y transformación de desechos a través de varios medios por ejemplo: deposición atmosférica, aplicación de un contaminante en el suelo y la transformación química de los suelos, involucrando el aire, suelo y agua.

No se puede regular directamente las emisiones de fuentes de contaminación difusa, sino por medio de la implementación y evaluación de actividades en la cuenca (Arreguín-Cortés et al., 2000; Holdren et al., Campbell et al., 2004).

El mecanismo mediante el cual se inicia el transporte de contaminantes de las fuentes no puntuales es la lluvia, la cual promueve el escurrimiento, el mismo que por procesos erosivos arrastra una gran cantidad de suelo y sedimentos en conjunto con los contaminantes y que tiene como destino final los cuerpos de agua superficiales.

La contaminación difusa proviene del agua que escurre el suelo, producto de la lluvia. El agua golpea la superficie de la tierra, disuelve y acarrea un conjunto de contaminantes naturales o producidos por el hombre, que pueden incluir: aceite y desechos por desgaste de vehículos en vialidades urbanas, productos químicos de zonas agrícolas, excremento de actividades pecuarias, lavado de zonas de actividades mineras y materiales tóxicos de áreas urbanas y suburbanas.

Estos escurrimientos se dirigen cuesta abajo de la cuenca hacia los cuerpos de agua como arroyos, ríos y lagos, ya sea de modo directo o a través de sistemas de drenaje.

Algunas características de la contaminación difusa son citadas a continuación (Novotny, 2003):

- Son fuente menores de contaminación individualmente, pero en conjunto son significativas a lo largo de la cuenca.
- Son el resultado de actividades ligadas al suelo.
- Están fuertemente influenciadas por la lluvia.
- Los impactos en la calidad de agua son evaluados a nivel de la cuenca.
- La extensión de las emisiones difusas de desechos o contaminantes se relacionan con ciertos eventos climáticos incontrolables, así como por condiciones geográficas y geológicas y pueden diferir mucho de lugar en lugar y de año en año.
- Los desechos de contaminación difusa más importantes, sujetos de manejo y control son: sólidos suspendidos, nutrientes como el fósforo y nitrógeno, microorganismos fecales y compuestos tóxicos.

Los contaminantes generados por contaminación difusa que más se destacan se presentan en la tabla 1.



| Contaminante                      | Ejemplo de su origen  | Problema ambiental   |
|-----------------------------------|---|--|
| Fósforo                           | Erosión del suelo, fertilizantes agrícolas, contaminación de escorrentía urbana (detergentes y materiales orgánicos).   | Eutroficación de las aguas dulces, degradación ecológica, incremento en el costo del tratamiento de agua potable, crecimientos de algas nocivos.                       |
| Nitrógeno                         | Fertilizantes agrícolas, emisiones vehiculares, depositación atmosférica.   | Eutroficación (especialmente de aguas costeras), contaminación de fuentes de agua potable, acidificación.  |
| Sólidos suspendidos               | Escorrentía de tierra de labrado, erosión en zonas altas, acumulación de sólidos en superficies urbanas impermeables, construcción.                                       | Destrucción de la zona de rápidos, sedimentación en estanques naturales, transportador de nutrientes y compuestos tóxicos.   |
| Grasas y aceites e hidrocarburos  | Mantenimiento vehicular, disposición de aceites al agua, derrames por almacenamiento y manejo, emisiones vehiculares y escorrentía de carreteras, emisiones industriales. | Toxicidad, contaminación de sedimentos de ríos urbanos, contaminación de agua subterránea, nocivo (en aguas superficiales), sabor (en aguas de abastecimiento humano). |
| Desechos orgánicos biodegradables | Desechos agrícolas, lodos residuales, disposición de efluentes en el suelo.   | Demanda de oxígeno, enriquecimiento de nutrientes.   |
| Pesticidas                        | Aplicación municipal para controlar las malezas cercanas a las carreteras, agricultura, mantenimiento privado de pastos.  | Toxicidad; contaminación a las fuentes de agua potable; afectación de la biodiversidad en ríos, lagos y mares.   |
| Microrganismos fecales            | Falla en sistemas de tanques sépticos, heces animales en pueblos y ciudades, conexiones cruzadas ilegales de sistemas separados de alcantarillado.                        | Riesgo a la salud, incumplimiento con los estándares recreativos (cerrado de playas).  |
| Metales pesados                   | Escorrentía urbana, aplicación en el suelo de agua y lodos residuales.  | Toxicidad.   |

Fuente: Novotny, 2003 y Campbell *et al.*, 2004

**Tabla 1. Fuentes de contaminación difusa importantes.**

## CAPÍTULO 3.

## METODOLOGÍA

## 3.1 ANTECEDENTES

## 3.1.1 AREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la cuenca del río Tomebamba en Monay que se localiza en la región centro sur de la República del Ecuador en la provincia del Azuay. Este río nace en la vertiente oriental de los Andes y conforma la cuenca del río Paute que es una de las cuencas hidrográficas más importantes del país. Su superficie es de 1275 Km<sup>2</sup> conformada por las subcuencas de los Ríos Tarqui que posee 476 Km<sup>2</sup>, Yanuncay con 419 Km<sup>2</sup> y Tomebamba con 380 Km<sup>2</sup>. (Figura1)

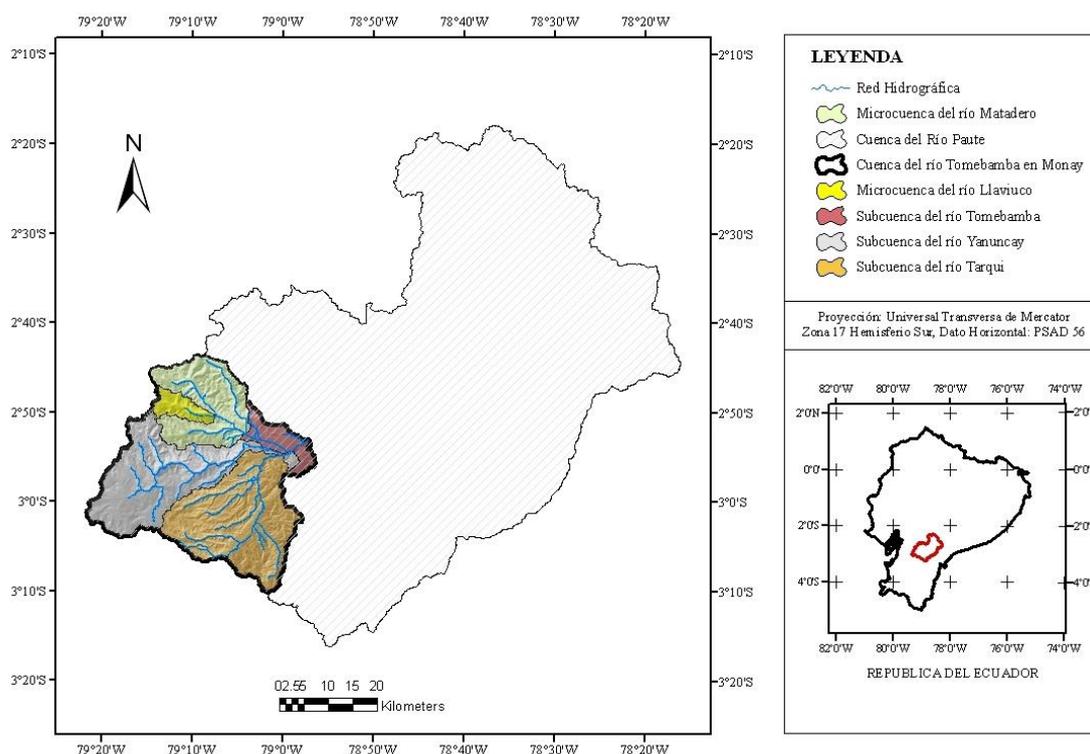


Figura 1. Área de estudio

La cuenca alta del río Tomebamba tiene una geomorfología accidentada, en esta zona los ríos se caracterizan por tener una alta pendiente. Nace en el sector llamado Tres Cruces en el parque nacional “El Cajas” y está formada por las microcuencas de los ríos Mazán, Culebrillas, Capillas y Río Amarillo. Una gran parte de la cuenca es páramo, entre 3000 a 4500 m.s.n.m. Por debajo de



este piso encontramos bosque montano o andino sobre todo en los valles de Mazán, Llaviuco y un poco en el sector denominado Fierro Loma (entrada a Llaviuco), en este se encuentra asentamientos dispersos, cultivos y pastos. El bosque nativo por lo general ha sido reemplazado por pastos, cultivos y bosque plantado de eucalipto. En la parte baja se encuentra la ciudad de Cuenca y sus parroquias rurales. (MACUA, 2001)

### 3.1.2 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS NATURALES

- Geomorfología

En las partes altas y a lo largo de la Cordillera Occidental, las lenguas de los glaciares han labrado en la corteza de la lava profundos valles de fondo plano y paredes abruptas, los que son conocidos con el nombre de cajones glaciáricos o cajas; por lo que es evidente que las glaciaciones cuaternarias afectaron a toda la región interandina y, que sus efectos son todavía claramente visibles.

Hay cinco diferentes niveles de terrazas en los alrededores de Cuenca. Están compuestos de material grueso de origen volcánico principalmente, cementados por arenas de diferente granulación. Se les puede considerar como material fluvio-glacial y aluvial antiguo, proveniente de las partes altas de la Cordillera Occidental. Depósitos coluviales se encuentran en las laderas de los valles, muchos de ellos continúan su formación hasta los actuales días, el material difiere de acuerdo a las formaciones que recubre. Depósitos aluviales existen en los fondos de los valles principales y en pequeñas depresiones aisladas. (ETAPA Y GGO, 2002)

- Formación Geológica

Las formaciones geológicas que se encuentran en la subcuenca del río Tomebamba son: Formación Tarqui (tobas, riolitas y andesitas), Formación Celica (andesitas y tobas) y algunos depósitos de Tilitas en la parte alta y media de la cuenca. En la parte baja se encuentran depósitos coluviales en su gran mayoría, las Formaciones Loyola (conglomerado de base), Santa Rosa (arenisca, conglomerado, lutitas), Azogues (conglomerado de base) y Biblián (piroclastos y lavas andesitas).

- Relieve

El relieve en la cuenca del Tomebamba se caracteriza por pendientes pronunciadas y escasas planicies en la zona baja, en donde se ubican los asentamientos humanos. Las altas pendientes restringen el uso del suelo para actividades agrícolas (ETAPA, 2007a).

- Clima

El clima de la región puede considerarse templado-frío. En las zonas altas la temperatura media anual está en un rango de 4 a 8 grados y en las zonas bajas de 12 a 15 grados. La precipitación promedio oscila entre los 750 y 1000 mm de lluvia anual. No existen estaciones marcadas, las lluvias se dan desde el mes de enero a mayo y la



época de sequía desde junio a diciembre. En los meses de junio, julio y agosto se producen heladas frecuente. (ETAPA, 2007a)

- Uso y cobertura del suelo

El 48% del territorio de la cuenca hidrográfica está ocupado por páramo. La vegetación leñosa ocupa el 12% y en el 35% se encuentran cultivos y pastos, áreas degradadas y urbanizadas. El 5 % corresponde a los humedales y lagunas.

### 3.1.3 USO Y CALIDAD DEL AGUA

El principal uso del agua en la cuenca del río Tomebamba y sus microcuencas es para el consumo humano. La dotación del agua de la ciudad de Cuenca y sus “Juntas de Agua” en la parte rural es controlada por la empresa ETAPA, la cual cuenta con un alto rango de acción en relación al mantenimiento del recurso y mejoramiento de los mecanismos de su utilización. Esta es responsable de la captación y distribución de agua a la ciudad de Cuenca y de la distribución y tratamiento de las aguas negras en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, realiza además acciones de protección al bosque alto andino y páramo donde se capta el agua para la ciudad.

En la cuenca alta del Tomebamba existen algunas presiones para los recursos: actividad turística sin control, prácticas ganaderas, agrícolas, de piscicultura y plantaciones de especies exóticas como el pino. Se realizan acciones para proteger toda la cuenca alta de este río por parte de ETAPA.

En la cuenca media existen usos como son: la agricultura, la ganadería, la piscicultura, uso industrial (cerámicas), pesca deportiva y actividades económicas de turismo. La cuenca baja se caracteriza por los asentamientos urbanos, en donde se realiza agricultura intensiva.

ETAPA ha efectuado diversas acciones para proteger al río Tomebamba mediante la implementación de los colectores marginales que se inician desde la parroquia Sayausí y terminan en el río Cuenca. Sin embargo aún persisten las descargas domésticas o industriales que tienden a deteriorar la calidad de sus aguas, tal el caso de descargas industriales aguas arriba de la ciudad, desechos de plantaciones de floricultura y drenajes de campos de cultivo en los que se emplean abonos y sustancias de control de origen químico. La parroquia de Sayausí, algunas pequeñas urbanizaciones y caseríos descargan también sus aguas residuales en forma directa o hacia algún afluente menor del río. Al igual que en la cuenca del Yanuncay, uno de los problemas más graves es la invasión de las zonas de inundación de los ríos por carreteras o cultivos y la destrucción de la vegetación de las riberas. (Carrasco M.C, 2006)

### 3.2 MODELOS DE CALIDAD DE AGUA

“Un modelo es una representación formal de la realidad que pretendemos describir, analizar y comprender. Los modelos de calidad de agua son relaciones matemáticas que posibilitan la comprensión y cuantificación de las relaciones causa-efecto de los procesos físicos, químicos y biológicos de los compuestos descargados en los cuerpos de agua receptores, tales como ríos, lagos y estuarios. Más importante aún, estos



modelos pueden ser utilizados en la evaluación de las distintas alternativas para mejorar la calidad del agua". (Torres Vega, 2009)

El comportamiento de los contaminantes en el agua es esencialmente dinámico. Los contaminantes están en movimiento permanente ya sea por la movilidad natural de las moléculas y partículas coloidales o por efecto del movimiento del agua. Los fenómenos de transporte de contaminantes han sido estudiados ampliamente y han dado origen a numerosas formulaciones matemáticas que describen su comportamiento. Estos modelos han mostrado ser muy útiles en la planificación de recursos y en el manejo de la mayoría de los problemas de contaminación del agua.

Las ecuaciones para el transporte están basadas en la conservación de la masa y energía, de tal manera que hay tres fenómenos que son el ingreso de contaminantes al cuerpo de agua desde el exterior del sistema, el transporte y las reacciones en el cuerpo de agua.

El transporte puede ser por advección o dispersión, por lo que depende de las características hidrodinámicas e hidrológicas del cuerpo de agua.

Para que un modelo de calidad de agua pueda ser aplicado confiablemente, para la predicción de los diversos parámetros, tiene que cumplir con la condición básica de reproducir aceptablemente las condiciones actuales (Loucks et al. 1982).

La US-EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) posee modelos o programas de calidad de agua entre los que se pueden destacar: WASP (Water Quality Analysis Simulation Program), QUAL2K (River and Stream Water Quality Model), EPD-RIV1 (One Dimensional Riverine Hydrodynamic and Water Quality Model) y AQUATOX.

Un modelo de calidad de agua no crea información, sino permite obtener el máximo beneficio de la información disponible.

### 3.2.1 Tipos de modelos

Los modelos pueden ser unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales, depende de las características físicas del medio a simular.

- **Modelos unidimensionales:** Generalmente se usa para representar flujos de aguas en ríos, considerando el sentido del escurrimiento.
- **Modelos bidimensionales:** Estos modelos son usados para ríos de gran ancho, en donde las concentraciones de contaminantes varían de un lado a otro. Para estos casos se utiliza un sistema cartesiano de coordenadas, en el cual la una corresponde al sentido del flujo y la otra a la dimensión lateral.
- **Modelos tridimensionales:** Se aplican para estudios de aguas subterráneas y en sistemas más complejos de aguas superficiales. Requieren mayor información y tiempo computacional por lo que se restringe su uso a problemas de mayor magnitud y se dispone de recursos suficientes para su aplicación.

Los modelos pueden ser dinámicos o de estado estacionario. Los dinámicos proporcionan información sobre la calidad de agua tanto en la dirección como en el tiempo y los de estado estacionario suponen que existe variación solo en el espacio.



### **3.3 MODELO USADO PARA EL TRASPORTE DE CONTAMINANTES BASADO EN EL MODELO DE STREETER Y PHELPS**

En la propuesta realizada para esta tesis se había considerado la utilización del programa QUAL2K, sin embargo en el desarrollo de la investigación se usó un modelo basado en el modelo de Streeter y Phelps, el mismo que ha sido validado en varios trabajos de investigación referidos a calidad de agua. (Jerves C., 2003)

Se ha preferido el uso de este programa por algunas razones entre las que están:

El software usado es muy amigable y sencillo.

Las ecuaciones de los parámetros (coliformes, DBO y OD) de esta investigación son las mismas en las que se basa el programa QUAL2K, estas se describen más adelante.

Este modelo fue probado localmente en diferentes estudios de consultoría, por lo que se ha validado en el ámbito local.

A continuación se enuncian los estudios de consultoría en los que ha sido usado el programa: Planes Maestros de Alcantarillado de Gualaceo, contrato realizado con el Municipio de Gualaceo en el año 2003; Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Alcantarillado del Centro Cantonal de Paute, contrato realizado con el Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Paute en el año 2012 y Plan de Manejo Integral en la Subcuenca del Río Machángara, contrato realizado con Acotecnic y Etapa en el año 2012.

#### **3.3.1 TRAMOS DE MODELACIÓN**

Para la modelación de los diferentes parámetros se dividió en tres tramos de análisis. Los tramos corresponden a los ríos Tomebamba, Yanuncay y Tarqui; ya que cada uno tiene su cuenca hidrográfica de aporte, usos de suelos y características geomorfológicas específicas (Figura2).

- El primer tramo comprende los puntos Llaviuco (LL), Surucucho (LL1), Matadero en Sayausí (MS), Sayausí (TM1), Itaipisos (TM2), Intersección2 (I2) que es el punto de unión entre los ríos Yanuncay y Tomebamba.
- El segundo tramo conforman los puntos San Joaquín (YN1) e Intersección1 (I1) que es el punto de unión de los ríos Yanuncay con el Tarqui.
- El tercer tramo comprenden los puntos Victoria de Portete (TQ1), Tarqui (TQ2), La Calera (TQ3), Tres Marías (TQ4), Intersección1 (I1), Parque Paraíso (YN2), Intersección2 (I2), Lavadoras (TM3) y Tomebamba en Monay (TM).

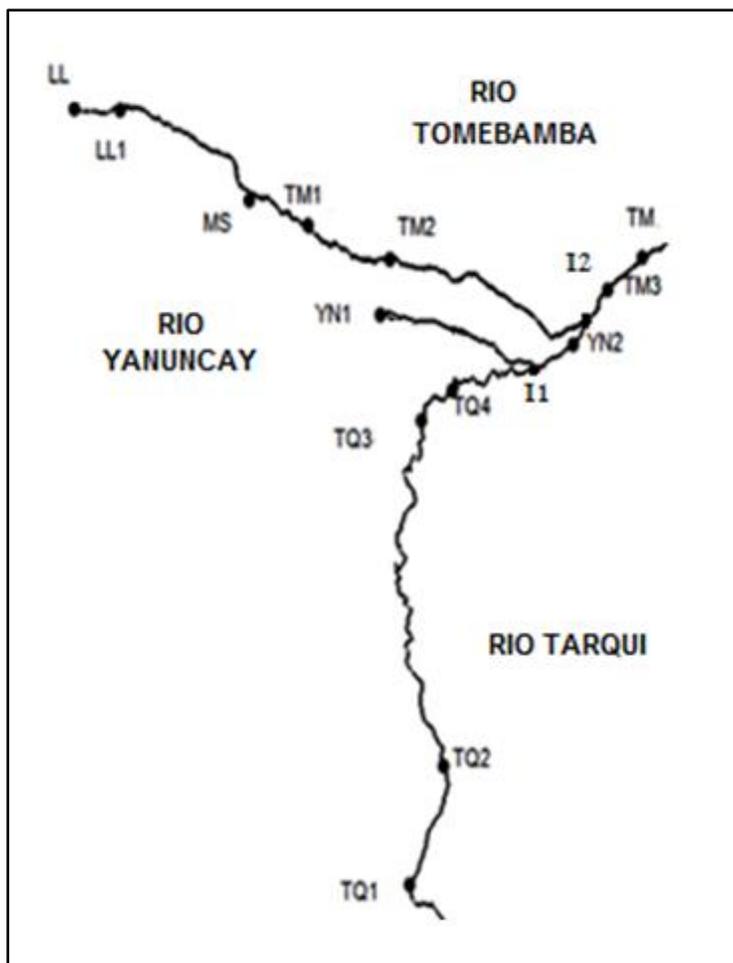


Figura 2. Tramos de estudio: Estaciones y puntos de monitoreo.

### 3.3.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo utilizado está programado en hoja de cálculo de Excel.

El programa está basado en las fórmulas de Streeter y Phelps para el transporte de la DBO y OD y para los coliformes se usa la ecuación general básica que se explica más adelante.

El modelo de Streeter y Phelps consiste en un modelo matemático que relaciona los dos principales mecanismos que definen el oxígeno disuelto en un cauce de agua superficial que recibe la descarga de aguas residuales, estas son la descomposición de materia orgánica, y aireación de oxígeno. Este modelo ha sido adaptado tanto para fuentes puntuales como para fuentes difusas o dispersas.

El modelo requiere de datos hidráulicos y calidad del agua para su realización.

En los datos hidráulicos están el área, profundidad o calado, caudal y la velocidad del río.



Los datos sobre calidad de agua son: Temperatura, Coliformes, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y oxígeno disuelto (OD).

### 3.2.2.1 MODELACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).

Para la modelación de la DBO se ha utilizado el “Modelo de Autodepuración formulado Streeter y Phelps”, en el cual es necesario determinar en campo el coeficiente de desoxigenación  $K_d$ .

#### BALANCE DE MASAS DE LA DBO

El balance de masas se realiza en función de la siguiente ecuación:

$$DBO = \frac{(Q_r * DBO_r) + (Q_a * DBO_a)}{(Q_r + Q_a)} \quad (1)$$

Donde:

$Q_r$ = Caudal del río

$Q_a$ = Caudal del afluente (descarga o cuerpo de agua)

$DBO_r$ = Demanda bioquímica de oxígeno observada en el río o determinada a partir del modelo de autodepuración.

$DBO_a$ = Demanda bioquímica del afluente (descarga o cuerpo de agua) medida en laboratorio.

Para obtener la DBO se usa la siguiente ecuación:

$$L = L_0 * e^{-K_d * t} \quad (2)$$

Dónde:

$L_0$ =DBO en el inicio del tramo analizado, en mg/l

$L$ =DBO en el final del tramo analizado, en mg/l

$K_d$ = Coeficiente de desoxigenación, en días<sup>-1</sup>

$t$ = Tiempo que demora el agua en atravesar el tramo analizado, en días

#### COEFICIENTE DE DESOXIGENACIÓN ( $K_d$ )

Es la constante cinética de primer orden para el consumo de oxígeno por la acción metabólica. La relación entre  $K_d$  a 20°C y la profundidad del río está dada por la siguiente expresión (Chapra, 1997):



$$K_d = 0.3 * \left(\frac{H}{8}\right)^{-0.434} \quad \text{para: } 0 \leq H \leq 2.4 \quad (3)$$

Donde:

$K_d$ = Constante de desoxigenación en la corriente receptora en días-1

H= Profundidad del río en m.

y

$$K_d = 0.3 \quad \text{para: } H > 2.4 \quad (4)$$

### 3.2.2.2 MODELACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO (OD)

Para la modelación de Oxígeno Disuelto se empleó las ecuaciones de Streeter y Phelps.

La siguiente ecuación mide el déficit de oxígeno disuelto (D) a una distancia aguas abajo (x), conociendo el déficit inicial ( $D_0$ ), la velocidad promedio (v), la DBO ( $L_0$ ) y las constantes de desoxigenación ( $K_d$ ) y de aireación ( $K_a$ ).

$$D = \frac{K_d L_0 (e^{-K_d t} - e^{-K_a t})}{(K_a - K_d)} + D_0 \times e^{-K_d t} \quad (5)$$

Donde:

$D$  = Déficit de oxígeno disuelto en mg/l.

$K_d$  y  $K_a$  = Coeficientes de desoxigenación y de reaireación.

$L_0$  = DBO medido o modelado en el río (mg/l).

$D_0$  = Déficit inicial de oxígeno disuelto

$t$  = Tiempo en días

### CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO

Este se estima a partir de la diferencia entre la concentración de saturación de OD y el déficit de OD.

$$OD = O_s - D_0 \quad (6)$$



Donde:

OD= Oxígeno disuelto en el río a x (m) aguas debajo de la descarga

O<sub>s</sub>= Saturación del oxígeno disuelto

D<sub>o</sub>= Déficit inicial de oxígeno disuelto

### CONCENTRACIÓN DE SATURACIÓN DE OXÍGENO

La concentración de saturación de oxígeno se obtiene de la siguiente ecuación:

$$C_s = 14.652 - 0.41022T + 0.0079910T^2 - 0.000077774T^3 \quad (7)$$

Donde:

C<sub>s</sub>= Concentración de saturación de oxígeno

T= Temperatura

### COEFICIENTE DE REAIREACIÓN (K<sub>a</sub>)

Es la constante cinética de primer orden para la transferencia de oxígeno desde el aire, mide la velocidad a la que el oxígeno presente en la atmosfera es transferido a los cuerpos de agua. Esta constante se obtiene a partir de varios modelados a 20<sup>0</sup>C.

Un coeficiente de aireación alto indica rápida recuperación de oxígeno disuelto, mientras que un coeficiente bajo indica recuperación baja de oxígeno disuelto.

El coeficiente de reaireación depende de la mezcla y turbulencia interna debido a la gradiente de velocidad, temperatura, viento, caídas de agua, rápidos, etc.

**O'Connor y Dobbins.** (Schnoor et al, 1996): indica que la velocidad de transferencia de oxígeno al agua es función de la relación entre la velocidad de la corriente y la profundidad. Esta ecuación es usada para velocidades moderadas y elevadas profundidades.

$$K_a = 3.93 \frac{v^{0.5}}{H^{1.5}} \quad (8)$$



Donde:

$K_a$ = Constante de reaireación

$V$ = Velocidad

$H$ = Profundidad

**Churchill** (Churchill et al. 1962): usó una expresión más empírica que la usada por O'Connor y Dobbins. Para obtener esta ecuación se realizaron varios análisis de regresión en los cuales investigaron la correlación entre el fenómeno de la reaireación, la profundidad y la velocidad en diversos tramos del río Tennessee en Estados Unidos. Esta ecuación es usada para flujos rápidos.

$$K_a = 5,026 \frac{v}{H^{1.67}} \quad (9)$$

Donde:

$K_a$ = Constante de reaireación

$V$ = Velocidad

$H$ = Profundidad

**Owens y Gibbs** (Owens et al. 1964): utilizaron una relación empírica y combinaron los resultados con los obtenidos en el río Tennessee. Esta ecuación es usada para velocidades moderadas y sistemas más superficiales.

$$K_a = 5,32 \frac{v^{0.67}}{H^{1.85}} \quad (10)$$

Donde:

$K_a$ = Constante de reaireación

$V$ = Velocidad

$H$ = Profundidad

Covar (1976) encontró que las fórmulas de O'Connor y Dobbins, Churchill y Owens y Gibbs se podían utilizar conjuntamente para predecir la reaireación por rangos de profundidad y combinación de velocidad. Esto se resume en la tabla 2.



|                         | Profundidad (m) | Velocidad (m/s) |
|-------------------------|-----------------|-----------------|
| <b>O'Connor-Dobbins</b> | 0.30 – 9.9      | 0.15 – 0.49     |
| <b>Churchill</b>        | 0.61 – 3.35     | 0.55 – 1.52     |
| <b>Owens-Gibbs</b>      | 0.12 – 0.73     | 0.03 - .055     |

Fuente: Chapra, 1997

**Tabla 2. Rangos de profundidad y velocidades para la aplicación de las expresiones para la determinación de la reaireación.**

El coeficiente de reaireación de primer orden para diferentes ríos, se detalla en la siguiente tabla.

| Coeficiente $k_a$             | Valor (1/d) |
|-------------------------------|-------------|
| Ríos lentos y profundos       | 0.1-0.4     |
| Ríos con condiciones típicas  | 0.4-1.5     |
| Ríos veloces y profundos      | 1.5-4.0     |
| Ríos veloces y poco profundos | 4.0-10      |

Fuente: Schnoor, 1996

**Tabla 3. Coeficientes de reaireación de primer orden en distintos ríos.**

## EFEECTO DE LA TEMPERATURA

Las constantes de reacción de las reacciones químicas, físicas y biológicas que ocurren en las aguas naturales se incrementan con aumentos de temperatura.

Mediante un balance de calor entre la temperatura de la fuente puntual y la temperatura del río se obtiene la temperatura mezcla del río a través de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{(Q_r * T_r) + (Q_d * T_d)}{(Q_r + Q_d)} \quad (11)$$

Donde:

T= Temperatura de la mezcla

Q<sub>r</sub>=Caudal del río

Q<sub>d</sub>=Caudal de descarga

T<sub>r</sub>=Temperatura del río



$T_d$ =Temperatura de descarga

Las bajas temperaturas reducen e incluso llegan a detener la actividad de los organismos, así en verano la descomposición es mucho más rápida que en invierno.

### CORRECCIONES DE LAS CONSTANTES CINÉTICAS POR TEMPERATURA

En la calidad de agua se toma como temperatura de referencia 20°C, para corregir las constantes por efecto de la temperatura se usa generalmente la siguiente ecuación:

$$K(T) = K_{20}\theta^{(T-20)} \quad (12)$$

Donde:

$K(T)$ = Corrección de temperatura

$K_{20}$ =Factor de corrección

$T$ = Temperatura de la mezcla

#### 3.2.2.3 MODELACIÓN DE COLIFORMES

Para la determinación de la remoción de coliformes fecales se ha utilizado la ecuación general básica la misma que se presenta a continuación:

$$N_x = N_a x \exp^{-K*ta_x} \quad (13)$$

Donde:

$N_x$ = Concentración de Coliformes Fecales en el río NMP/100 ml en un punto x.

$N_a$ = Concentración de Coliformes Fecales NMP/100 ml determinada para un punto a.

$K$ = Coeficiente de remoción de coliformes.

*Punto x*= Punto de análisis a partir del punto inicial del tramo seleccionado.

*Tiempo*= El tiempo transcurrido en el recorrido de una partícula entre los 2 puntos de análisis, calculado con la expresión  $t = e/v$  en días.



## BALANCE DE MASAS DE LA CONCENTRACIÓN DE COLIFORMES FECALES

El balance de masas para cada tramo se realizó en función de la siguiente ecuación:

$$C_{cm} = \frac{[Q_a * C_{ca} + Q_r * C_{cr}]}{[Q_a + Q_r]} \quad (14)$$

Donde:

$C_{cm}$ = Concentración de coliformes de la mezcla.

$Q_a$ = Caudal registrado en el afluente (descarga o cauce hídrico).

$Q_r$ = Caudal en del cuerpo receptor

$C_{ca}$ = Concentración de coliformes en aguas servidas registrada en el afluente

$C_{cr}$ =Concentración de coliformes en el cuerpo receptor. Valor observado o modelado.

### 3.2.3 CONTAMINACIÓN DIFUSA

Para encontrar la contaminación difusa en los sitios de monitoreo continuo realizamos un balance de contaminantes usando la siguiente expresión:

$$C_D = C_T - C_{PTrans.} \quad (15)$$

$C_D$ = Contaminación difusa de la estación de monitoreo continuo.

$C_T$ = Contaminación total de la estación de monitoreo continuo.

$C_{PTrans.}$ = Contaminación puntual transportada sitios aguas arriba.

## 3.3 ESTACIONES DE MONITOREO

Para la presente investigación se ha dividido en dos grupos de estaciones: las estaciones de monitoreo continuo y las fuentes puntuales de contaminación.

### 3.3.1 Estaciones de monitoreo continuo

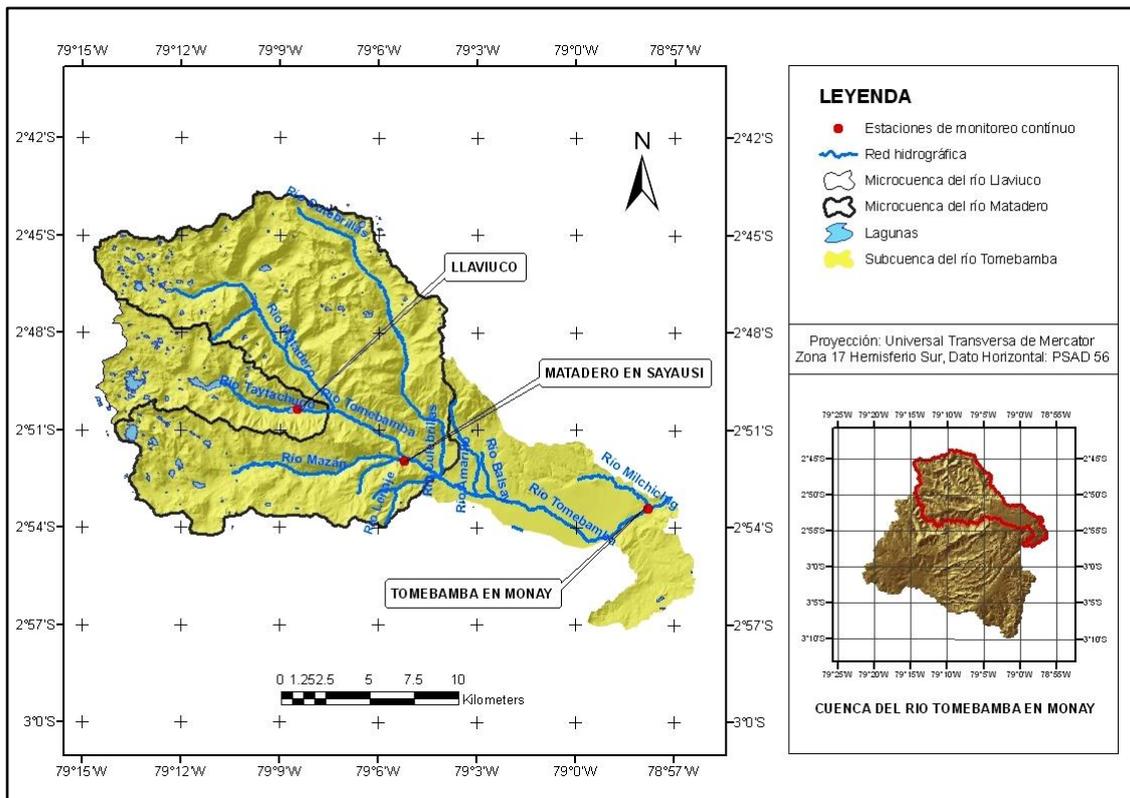
Son estaciones hidrológicas o de aforo que constan de una regleta en un cauce natural y un aparato llamado limnógrafo que mide la variación en el tiempo de la lámina de agua del río. El caudal se obtiene aplicando la función conocida como la curva de gastos que relaciona la altura de la lámina de agua con el caudal que pasa por el río.

Las estaciones son: Laviuco (LL), Matadero en Sayausí (Ma Sa) y Tomebamba en Monay (To Mo). A continuación en la *Tabla 4* se muestran las estaciones con sus

respectivos códigos y coordenadas geográficas. En la *figura3* se puede observar la ubicación de las estaciones.

| CÓDIGO | ESTACIÓN            | COORDENADAS |        |
|--------|---------------------|-------------|--------|
|        |                     | NORTE       | ESTE   |
| LL     | Llaviuco            | 9 686 019   | 706707 |
| MS     | Matadero en Sayausí | 9 683 055   | 712673 |
| TM     | Tomebamba en Monay  | 9 680 352   | 726402 |

**Tabla 4. Descripción de las estaciones de monitoreo continuo.**



**Figura 3. Ubicación de las estaciones de muestreo.**

En las siguientes fotos se puede observar los lugares en donde se realizaron los monitoreos.

**Foto 1. Estación Llaviuco (LL)**



**Foto 2. Estación Matadero en Sayausí (MS)**



**Foto 3. Estación Tomebamba en Monay (TM)**



### 3.3.2 Fuentes puntuales de contaminación

Las fuentes puntuales de contaminación son aquellas que descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías y alcantarillas. Estas son fáciles de identificar, monitorear y tratar. Entre algunos ejemplos tenemos las descargas de una planta de tratamiento de aguas residuales, una fábrica, o un drenaje de la ciudad.

Se seleccionaron 11 fuentes de contaminación puntual en la cuenca del Río Tomebamba. En la *tabla 5* se puede observar los códigos que se refieren al nombre del río al cual llegan los efluentes de aguas industriales y residuales; LL1 es para



Foto 4. Victoria de Portete (TQ1)



Foto 5. Tarqui (TQ2)



Foto 6. La Calera (TQ3)



Foto 7. Tres Marías (TQ4)



Foto 8. San Joaquín (YN1)



Foto 9. Colinas del Paraíso (YN2)



Foto 10. Sayausí (TM1)



Foto 11. Itaipisos (TM2)



Foto 12. Lavadoras- Monay (TM3)



Foto 13. Surucucho (LL1)



Las distancias entre los puntos se determinaron con ayuda del SIG (Tabla 6).

| DISTANCIA ENTRE PUNTOS |                |
|------------------------|----------------|
| Tramo                  | Distancia (km) |
| LL-LL1                 | 1,72           |
| LL1-MS                 | 6,07           |
| MS-TM1                 | 2,31           |
| TM1-TM2                | 3,38           |
| TM2-I2                 | 7,93           |
| TQ1-TQ2                | 3,75           |
| TQ2-TQ3                | 12,55          |
| TQ3-TQ4                | 1,82           |
| TQ4-I1                 | 4,22           |
| YN1-I1                 | 6,1            |
| I1-YN2                 | 1,42           |
| YN2-I2                 | 0,85           |
| I2-TM3                 | 1,44           |
| TM3-TM                 | 1,68           |

Tabla 6. Distancias entre los puntos de estudio.

### 3.4 PARÁMETROS ANALIZADOS EN EL LABORATORIO

Los parámetros seleccionados para el análisis de la calidad de agua son parámetros físicos, químicos y biológicos como se presenta en la *tabla 7*. Estos son analizados por el Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Cuenca.

| TIPO DE ANÁLISIS            | PARÁMETRO                     | MÉTODO           | EQUIPO               | LÍMITE                  |         | UNIDAD                 |      |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------|---------|------------------------|------|
|                             |                               |                  |                      | Mínimo.                 | Máximo. |                        |      |
| Físicos                     | Temperatura                   | Potenciométrico  | Thermo, Orion 3 Saar |                         |         | °C                     |      |
|                             | Turbiedad                     | Turbidimétrico   | Hach 2100AN          | 0,02                    | 10 000  | NTU                    |      |
|                             | Color aparente                | Colorimétrico    | Hach 2100AN          |                         |         | UC                     |      |
|                             | Color real                    | Colorimétrico    | Hach 2100AN          |                         |         | UC                     |      |
|                             | Conductividad                 | Potenciométrico  | YSI modelo 52        | 2,5                     |         | μSiemes/cm             |      |
|                             | Sólidos totales               | Gravimétrico     |                      |                         |         | mg/l                   |      |
|                             | Sólidos suspendidos totales   | Gravimétrico     |                      | 1                       |         | mg/l                   |      |
|                             | Sólidos disueltos totales     | Cálculo          |                      |                         |         | mg/l                   |      |
|                             | Sólidos fijos totales         |                  |                      |                         |         | mg/l                   |      |
|                             | Sólidos volátiles totales     | Cálculo          |                      |                         |         | mg/l                   |      |
|                             | Sólidos suspendidos fijos     | Gravimétrico     |                      | 1                       |         | mg/l                   |      |
|                             | Sólidos Suspendidos Volátiles | Gravimétrico     |                      | 1                       |         | mg/l                   |      |
|                             | Químicos                      | Ph               | Potenciométrico      | Orion, 420 <sup>a</sup> |         |                        |      |
|                             |                               | Oxígeno Disuelto | Potenciométrico      | Thermo, Orion 3 Star    | 0,2     | 14                     | mg/l |
| Alcalinidad total           |                               | Volumétrico      |                      | 1                       |         | mg/l CaCO <sub>3</sub> |      |
| Dureza total                |                               | Compleximétrico  |                      | 1                       |         | mg/l CaCO <sub>3</sub> |      |
| Calcio                      |                               | Compleximétrico  |                      | 1                       |         | mg/l                   |      |
| Magnesio                    |                               | Compleximétrico  |                      | 0,1                     |         | mg/l                   |      |
| Cloruros                    |                               | Volumétrico      |                      | 0,5                     |         | mg/l                   |      |
| Sulfatos                    |                               | Turbidimétrico   |                      | 1                       |         | mg/l                   |      |
| Nitritos (NO <sub>2</sub> ) |                               | Colorimétrico    |                      | 0,1                     |         | ug/l                   |      |
| Nitratos (NO <sub>3</sub> ) |                               | Colorimétrico    |                      | 0,01                    |         | mg/l                   |      |
| Biológicos                  | Coliformes Totales            | Filt. Membrana   |                      | 0,2                     |         | NMP/100ml              |      |
|                             | D.B.O                         | Potenciométrico  | Thermo, Orion 3 Star | 0,1                     |         | mg/l                   |      |
|                             | D.Q.O                         | Colorimétrico    | Thermo, Orion 3 Star | 2                       |         | mg/l                   |      |
|                             | E. Coli                       | Filt. Membrana   |                      | 0,2                     |         | NMP/100ml              |      |

Elaboración: Laboratorio de Sanitaria-Universidad de Cuenca

**Tabla 7. Parámetros analizados en el laboratorio, métodos y equipo.**

## 3.5 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Y PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO

### 3.5.1 Recolección de muestras

Para la toma de las muestras de agua de los diferentes sitios de monitoreo continuo y puntuales es necesaria la presencia de una persona dentro del río para recolectar las muestras directamente en botellas plásticas y frascos (*figura 5*). Se recomienda llevar las botellas y frascos ya identificados para optimizar el tiempo en campo.

La muestra se toma introduciendo el frasco a una cierta profundidad, evitando levantar los sólidos sedimentados y lejos de los bordes, como recomienda la técnica en caso de monitoreos de ríos.

Las muestras deben ser trasladadas al laboratorio para el respectivo análisis de las características físicas, químicas y biológicas.



Figura 5. Equipo utilizado en el muestreo.

### 3.5.2 Determinación de parámetros in situ

Se debe identificar algunos parámetros necesarios para efectuar el proyecto:

- Para la modelación del oxígeno disuelto OD y la demanda bioquímica de oxígeno DBO se debe medir en campo los siguientes parámetros: Temperatura ( $T^{\circ}$ ), Velocidad ( $v$ ), Caudal ( $Q$ ) y recoger muestras de agua para en laboratorio determinar: OD, DBO.
- Para la modelación de coliformes se mide: Velocidad ( $V$ ), Caudal ( $Q$ ), Altura media del río ( $H_m$ ) y se deben coger muestras de agua para medir en laboratorio: Coliformes totales.

La medición de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y el oxígeno disuelto ( $\text{mg/l}$ ) se realizó a través de un pHmetro portátil de marca Thermo Orion 4-Star (*Figura 6*). Para la medición el equipo debe estar calibrado.



Figura 6. pHmetro portátil de marca Thermo Orion 4-Star.

- Los *caudales* se obtuvieron en base al método del flotador, que consiste en medir el tiempo que demora en atravesar un objeto que flota en la superficie a lo largo de una distancia del río. Primero se seleccionó un tramo uniforme que no tenga piedras y que el agua fluya libremente. Se ubica dos puntos, el de salida (A) y el de llegada (B), como se indica en la *figura 7* y se midió la distancia ( $d$ ) entre ellos, procurando que sea mínimo de 10m. Con la ayuda de un cronómetro medimos el tiempo recorrido del objeto desde el punto A hasta el punto B. se repite tres veces el procedimiento para obtener un promedio de las mediciones.

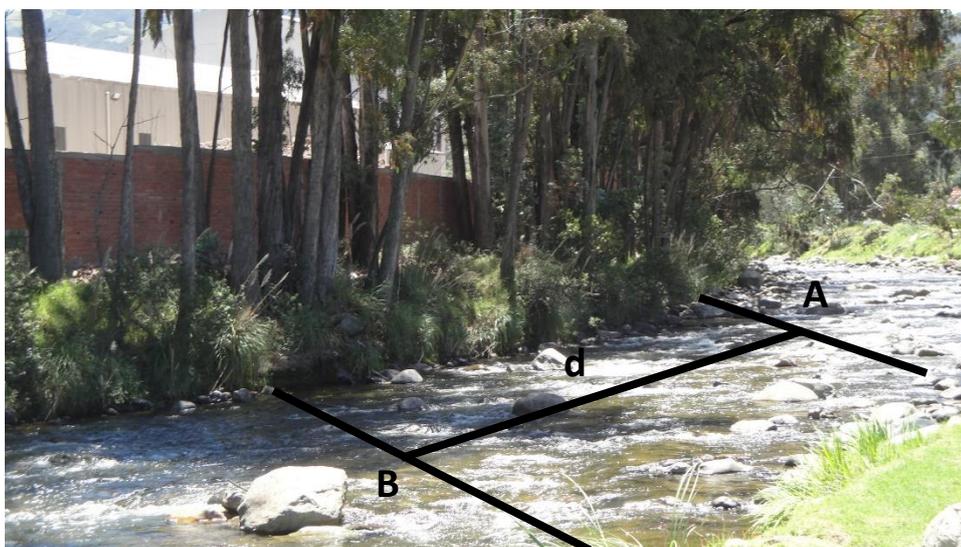


Figura 7. Distancia A-B de un tramo del Río Tomebamba.

- La *profundidad* se procedió a medir con un flexómetro algunas veces y en otras ocasiones ayudado de otros elementos, se procuró llegar a la mitad del ancho del río. Las mediciones se realizaron tres veces a lo largo del tramo comprendido entre A y B, para obtener la profundidad promedio.
- El *ancho* del río se midió con un flexómetro, desde una orilla hasta la otra orilla.



Aplicando las fórmulas matemáticas se obtiene los datos de velocidad, área transversal y caudal.

- Velocidad (m/s)

$$v = x * t \quad (16)$$

Donde:

x= Distancia A-B

t= Tiempo de recorrido del flotador

- Área transversal (m<sup>2</sup>)

$$At = a * Pp \quad (17)$$

Donde:

a= Ancho del río

Pp= Profundidad promedio

- Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$$Q = v * At \quad (18)$$

Donde:

v= Velocidad

At= Área Transversal

Para la investigación se realizaron dos campañas de monitoreo la una en época de lluvia y la otra en época de estiaje. Los muestreos se realizaron en el mes de julio y septiembre del año 2014.

Como se explicó anteriormente se realizó para cada contaminante el transporte y balance así como también se encontró un valor aproximado de la contaminación difusa, esto se realizó en las dos campañas de monitoreo.

## CAPÍTULO 4.

### RESULTADOS

#### 4.1 MONITOREO, RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

Los caudales y velocidades del Río Tomebamba y afluentes, obtenidas en las campañas de campo, se presentan en las tablas 8 y 9, en la que se puede observar que a lo largo del recorrido el caudal llega a 34 m<sup>3</sup>/s aproximadamente con una velocidad de 2.43 m/s en época de lluvia y a 19 m<sup>3</sup>/s en con una velocidad de 1.81 m/s época de sequía o estiaje, debido al aporte de los afluentes naturales y a la infiltración de aguas subterráneas.

En las salidas de campo se obtuvieron los siguientes datos del río.

- Estaciones de monitoreo continuo:

| CUERPO DE AGUA O<br>DESCARGA | CAUDAL<br>(m <sup>3</sup> /s) |           | VELOCIDAD MEDIA<br>(m/s) |           |
|------------------------------|-------------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
|                              | 23-jul-14                     | 25-sep-14 | 23-jul-14                | 25-sep-14 |
|                              | Lluvia                        | Sequía    | Lluvia                   | Sequía    |
| LL LLAVIUCO                  | 3,963                         | 2,661     | 2,113                    | 1,881     |
| MS MATADERO EN SAYAUSI       | 5,867                         | 3,615     | 2,217                    | 2,618     |
| TM TOMBAMBA EN MONAY         | 34,516                        | 19,305    | 2,435                    | 1,807     |

Tabla 8. Datos de los puntos de monitoreo continuo.

- Fuentes puntuales de contaminación:

| CUERPO DE AGUA O<br>DESCARGA | CAUDAL<br>(m <sup>3</sup> /s) |           | VELOCIDAD MEDIA<br>(m/s) |           |
|------------------------------|-------------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
|                              | 23-jul-14                     | 25-sep-14 | 23-jul-14                | 25-sep-14 |
|                              | Lluvia                        | Sequía    | Lluvia                   | Sequía    |
| TQ1 VICTORIA DE PORTETE      | 4,092                         | 2,065     | 1,734                    | 1,434     |
| TQ2 TARQUI                   | 4,358                         | 2,224     | 1,176                    | 1,765     |
| TQ3 LA CALERA                | 8,246                         | 3,039     | 2,466                    | 2,922     |
| TQ4 TRES MARIAS              | 8,495                         | 3,902     | 2,274                    | 1,840     |
| YN1 SAN JOAQUIN              | 13,337                        | 8,231     | 3,632                    | 3,153     |
| LL1 SURUCUCHO                | 4,950                         | 2,895     | 2,134                    | 2,105     |
| TM1 SAYAUSI                  | 6,502                         | 3,852     | 2,222                    | 1,852     |
| TM2 ITALPISOS                | 12,105                        | 6,270     | 2,255                    | 1,911     |
| YN2 PARQUE PARAISO           | 22,286                        | 12,294    | 2,091                    | 1,455     |
| TM3 LAVADORAS                | 34,516                        | 19,305    | 2,435                    | 1,807     |

Tabla 9. Datos de las fuentes de contaminación puntual del río.



La velocidad máxima en época de lluvia corresponde al subtramo San Joaquín con un valor de 3.632 m/seg y la mínima de 1.176m/seg que corresponde al subtramo Tarqui.

En la época de sequía las velocidades son 3.153m/seg y 1.434m/seg máxima y mínima respectivamente correspondientes a los subtramos de San Joaquín y Victoria de Portete.

#### 4.2 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

Los resultados obtenidos en el laboratorio se muestran en las siguientes tablas, en donde se puede observar los valores de coliformes, DBO y OD. En las estaciones de monitoreo continuo los valores son mayores en la época de lluvia, mientras que en la época de estiaje disminuyen.

- Estaciones de monitoreo continuo:

| CUERPO DE AGUA<br>O DESCARGA | COLIFORMES<br>(NMP/100 ML) |           | DBO<br>(mg/l) |           | OD<br>(mg/l) |           |
|------------------------------|----------------------------|-----------|---------------|-----------|--------------|-----------|
|                              | 23-jul-14                  | 25-sep-14 | 23-jul-14     | 25-sep-14 | 23-jul-14    | 25-sep-14 |
|                              | Lluvia                     | Sequía    | Lluvia        | Sequía    | Lluvia       | Sequía    |
| LL LLAVIUCO                  | 17                         | 8         | 1,25          | 0,65      | 8,28         | 7,50      |
| MS MATADERO EN SAYAUSI       | 920                        | 49        | 1,65          | 0,69      | 8,70         | 7,10      |
| TM TOMBAMBA EN MONAY         | 540000                     | 540000    | 3,00          | 1,90      | 8,70         | 6,91      |

**Tabla 10. Parámetros del río Tomebamba medidos en laboratorio de las estaciones de monitoreo continuo.**

En las fuentes de contaminación puntual en la época de lluvia tanto la DBO como el OD tienen valores mayores. Lo contrario sucede en los coliformes ya que en la época de lluvia los valores disminuyen, esto se puede explicar ya que con las lluvias aumentan el nivel de los afluentes y por ende su escorrentía, lo que permite el arrastre de las capas superficiales y todo lo que existe en ellas.

- Fuentes puntuales de contaminación:

| CUERPO DE AGUA<br>O DESCARGA | COLIFORMES<br>(NMP/100 ML) |           | DBO<br>(mg/l) |           | OD<br>(mg/l) |           |
|------------------------------|----------------------------|-----------|---------------|-----------|--------------|-----------|
|                              | 23-jul-14                  | 25-sep-14 | 23-jul-14     | 25-sep-14 | 23-jul-14    | 25-sep-14 |
|                              | Lluvia                     | Sequía    | Lluvia        | Sequía    | Lluvia       | Sequía    |
| TQ1 VICTORIA DE PORTETE      | 21000                      | 49000     | 7,60          | 0,72      | 9,30         | 7,62      |
| TQ2 TARQUI                   | 34000                      | 130000    | 9,40          | 3,07      | 10,40        | 6,75      |
| TQ3 LA CALERA                | 1600000                    | 1100000   | 8,00          | 0,76      | 8,40         | 7,47      |
| TQ4 TRES MARIAS              | 630000                     | 940000    | 5,40          | 0,62      | 8,50         | 7,31      |
| YN1 SAN JOAQUIN              | 430000                     | 1100000   | 3,80          | 0,09      | 8,40         | 6,57      |
| LL1 SURUCUCHO                | 980                        | 70        | 3,20          | 0,90      | 9,30         | 7,30      |
| TM1 SAYAUSI                  | 16000                      | 920       | 2,30          | 2,60      | 7,40         | 7,70      |
| TM2 ITALPISOS                | 16000                      | 11000     | 3,40          | 1,10      | 10,40        | 6,80      |
| YN2 PARQUE PARAISO           | 460000                     | 2200000   | 3,96          | 0,63      | 7,80         | 7,08      |
| TM3 LAVADORAS                | 170000                     | 1100000   | 3,60          | 4,20      | 7,65         | 6,85      |

**Tabla 11. Parámetros del río Tomebamba medidos en el laboratorio de las fuentes de contaminación puntual.**

Para la modelación de los parámetros: Coliformes, DBO Y Oxígeno Disuelto, se dividió a la zona de estudio en tres tramos (Figura 2) como se explicó anteriormente. A continuación se presenta la modelación de cada parámetro.

### 4.3 MODELACIÓN DE COLIFORMES

A continuación se muestra un ejemplo para el cálculo de coliformes.

La modelación de coliformes en el tramo Llaviuco – Intersección2 del muestreo en época de lluvia.

*Datos iniciales para el modelo.*

Los datos que se presentan en la tabla 12 son necesarios para la modelación de coliformes.

| CUERPO DE AGUA<br>O DESCARGA | CAUDAL<br>(m <sup>3</sup> /seg) | VELOCIDAD<br>(m/seg) | COLIFORMES<br>(NMP/100 ML) | DISTANCIA<br>(m) |
|------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------------|------------------|
| LL LLAVIUCO                  | 3,963                           | 2,113                | 17                         | 0                |
| LL1 SURUCUCHO                | 4,950                           | 2,134                | 980                        | 1720             |
| MS MATADERO EN SAYAUSI       | 5,867                           | 2,217                | 920                        | 6070             |
| TM1 SAYAUSI                  | 6,502                           | 2,222                | 16000                      | 2310             |
| TM2 ITALPISOS                | 12,105                          | 2,255                | 16000                      | 3380             |
| I2 INTERSECCION2             | 34,391                          | 2,173                |                            | 7930             |

**Tabla 12. Datos iniciales para la modelación de Coliformes del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 23 de Julio del 2014.**

Para cada subtramo se realizó el balance de masas usando la ecuación (13) y se obtuvieron los siguientes resultados:

|                     |      |
|---------------------|------|
| LLAVIUCO            | 17   |
| SURUCUCHO           | 208  |
| MATADERO EN SAYAUSI | 271  |
| SAYAUSI             | 1779 |
| ITALPISOS           | 8208 |
| INTERSECCION2       | 5420 |

**Tabla 13. Resultados aplicación de modelo balance de masas para coliformes.**

El coeficiente de remoción de coliformes K para ríos de nuestra región se considera el valor de  $K=10$  1/día, de conformidad a los estudios realizados por ETAPA, el mismo que presenta un ajuste del 99.94%.

Para la determinación de la remoción de coliformes se utilizó la ecuación (12) y los resultados se presentan a continuación:

|                     |      |
|---------------------|------|
| LLAVIUCO            | 17   |
| SURUCUCHO           | 15   |
| MATADERO EN SAYAUSI | 150  |
| SAYAUSI             | 240  |
| ITALPISOS           | 1493 |
| INTERSECCION2       | 5420 |

**Tabla 14. Resultados aplicación de modelo remoción de coliformes.**

Los resultados de la modelación de coliformes para este tramo se muestran en la siguiente tabla:

| CUERPO DE AGUA O<br>DESCARGA | DISTANCIA<br>(m) | VELOCIDAD<br>(m/s) | TIEMPO ENTRE<br>TRAMOS<br>(Días) | COLIFORMES<br>(NMP/100 ML) |                  |
|------------------------------|------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------|
|                              |                  |                    |                                  | RÍO-<br>MODELO             | RÍO-<br>AFLUENTE |
| LL LLAVIUCO                  | 0                | 2,113              | 0                                | 17                         | 17               |
| LL1 SURUCUCHO                | 1720             | 2,134              | 0,0094                           | 15                         | 208              |
| MS MATADERO EN SAYAUSI       | 6070             | 2,217              | 0,0323                           | 150                        | 271              |
| TM1 SAYAUSI                  | 2310             | 2,222              | 0,012                            | 240                        | 1779             |
| TM2 ITALPISOS                | 3380             | 2,255              | 0,0175                           | 1493                       | 8208             |
| I2 INTERSECCION2             | 7930             | 2,173              | 0,0415                           | 5420                       | 5420             |

**Tabla 15. Modelación de Coliformes del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 23 de Julio del 2014.**

En el primer tramo de análisis se puede observar que la cantidad de coliformes va aumentando a medida que va avanzando el río en donde se involucran los subtramos con sus respectivas fuentes de contaminación, el momento en el que se unen los dos ríos Yanuncay y Tomebamba la cantidad de coliformes disminuye obteniendo al final una cantidad de 5420 NMP/100ML.

Para los tramos San Joaquín-Intersección1 y Cumbe-Tomebamba Monay se realizan los cálculos de igual forma. (Tabla16)

Los resultados se presentan a continuación:

| CUERPO DE AGUA O<br>DESCARGA | DISTANCIA<br>(m) | VELOCIDAD<br>(m/s) | TIEMPO ENTRE<br>TRAMOS (Días) | COLIFORMES<br>(NMP/100 ML) |                  |
|------------------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------|
|                              |                  |                    |                               | RÍO-<br>MODELO             | RÍO-<br>AFLUENTE |
| YN1 SAN JOAQUIN              | 0                | 3,632              |                               | 430000                     | 430000           |
| I1 INTERSECCION 1            | 6100             | 2,953              | 0,0214                        | 347160                     | 347160           |

**Tabla 16. Modelación de Coliformes del tramo San Joaquín- Interseccion1 del muestreo del 23 de Julio del 2014.**

En este tramo se obtiene una cantidad de coliformes de 347160 NMP/100ML.

Para el tramo V. de Potete-Tomebamba Monay, para las Intersecciones 1 y 2 se utilizan los resultados obtenidos en la modelaciones realizadas anteriormente.

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:



| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA (m) | VELOCIDAD (m/s) | TIEMPO ENTRE TRAMOS (Días) | COLIFORMES (NMP/100 ML) |              |
|---------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|--------------|
|                           |               |                 |                            | RÍO-MODELO              | RÍO-AFLUENTE |
| TQ1 VICTORIA DE PORTETE   | 0             | 1,734           | 0,0000                     | 21000                   | 21000        |
| TQ2 TARQUI                | 3750          | 1,176           | 0,0298                     | 15588                   | 16709        |
| TQ3 LA CALERA             | 12550         | 2,466           | 0,0798                     | 7523                    | 758463       |
| TQ4 TRES MARIAS           | 1820          | 2,274           | 0,0089                     | 693876                  | 693876       |
| I1 INTERSECCION 1         | 4220          | 2,953           | 0,0187                     | 575531                  | 575531       |
| YN2 PARQUE PARAISO        | 1420          | 2,091           | 0,0065                     | 539312                  | 539312       |
| I2 INTERSECCION 2         | 850           | 2,173           | 0,0046                     | 515065                  | 515065       |
| TM3 LAVADORAS             | 1440          | 2,435           | 0,0072                     | 479284                  | 479284       |
| TM TOMBAMBAMBA EN MONAY   | 1680          | 2,435           | 0,0080                     | 442435                  | 442435       |

**Tabla 17. Modelación de Coliformes del tramo V. de Portete -Tomebamba Monay del muestreo del 23 de Julio del 2014.**

En la tabla 17 se observa que la cantidad de coliformes al final del recorrido es de 442435 NMP/100 ML. Este tramo comprende la unión de todos los puntos de monitoreo.

En ciertos puntos del río se puede observar que la cantidad de coliformes disminuyen esto se debe a que ingresa una cantidad baja de contaminante o a que la remoción de coliformes en el subtramo es mayor.

Para la época de sequía o estiaje se realizan los cálculos de la misma forma como se explicó en el ejemplo anterior y los resultados se presentan en las siguientes tablas.

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA (m) | VELOCIDAD (m/s) | TIEMPO ENTRE TRAMOS (Días) | COLIFORMES (NMP/100 ML) |              |
|---------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|--------------|
|                           |               |                 |                            | RÍO-MODELO              | RÍO-AFLUENTE |
| LL LLAVIUCO               | 0             | 1,881           | 0,0000                     | 8                       | 8            |
| LL1 SURUCUCHO             | 1720          | 2,105           | 0,0100                     | 7                       | 12           |
| MS MATADERO EN SAYAUSI    | 6070          | 2,618           | 0,0297                     | 9                       | 17           |
| TM1 SAYAUSI               | 2310          | 1,852           | 0,0120                     | 15                      | 71           |
| TM2 ITALPISOS             | 3380          | 1,911           | 0,0208                     | 57                      | 4278         |
| I2 INTERSECCION2          | 7930          | 1,683           | 0,0511                     | 2566                    | 2566         |

**Tabla 18. Modelación de Coliformes del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.**

En esta época se obtiene una cantidad de coliformes de 2566 NMP/100 ML.



| CUERPO DE AGUA O<br>DESCARGA | DISTANCIA<br>(m) | VELOCIDAD<br>(m/s) | TIEMPO ENTRE<br>TRAMOS (Días) | COLIFORMES<br>(NMP/100 ML) |                  |
|------------------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------|
|                              |                  |                    |                               | RÍO-<br>MODELO             | RÍO-<br>AFLUENTE |
| YN1 SAN JOAQUIN              | 0                | 3,153              |                               | 1100000                    | 1100000          |
| I1 INTERSECCION 1            | 6100,00          | 2,497              | 0,025                         | 856681                     | 856681           |

**Tabla 19. Modelación de Coliformes del tramo San Joaquín- Interseccion1 del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.**

De igual manera, para el tramo V. de Potete-Tomebamba Monay, para las Intersecciones 1 y 2 se utilizan los resultados obtenidos en la modelaciones realizadas anteriormente.

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

| CUERPO DE AGUA O<br>DESCARGA | DISTANCIA<br>(m) | VELOCIDAD<br>(m/s) | TIEMPO ENTRE<br>TRAMOS (Días) | COLIFORMES<br>(NMP/100 ML) |                  |
|------------------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------|
|                              |                  |                    |                               | RÍO-<br>MODELO             | RÍO-<br>AFLUENTE |
| TQ1 VICTORIA DE PORTETE      | 0                | 1,434              | 0,0000                        | 49000                      | 49000            |
| TQ2 TARQUI                   | 3750             | 1,765              | 0,0271                        | 37368                      | 43993            |
| TQ3 LA CALERA                | 12550            | 2,922              | 0,0620                        | 23666                      | 312474           |
| TQ4 TRES MARIAS              | 1820             | 1,840              | 0,0088                        | 286151                     | 430748           |
| I1 INTERSECCION 1            | 4220             | 2,497              | 0,0225                        | 343959                     | 691787           |
| YN2 PARQUE PARAISO           | 1420             | 1,455              | 0,0083                        | 636687                     | 657223           |
| I2 INTERSECCION 2            | 850              | 1,683              | 0,0063                        | 617095                     | 617095           |
| TM3 LAVADORAS                | 1440             | 1,807              | 0,0096                        | 560609                     | 581324           |
| TM TOMBAMBAMBA EN MONAY      | 1680             | 1,807              | 0,0108                        | 521813                     | 521813           |

**Tabla 20. Modelación de Coliformes del tramo V. de Portete -Tomebamba Monay del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.**

En este tramo se observa que la cantidad de coliformes al finalizar el recorrido de estudio es de 521813 NMP/100ML. La cantidad de coliformes es mayor en esta época.

A continuación se presenta una comparación de los coliformes de la época de lluvia con la época de sequía.



Tramo llaviuco-interseccion1

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA (m) | COLIFORMES (NMP/100 ML) |           |
|---------------------------|---------------|-------------------------|-----------|
|                           |               | E. LLUVIA               | E. SEQUIA |
| LL LLAVIUCO               | 0             | 17                      | 7,8       |
| LL1 SURUCUCHO             | 1720          | 208                     | 12        |
| MS MATADERO EN SAYAUSI    | 7790          | 271                     | 17        |
| TM1 SAYAUSI               | 10100         | 1779                    | 71        |
| TM2 ITALPISOS             | 13480         | 8208                    | 4278      |
| I2 INTERSECCION2          | 21410         | 5420                    | 2566      |

Tabla 21. Coliformes en la época de sequía y lluvia del tramo LL-I2.

En la tabla 21 podemos observar que en este tramo la cantidad de coliformes es mayor en la época de lluvia con respecto a la de sequía, esto se puede deber a que en estos lugares hay la presencia de ganadería y las lluvias arrastran los desechos de origen fecal teniendo así una mayor contaminación.

La figura 8 muestra que los coliformes en las dos épocas mantienen una misma tendencia pero con valores menores en la sequía.

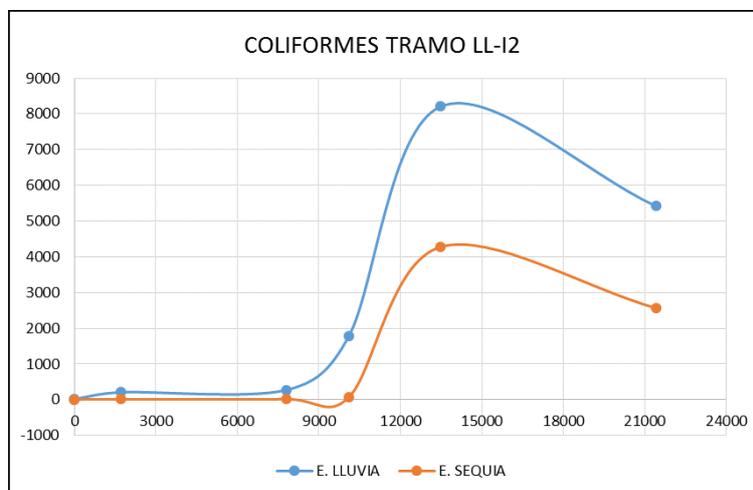


Figura 8. Coliformes del tramo LL-I2 en la época de lluvia y sequía.

En el tramo V. de Portete – Tomebamba Monay se puede observar que existen menor cantidad de coliformes en época de lluvia. Esto se debe a que la cantidad de agua es mayor (caudal) en el río lo que permite diluir el vertido y facilita su posterior degradación al disminuir su toxicidad.



| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA (m) | COLIFORMES (NMP/100 ML) |           |
|---------------------------|---------------|-------------------------|-----------|
|                           |               | E. LLUVIA               | E. SEQUIA |
| TQ1 VICTORIA DE PORTETE   | 0             | 21000                   | 49000     |
| TQ2 TARQUI                | 3750          | 16709                   | 43993     |
| TQ3 LA CALERA             | 16300         | 758463                  | 312474    |
| TQ4 TRES MARIAS           | 18120         | 693876                  | 430748    |
| I1 INTERSECCION 1         | 22340         | 575531                  | 691787    |
| YN2 PARQUE PARAISO        | 23760         | 539312                  | 657223    |
| I2 INTERSECCION 2         | 24610         | 515065                  | 617095    |
| TM3 LAVADORAS             | 26050         | 479284                  | 581324    |
| TM TOMBAMBA EN MONAY      | 27730         | 442435                  | 521813    |

Tabla 22. Coliformes en la época de sequía y lluvia del tramo TQ1-TM.

Al final de la modelación se obtuvo que en época de lluvia la cantidad de coliformes es 442435 NMP/100 ML y en época de sequía 521813 NMP/100 ML.

En la figura 9 se observa que la tendencia de coliformes es similar. En la época de sequía existen valores más altos debido a que en esta época el río tiende a tener una mayor contaminación.

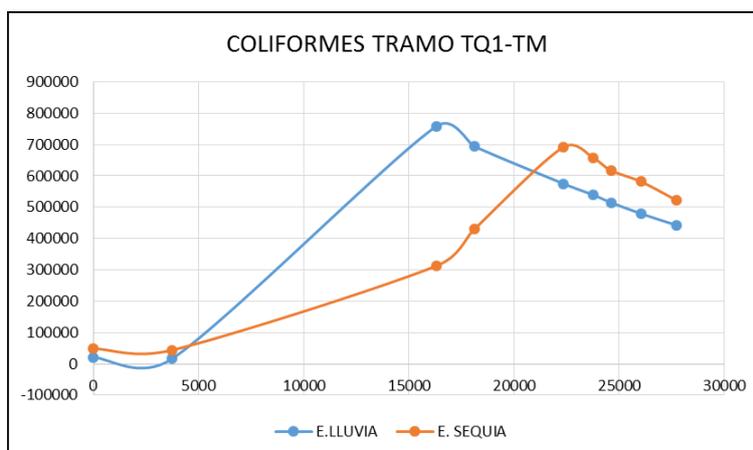


Figura 9. Coliformes del tramo TQ1-TM en la época de lluvia y sequía.

#### 4.4 MODELACIÓN DE LA DBO

Aplicando las fórmulas matemáticas del modelo de Streeter y Phelps, con los datos de los muestreos realizados, llegamos a obtener los modelos de la materia orgánica.

A continuación se muestra un ejemplo para el cálculo de la DBO para el tramo de Llaviuco-Intersección2 en época de lluvia.

Para la realización del modelo son necesarios los siguientes datos de entrada que se muestran en la tabla.



| CUERPO DE AGUA<br>O DESCARGA | CAUDAL<br>(m <sup>3</sup> /seg) | VELOCIDAD<br>(m/seg) | DBO<br>(NMP/100 ML) | DISTANCIA<br>(m) |
|------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------|------------------|
| LL LLAVIUCO                  | 3,963                           | 2,113                | 1,25                | 0                |
| LL1 SURUCUCHO                | 4,95                            | 2,134                | 3,2                 | 1720             |
| MS MATADERO EN SAYAUSI       | 5,867                           | 2,217                | 1,65                | 6070             |
| TM1 SAYAUSI                  | 6,502                           | 2,222                | 2,3                 | 2310             |
| TM2 ITALPISOS                | 12,105                          | 2,255                | 3,4                 | 3380             |
| I2 INTERSECCION2             | 34,391                          | 2,173                |                     | 7930             |

**Tabla 23. Datos iniciales para la modelación de DBO del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 23 de Julio del 2014.**

Para el cálculo de la concentración de Llaviuco utilizamos la ecuación (1) del balance de masas, los caudales y las concentraciones de DBO.

|    |          |       |
|----|----------|-------|
| LL | LLAVIUCO | 1,250 |
|----|----------|-------|

La constante de desoxigenación  $K_d$  se obtuvo con las ecuaciones (3) y (12) y se obtuvo el valor de  $0.28 \text{ día}^{-1}$ .

Para encontrar la DBO que ingresa a Surucucho usamos la ecuación (2) y obtenemos:

|     |           |       |
|-----|-----------|-------|
| LL1 | SURUCUCHO | 1,248 |
|-----|-----------|-------|

Para el cálculo de la concentración de Surucucho utilizamos la ecuación (1) del balance de masas:

|     |           |      |
|-----|-----------|------|
| LL1 | SURUCUCHO | 1,64 |
|-----|-----------|------|

Para encontrar la DBO que ingresa a Matadero en Sayausí usamos la ecuación (2) y obtenemos:

|    |                     |       |
|----|---------------------|-------|
| MS | MATADERO EN SAYAUSI | 1,626 |
|----|---------------------|-------|

De la forma expuesta es como se realiza para el resto de subtramos. En la siguiente tabla se puede observar los resultados obtenidos.



| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA (m) | VELOCIDAD (m/s) | TIEMPO ENTRE TRAMOS (Días) | DBO (mg/lit) |              |
|---------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|--------------|--------------|
|                           |               |                 |                            | RÍO-MODELO   | RÍO-AFLUENTE |
| LL LLAVIUCO               | 0             | 2,113           | 0                          | 1,250        | 1,25         |
| LL1 SURUCUCHO             | 1720          | 2,134           | 0,0094                     | 1,248        | 1,64         |
| MS MATADERO EN SAYAUSI    | 6070          | 2,217           | 0,0323                     | 1,626        | 1,63         |
| TM1 SAYAUSI               | 2310          | 2,222           | 0,012                      | 1,626        | 1,69         |
| TM2 ITALPISOS             | 3380          | 2,255           | 0,0175                     | 1,685        | 2,48         |
| I2 INTERSECCION2          | 7930          | 2,173           | 0,0415                     | 2,457        | 2,46         |

**Tabla 24. Resultados del modelo de la DBO del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 23 de Julio del 2014.**

En este tramo la DBO tiene un valor máximo de 2.48 mg/lit que corresponde al subtramo Italpisos. Este valor sobrepasa el límite máximo permisible establecido por el TULAS.

De la misma forma como se explicó en el ejemplo se realizan los cálculos para los otros tramos. Los resultados se muestran a continuación:

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA (m) | VELOCIDAD (m/s) | TIEMPO ENTRE TRAMOS (Días) | DBO (mg/lit) |              |
|---------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|--------------|--------------|
|                           |               |                 |                            | RÍO-MODELO   | RÍO-AFLUENTE |
| YN1 SAN JOAQUIN           | 0,000         | 3,632           |                            | 3,80         | 3,80         |
| I1 INTERSECCION 1         | 6100,000      | 2,953           | 0,0214                     | 3,783        | 3,78         |

**Tabla 25. Resultados del modelo de la DBO del tramo San Joaquín –Intersección1 del muestreo del 23 de Julio del 2014.**

Para el tramo V. de Portete-Tomebamba en Monay para las Intersecciones 1 y 2 se usan los resultados obtenidos en los tramos anteriores. Los resultados se presentan a continuación:



| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA (m) | VELOCIDAD (m/s) | TIEMPO ENTRE TRAMOS (Días) | DBO (mg/lit) |              |
|---------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|--------------|--------------|
|                           |               |                 |                            | RÍO-MODELO   | RÍO-AFLUENTE |
| TQ1 VICTORIA DE PORTETE   | 0             | 1,734           | 0                          | 4,60         | 4,60         |
| TQ2 TARQUI                | 3750          | 1,176           | 0,0298                     | 4,57         | 4,68         |
| TQ3 LA CALERA             | 12550         | 2,466           | 0,0798                     | 4,60         | 4,79         |
| TQ4 TRES MARIAS           | 1820          | 2,274           | 0,0089                     | 4,78         | 4,80         |
| I1 INTERSECCION 1         | 4220          | 2,953           | 0,0187                     | 4,78         | 4,30         |
| YN2 PARQUE PARAISO        | 1420          | 2,091           | 0,0065                     | 4,30         | 4,31         |
| I2 INTERSECCION 2         | 850           | 2,173           | 0,0046                     | 4,31         | 3,67         |
| TM3 LAVADORAS             | 1440          | 2,435           | 0,0072                     | 3,67         | 3,67         |
| TM TOMBAMBA EN MONAY      | 1680          | 2,435           | 0,008                      | 3,66         | 3,66         |

**Tabla 26. Resultados del modelo de la DBO del tramo V. de Portete - Tomebamba Monay del muestreo del 23 de Julio del 2014.**

En este tramo se puede observar que la DBO tiene un valor máximo de 4.80 mg/lit en el subtramo de Tres María y un valor mínimo de 3.66 mg/lit en el subtramo Tomebamba en Monay. Estos valores según el TULAS exceden al valor máximo permisible establecido que es de 2 mg/lit.

Para la época de sequía se realiza de la misma forma como se explicó en el ejemplo y los resultados se presentan en las siguientes tablas.

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA (m) | VELOCIDAD (m/s) | TIEMPO ENTRE TRAMOS (Días) | DBO (mg/lit) |              |
|---------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|--------------|--------------|
|                           |               |                 |                            | RÍO-MODELO   | RÍO-AFLUENTE |
| LL LLAVIUCO               | 0,000         | 1,881           | 0,000                      | 0,650        | 0,65         |
| LL1 SURUCUCHO             | 1720          | 2,105           | 0,010                      | 0,648        | 0,67         |
| MS MATADERO EN SAYAUSI    | 6070          | 2,618           | 0,030                      | 0,664        | 0,67         |
| TM1 SAYAUSI               | 2310          | 1,852           | 0,0120                     | 0,668        | 0,79         |
| TM2 ITALPISOS             | 3380          | 1,911           | 0,0208                     | 0,783        | 0,91         |
| I2 INTERSECCION2          | 7930          | 1,683           | 0,0511                     | 0,896        | 0,90         |

**Tabla 27. Resultados del modelo de la DBO del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.**

Los valores de DBO en este tramo como se puede observar en la tabla anterior alcanzan un máximo de 0.90 mg/lit. Estos valores se encuentran dentro del máximo permitido.



| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA (m) | VELOCIDAD (m/s) | TIEMPO ENTRE TRAMOS (Días) | DBO (mg/l) |              |
|---------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|------------|--------------|
|                           |               |                 |                            | RÍO-MODELO | RÍO-AFLUENTE |
| YN1 SAN JOAQUIN           | 0,000         | 3,153           |                            | 0,090      | 0,09         |
| I1 INTERSECCION 1         | 6100,000      | 2,497           | 0,025                      | 0,090      | 0,09         |

**Tabla 28. Resultados del modelo de la DBO del tramo San Joaquín –Intersección1 del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.**

Para el tramo V. de Portete-Tomebamba en Monay para las Intersecciones 1 y 2 se usan los resultados obtenidos en los tramos anteriores.

Los resultados se presentan a continuación:

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA (m) | VELOCIDAD (m/s) | TIEMPO ENTRE TRAMOS (Días) | DBO (mg/l) |              |
|---------------------------|---------------|-----------------|----------------------------|------------|--------------|
|                           |               |                 |                            | RÍO-MODELO | RÍO-AFLUENTE |
| TQ1 VICTORIA DE PORTETE   | 0             | 1,434           |                            | 0,720      | 0,720        |
| TQ2 TARQUI                | 3750          | 1,765           | 0,0271                     | 0,716      | 0,884        |
| TQ3 LA CALERA             | 12550         | 2,922           | 0,062                      | 0,873      | 0,873        |
| TQ4 TRES MARIAS           | 1820          | 1,840           | 0,0088                     | 0,871      | 0,871        |
| I1 INTERSECCION 1         | 4220          | 2,497           | 0,0225                     | 0,867      | 0,867        |
| YN2 PARQUE PARAISO        | 1420          | 1,455           | 0,0083                     | 0,866      | 0,866        |
| I2 INTERSECCION 2         | 850           | 1,683           | 0,0063                     | 0,864      | 0,875        |
| TM3 LAVADORAS             | 1440          | 1,807           | 0,0096                     | 0,873      | 1,001        |
| TM TOMBAMBAMBA EN MONAY   | 1680          | 1,807           | 0,0108                     | 0,999      | 0,999        |

**Tabla 29. Resultados del modelo de la DBO del tramo V. de Portete - Tomebamba Monay del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.**

En este tramo la DBO tiene un valor máximo de 1.001 mg/lit y un mínimo de 0.72 mg/lit. Estos valores se encuentran dentro de los límites máximo permisibles establecidos por el TULAS.

En las siguientes tablas se muestra una comparación de la DBO en las dos épocas de análisis: lluvia y sequía.



En el tramo de Llaviuco- Interseccion2

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA (m) | DBO (mg/l) |           |
|---------------------------|---------------|------------|-----------|
|                           |               | E. LLUVIA  | E. SEQUIA |
| LL LLAVIUCO               | 0             | 1,25       | 0,65      |
| LL1 SURUCUCHO             | 1720          | 1,64       | 0,67      |
| MS MATADERO EN SAYAUSI    | 7790          | 1,63       | 0,67      |
| TM1 SAYAUSI               | 10100         | 1,69       | 0,79      |
| TM2 ITALPISOS             | 13480         | 2,48       | 0,91      |
| I2 INTERSECCION2          | 21410         | 2,46       | 0,90      |

Tabla 30. DBO del tramo LL-I2 de la época de lluvia y sequía.

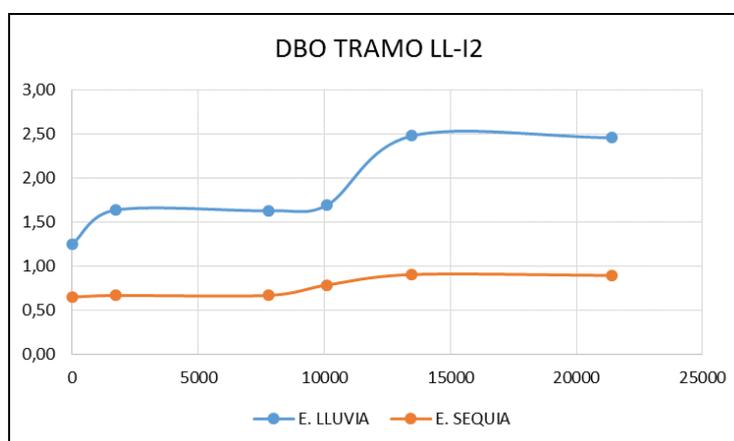


Figura 10. DBO en la época de lluvia y sequía del tramo LL-I2.

Se puede observar que en época de lluvia se obtienen valores mayores de DBO, lo contrario sucede en época de sequía.

Esto se puede deber a que en de lluvia existe mayor cantidad de materia orgánica presente en el agua, es por ello que la DBO es mayor.

Tramo V. de Portete- Tomebamba Monay

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA (m) | DBO (mg/lit) |           |
|---------------------------|---------------|--------------|-----------|
|                           |               | E. LLUVIA    | E. SEQUIA |
| TQ1 VICTORIA DE PORTETE   | 0             | 4,60         | 0,720     |
| TQ2 TARQUI                | 3750          | 4,68         | 0,884     |
| TQ3 LA CALERA             | 16300         | 4,79         | 0,873     |
| TQ4 TRES MARIAS           | 18120         | 4,80         | 0,871     |
| I1 INTERSECCION 1         | 22340         | 4,30         | 0,867     |
| YN2 PARQUE PARAISO        | 23760         | 4,31         | 0,866     |
| I2 INTERSECCION 2         | 24610         | 3,67         | 0,875     |
| TM3 LAVADORAS             | 26050         | 3,67         | 1,001     |
| TM TOMBAMBA EN MONAY      | 27730         | 3,66         | 0,999     |

Tabla 31. DBO en la época de lluvia y sequía del tramo TQ1-TM.

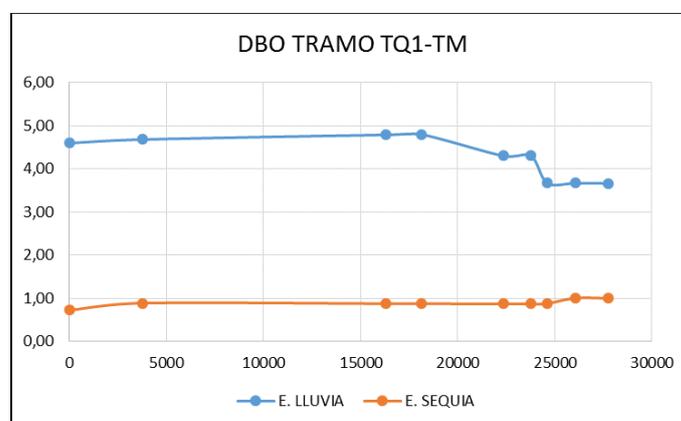


Figura 11. DBO del tramo TQ1-TM en la época de lluvia y sequía.

En época de lluvia la DBO es de 3.66 mg/lit en el subtramo Tomebamba en Monay mientras que en época seca es menor con un valor de 0.99 mg/lit. El valor de DBO en época de estiaje cumple con lo establecido en el TULAS mientras que en época de lluvia esta sobre los límites.

#### 4.5 MODELACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO

A continuación se presenta un ejemplo para el cálculo de la concentración de oxígeno disuelto.

En el tramo Llaviuco-Intersección2

Para la modelación del oxígeno disuelto son necesarios los siguientes datos de entrada que se muestran en la siguiente tabla.



| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | CAUDAL (m3/seg) | Hm (m) | VELOCIDAD (m/seg) | OD (mg/lt) | DBO (mg/lt) | TEMPERATURA (°C) | DISTANCIA (m) |
|---------------------------|-----------------|--------|-------------------|------------|-------------|------------------|---------------|
| LL LLAVIUCO               | 3,963           | 0,98   | 2,113             | 8,28       | 1,250       | 11,2             | 0             |
| LL1 SURUCUCHO MATADERO EN | 4,950           | 0,80   | 2,134             | 9,30       | 3,200       | 11,4             | 1720          |
| MS SAYAUSI                | 5,867           | 0,90   | 2,217             | 8,70       | 1,650       | 11,4             | 6070          |
| TM1 SAYAUSI               | 6,502           | 0,56   | 2,222             | 7,40       | 2,300       | 11,4             | 2310          |
| TM2 ITALPISOS             | 12,105          | 0,73   | 2,255             | 10,40      | 3,400       | 12,0             | 3380          |
| I2 INTERSECCION 2         | 34,391          |        | 2,173             | 9,10       |             | 12,8             | 7930          |

**Tabla 32. Datos utilizados en la modelación del oxígeno disuelto del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 23 de Julio de 2014.**

Con las ecuaciones (9) y (12) se encontró el valor de la constante de aireación  $k_a$  y se obtuvo  $5.68 \text{ dia}^{-1}$ . El valor de  $k_d$  se usó el encontrado anteriormente para la modelación de la DBO que fue  $0.28 \text{ dia}^{-1}$ .

Para encontrar el valor del contaminante río-afluente (OD) realizamos un balance de masas y obtenemos:

|    |          |      |
|----|----------|------|
| LL | LLAVIUCO | 8,28 |
|----|----------|------|

Para calcular la concentración de saturación de oxígeno en Llaviuco se usa la ecuación (7).

|    |          |       |
|----|----------|-------|
| LL | LLAVIUCO | 10,95 |
|----|----------|-------|

Do se obtiene con la ecuación (6):

|    |          |      |
|----|----------|------|
| LL | LLAVIUCO | 2,67 |
|----|----------|------|

Para encontrar el valor de  $D_o'$  usamos la siguiente ecuación:

$$D_o' = D_o * e^{-k_a * x/v} \quad (19)$$

|    |          |      |
|----|----------|------|
| LL | LLAVIUCO | 2,67 |
|----|----------|------|

Para calcular el déficit de oxígeno en el subtramo usamos la ecuación (5).

|    |          |      |
|----|----------|------|
| LL | LLAVIUCO | 2,67 |
|----|----------|------|

Con la ecuación que se muestra a continuación se obtiene la concentración de oxígeno al tiempo  $t$ .

$$C = C_s - D \quad (20)$$

|    |          |      |
|----|----------|------|
| LL | LLAVIUCO | 8,28 |
|----|----------|------|

En el siguiente cuadro se presentan los resultados obtenidos en el tramo:

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | OD (mg/l) | Cs (mg/l) | Do (mg/l) | Do' (mg/l) | D (mg/l) | C (mg/l) |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|
| LL LLAVIUCO               | 8,28      | 10,95     | 2,67      | 2,67       | 2,67     | 8,28     |
| LL1 SURUCUCHO             | 7,75      | 10,90     | 3,15      | 2,98       | 2,99     | 7,91     |
| MS MATADERO EN SAYAUSI    | 7,52      | 10,90     | 3,37      | 2,82       | 2,83     | 8,07     |
| TM1 SAYAUSI               | 6,74      | 10,90     | 4,16      | 3,88       | 3,89     | 7,01     |
| TM2 ITALPISOS             | 7,11      | 10,75     | 3,64      | 3,30       | 3,30     | 7,44     |
| I2 INTERSECCION2          | 5,52      | 10,55     | 5,03      | 3,95       | 3,98     | 6,57     |

**Tabla 33. Resultados del modelo de OD del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 23 de Julio del 2014.**

En el tramo LL-I2 se observa que la cantidad de oxígeno tiene un valor máximo de 8.28 mg/lit en el subtramo de Llaviuco y un valor mínimo de 6.57 mg/lit en la intersección 2. Los valores de los diferentes subtramos no cumplen con lo establecido en el TULAS.

Para los otros tramos se realiza de la misma forma como se explicó en el ejemplo. Los resultados se presentan a continuación:

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | OD (mg/l) | Cs (mg/l) | Do (mg/l) | Do' (mg/l) | D (mg/l) | C (mg/l) |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|
| YN1 SAN JOAQUIN           | 8,40      | 10,72     | 2,32      | 2,32       | 2,32     | 8,40     |
| I1 INTERSECCION 1         | 6,08      | 10,67     | 4,59      | 4,06       | 4,08     | 6,59     |

**Tabla 34. Resultados del modelo de OD del tramo San Joaquín-Intersección1 del muestreo del 23 de Julio del 2014.**

Para el tramo V. de Portete-Tomebamba en Monay para las Intersecciones 1 y 2 se usan los resultados obtenidos en los tramos anteriores.

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | OD (mg/l) | Cs (mg/l) | Do (mg/l) | Do' (mg/l) | D (mg/l) | C (mg/l) |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|
| TQ1 VICTORIA DE PORTETE   | 9,30      | 10,90     | 1,60      | 1,60       | 1,60     | 9,30     |
| TQ2 TARQUI                | 9,80      | 10,90     | 1,10      | 0,92       | 0,98     | 9,92     |
| TQ3 LA CALERA             | 5,71      | 10,70     | 4,99      | 3,17       | 3,30     | 7,39     |
| TQ4 TRES MARIAS           | 8,26      | 10,62     | 2,36      | 2,25       | 2,27     | 8,36     |
| I1 INTERSECCION 1         | 4,09      | 10,67     | 6,58      | 5,92       | 5,96     | 4,71     |
| YN2 PARQUE PARAISO        | 7,64      | 10,36     | 2,71      | 2,61       | 2,63     | 7,73     |
| I2 INTERSECCION 2         | 4,86      | 10,55     | 5,69      | 5,54       | 5,55     | 5,00     |
| TM3 LAVADORAS             | 7,62      | 10,38     | 2,76      | 2,65       | 2,66     | 7,72     |
| TM TOMBAMBA EN MONAY      | 8,70      | 10,33     | 1,63      | 1,56       | 1,58     | 8,76     |

**Tabla 35. Resultados del modelo de OD del tramo V. de Portete-Tombamba Monay del muestreo del 23 de Julio del 2014.**

El OD en este tramo tiene su valor mínimo de 4.71mg/lit en la intersección1 y un valor máximo de 9.92 mg/lit en el subtramo Tarqui. El 67% de los valores en este tramo no cumplen con los límites establecidos por el TULAS.

En la época de sequía se siguió el mismo procedimiento indicado anteriormente y se obtuvieron los siguientes resultados.

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | OD (mg/l) | Cs (mg/l) | Do (mg/l) | Do' (mg/l) | D (mg/l) | C (mg/l) |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|
| LL LLAVIUCO               | 7,50      | 11,55     | 4,05      | 4,05       | 4,05     | 7,50     |
| LL1 SURUCUCHO             | 6,75      | 10,38     | 3,63      | 3,44       | 3,44     | 6,94     |
| MS MATADERO EN SAYAUSI    | 5,92      | 10,43     | 4,51      | 3,87       | 3,87     | 6,55     |
| TM1 SAYAUSI               | 7,25      | 10,23     | 2,98      | 2,74       | 2,75     | 7,49     |
| TM2 ITALPISOS             | 4,91      | 10,12     | 5,22      | 4,64       | 4,65     | 5,48     |
| I2 INTERSECCION2          | 4,18      | 9,84      | 5,66      | 4,15       | 4,17     | 5,67     |

**Tabla 36. Resultados del modelo de OD del tramo Llaviuco-Intersección2 del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.**

En esta época el OD tiene un valor máximo de 7.5 mg/lit y un valor mínimo de 5.48 mg/lit. Al comparar con lo establecido por el TULAS este tramo no cumple con los límites permisibles.

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | OD (mg/l) | Cs (mg/l) | Do (mg/l) | Do' (mg/l) | D (mg/l) | C (mg/l) |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|
| YN1 SAN JOAQUIN           | 6,57      | 9,52      | 2,95      | 2,95       | 2,95     | 6,57     |
| I1 INTERSECCION 1         | 5,25      | 9,56      | 4,31      | 3,67       | 3,67     | 5,89     |

**Tabla 37. Resultados del modelo de OD del tramo San Joaquín-Intersección 1 del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.**

Para el tramo V. de Portete-Tomebamba en Monay para las Intersecciones 1 y 2 se usan los resultados obtenidos en los tramos anteriores. Los resultados se presentan a continuación:

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | OD (mg/l) | Cs (mg/l) | Do (mg/l) | Do' (mg/l) | D (mg/l) | C (mg/l) |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|----------|
| TQ1 VICTORIA DE PORTETE   | 7,62      | 9,86      | 2,24      | 2,24       | 2,24     | 7,62     |
| TQ2 TARQUI                | 6,30      | 9,82      | 3,52      | 3,01       | 3,02     | 6,80     |
| TQ3 LA CALERA             | 5,89      | 9,73      | 3,84      | 2,70       | 2,71     | 7,02     |
| TQ4 TRES MARIAS           | 5,99      | 9,61      | 3,62      | 3,44       | 3,44     | 6,16     |
| I1 INTERSECCION 1         | 3,51      | 9,56      | 6,06      | 5,33       | 5,33     | 4,23     |
| YN2 PARQUE PARAISO        | 6,99      | 9,56      | 2,58      | 2,46       | 2,46     | 7,11     |
| I2 INTERSECCION 2         | 4,24      | 9,61      | 5,37      | 5,18       | 5,18     | 4,43     |
| TM3 LAVADORAS             | 6,60      | 9,61      | 3,01      | 2,85       | 2,85     | 6,75     |
| TM TOMEBAMBA EN MONAY     | 6,91      | 9,58      | 2,67      | 2,52       | 2,52     | 7,07     |

**Tabla 38. Resultados del modelo de OD del tramo V. de Portete-Tomebamba Monay del muestreo del 25 de Septiembre del 2014.**

A continuación se presenta una comparación del OD en las épocas de sequía y lluvia.

En el tramo Llaviuco-Intersección 2

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA | OD (mg/l) |           |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                           |           | E.LLUVIA  | E. SEQUIA |
| LL LLAVIUCO               | 0,00      | 8,28      | 7,50      |
| LL1 SURUCUCHO             | 1720      | 7,91      | 6,94      |
| MS MATADERO EN SAYAUSI    | 7790      | 8,07      | 6,55      |
| TM1 SAYAUSI               | 10100     | 7,01      | 7,49      |
| TM2 ITALPISOS             | 13480     | 7,44      | 5,48      |
| I2 INTERSECCION2          | 21410     | 6,57      | 5,67      |

**Tabla 39. OD en el tramo LL-I2 en la época de lluvia y sequía.**

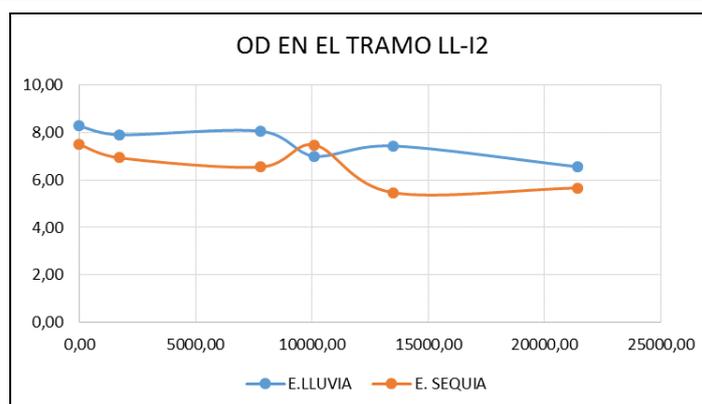


Figura 12. OD en la época de lluvia y sequía en el tramo LL-I2.

El OD en época de lluvia tiene un valor promedio de 7.55mg/Lt y en época de sequía de 6.6 mg/Lt.

En el tramo V. de Portete-Tomebamba Monay

| CUERPO DE AGUA O DESCARGA | DISTANCIA | OD (mg/Lt) |           |
|---------------------------|-----------|------------|-----------|
|                           |           | E.LLUVIA   | E. SEQUIA |
| TQ1 VICTORIA DE PORTETE   | 0         | 9,30       | 7,62      |
| TQ2 TARQUI                | 3750      | 9,92       | 6,80      |
| TQ3 LA CALERA             | 16300     | 7,39       | 7,02      |
| TQ4 TRES MARIAS           | 18120     | 8,36       | 6,16      |
| I1 INTERSECCION 1         | 22340     | 4,71       | 4,23      |
| YN2 PARQUE PARAISO        | 23760     | 7,73       | 7,11      |
| I2 INTERSECCION 2         | 24610     | 5,00       | 4,43      |
| TM3 LAVADORAS             | 26050     | 7,72       | 6,75      |
| TM TOMBAMBA EN MONAY      | 27730     | 8,76       | 7,07      |

Tabla 40. OD en el tramo TQ1-TM en la época de lluvia y sequía.

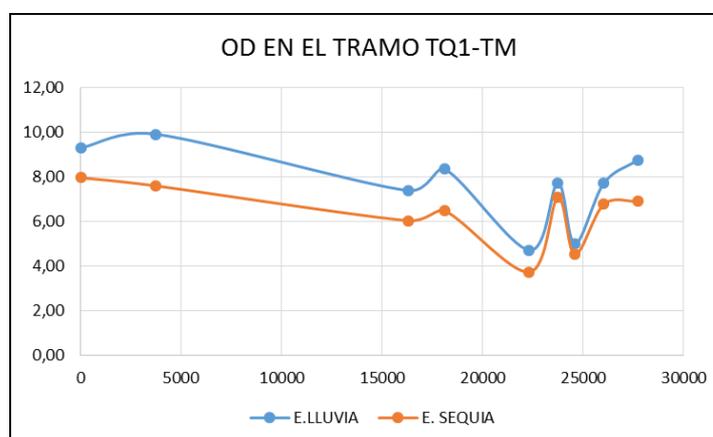


Figura 13. OD en la época de lluvia y sequía en el tramo TQ1-TM.

En este tramo en época de lluvia el OD tiene un valor promedio de 7.65 mg/lit y en época de estiaje de 6.35 mg/lit.

#### 4.6 CONTAMINACIÓN DIFUSA

Para la determinación de la contaminación difusa en los sitios de monitoreo continuo se utilizó la ecuación (15). En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos.

##### *Parámetro Coliformes*

| SITIOS DE MONITOREO CONTINUO |                     | E. LLUVIA | E. SEQUIA |
|------------------------------|---------------------|-----------|-----------|
| LL                           | LLAVIUCO            | 17        | 8         |
| MS                           | MATADERO EN SAYAUSI | 649       | 32        |
| TM                           | TOMBAMBA EN MONAY   | 97565     | 18187     |

**Tabla 41. Contaminación difusa de coliformes.**

Como se puede observar en el cuadro anterior la contaminación difusa en época de lluvia es mayor que en época seca. Esto obedece probablemente a que la contaminación difusa es causada por la lluvia.

En la estación de Matadero en Sayausí la contaminación difusa en época de lluvia es de 649 NMP/100 ml mientras que en época de estiaje es de 32 NMP/100 ml. En la estación de Tomebamba en Monay la contaminación difusa es de 97565 NMP/100 ml en época de lluvia y en época de sequía es de 18187 NMP/100 ml.

##### *Parámetro DBO*

| SITIOS DE MONITOREO CONTINUO |                     | E. LLUVIA | E. SEQUIA |
|------------------------------|---------------------|-----------|-----------|
| LL                           | LLAVIUCO            | 1,25      | 1,1       |
| MS                           | MATADERO EN SAYAUSI | 0,02      | 0,021     |
| TM                           | TOMBAMBA EN MONAY   | 0,24      | 0,90      |

**Tabla 42. Contaminación difusa de DBO.**

En la estación de Matadero en Sayausí la contaminación difusa en época de lluvia y de sequía son similares 0.02 mg/lit y 0.021mg/lit respectivamente. En la estación de Tomebamba en Monay la contaminación difusa es de 0.24 mg/lit en época de lluvia y en época de estiaje es de 0.9 mg/lit.

*Parámetro OD*

| SITIOS DE MONITOREO CONTINUO |                     | E. LLUVIA | E. SEQUIA |
|------------------------------|---------------------|-----------|-----------|
| LL                           | LLAVIUCO            | 8,280     | 7,500     |
| MS                           | MATADERO EN SAYAUSI | 0,634     | 0,548     |
| TM                           | TOMBAMBA EN MONAY   | 0,000     | 0,000     |

**Tabla 43. Contaminación difusa de OD.**

La contaminación difusa en la estación de Matadero en Sayausí es de 0.634 mg/lit en época de lluvia mientras que en la época de estiaje es de 0.548 mg/lit. En la estación de Tomebamba en Monay la contaminación difusa tanto en la época de lluvia como en la de sequía es de cero lo que significa que no existe otro tipo de contaminación más que la puntual.

La contaminación difusa de los parámetros de calidad: coliformes, DBO y OD de la estación Llaviuco se han tomado los valores de contaminación total para cada uno de estos parámetros en dicha estación; por ser los puntos de inicio de análisis.



---

## CAPÍTULO 5.

### CONCLUSIONES, OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

Los valores estimados de contaminación difusa se encontraron para los tres parámetros analizados en esta investigación, esto indica que si existe contaminación difusa en la cuenca del río Tomebamba antes y después de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

Para controlar la calidad de agua es importante solucionar los problemas de contaminación difusa. La identificación de las fuentes difusas de contaminación, tomar acciones para mitigar su impacto negativo en el río y tomar medidas de protección y ordenamiento en los usos de suelo, son aspectos muy importantes para resolver dicho problema.

Para lograr una buena calidad del agua en el río se requiere incluir el tema de la contaminación difusa con el fin de implementar el manejo del agua, la tierra y los recursos relacionados de un modo integral y con un enfoque de cuenca.

La aplicación del modelo de calidad de agua de Streeter y Phelps, ha permitido realizar el transporte de contaminantes desde los sitios de contaminación puntual a los de monitoreo continuo, con una gran aproximación.

El modelo permite generar ecuaciones de acuerdo a la morfología del cauce y concentraciones de los parámetros analizados, con este procedimiento se ha realizado un estudio de calidad de agua del río Tomebamba, ya que se ha realizado la modelación por tramos considerando las principales descargas que se vierten en el cauce.

Se realizó el balance de contaminantes en sitios de monitoreo continuo, este depende de la cantidad de contaminante que existe en dichos puntos.

La cantidad de coliformes es mayor en época de sequía, sin embargo en las dos épocas analizadas este parámetro tiene un valor alto. El nivel de coliformes en el río son indicadores de contaminación para ello es necesario proceder a la implementación de las medidas necesarias para proteger el recurso hídrico. Este parámetro no cumple con los límites máximos establecidos en la norma (TULAS).

La contaminación causada por coliformes se puede deber a presencia de descargas de aguas residuales así como también por el escurrimiento y arrastre por descargas de la materia desde el suelo originado por las lluvias.



El OD en época de lluvia es mayor al OD en época de sequía. Un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad.

Al no existir descargas en un tramo extenso de la corriente del río, éste tiene la facilidad de oxigenarse y recuperar la cantidad de oxígeno disuelto, pero si al contrario hay más descargas el oxígeno disuelto no se recuperará.

## 5.2 OBSERVACIONES

Es de gran importancia reconocer que cualquier tipo de modelo tiene siempre un grado de incertidumbre y sus resultados serán únicamente aproximados a la realidad. Los valores resultantes serán solo valores estimados, aunque los datos disponibles para establecer un modelo sean de buena calidad. Sin embargo esto no disminuye la utilidad que tiene el modelo como herramienta para prevenir y tomar decisiones.

Los análisis de los parámetros de esta investigación son de dos fechas de campañas de monitoreo que se realizaron en los meses de Julio y Septiembre del 2014, tomándose como época de lluvia los datos obtenidos en el mes de Julio y época de sequía y estiaje los datos obtenidos en el mes de Septiembre.

## 5.3 RECOMENDACIONES

A los organismos encargados de control de la calidad de agua en el río, tomar en consideración la contaminación difusa y su control de manera que los usos del río no se vean afectados.

Es importante un buen manejo de la cuenca en el ámbito de la ganadería y agricultura para evitar que haya mayor contaminación.

Con el tipo de modelación presentada en esta investigación puede estudiarse otros parámetros de calidad de agua.

Mantener el estado actual de las orillas del río es muy importante, ya que este también contribuye a la calidad del agua.



---

## BIBLIOGRAFÍA

- ACOTECNIC. Formulación del Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Machángara. Evaluación de Contaminantes y Calidad de Agua Superficial.
- Aguilar Ibarra, Alonso. 2010. Calidad de Agua. Un enfoque multidisciplinario. México.
- Aguirre Andrade, Fernando. 2011. Validación de los indicadores biológicos (Macroinvertebrados) para el monitoreo de la cuenca del Río Yanuncay. Cuenca.
- Ambiente, M.d. 2002. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS).
- ANLA. 2013. Auditorio Nacional de Licencias Ambientales. Metodología para la definición de la Longitud de Influencia de Vertimiento sobre corrientes de Agua Superficial. Bogotá.
- Arreguín-Cortés, F., Gómez-Balandra, A., e Izurieta- Dávila, J. 2000. Contaminación Difusa. 2000.
- Aquilla Cisneros, Ruth Cecilia. 2005. Uso del suelo y calidad de agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la subcuenca del río Jabonal. Costa Rica.
- Barrenechea Martel, Ada. Aspectos Físicoquímicos de la Calidad del Agua.
- Bartram y Ballance. 1996. Water Quality Monitoring: A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes . London.
- Bravo, Luis, y otros. La importancia de la contaminación difusa en México y en el mundo.
- Campbell et al. 2004. Diffuse Pollution: An Introduction to the Problems and Solutions. IWA Publishing. Cornwall, United Kingdom.
- Carrasco M.C. 2006. Determinación de categorías de calidad ambiental en los ríos de Cuenca, con el uso de bioindicadores.Consultoria contratada por la Empresa Pública de Telecomunicaciones, Agua Potable y Saneamiento del Cantón Cuenca (ETAPA). Cuenca.



---

Carrasco, Cecilia, Pineda, Raúl y Pérez, Ricardo. Habitat Quality of the Tomebamba and Yanuncay Rivers in Ecuador.

Carrera González, Gabriela. 2011. Modelación de oxígeno disuelto y materia orgánica y su influencia en la distribución y diversidad de indicadores bentónicos de la Cuenca del Río San Pedro en el tramo Amaguaña- Guangopolo. Ecuador.

Catalán L. et al. 1971.

Chapman, D. 1992. Water Quality Assessment. 2nd Edn, World Health Organization, New York, U.S.A.

Chapra, S.C. y Pelletier, G.J. 2003. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA.

Churchill, M.A, Elmore, H.L. and Buckingham, R.A. 1962. The prediction of stream reaeration rates Journal of Sanitary Eng. Division ASCE 88 (SA4).

CICEANA. Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, A.C. Contaminación del Agua.

Cocha Pallo, Jenny. 2009. Estado actual de la calidad físico- química, bacteriología y biológica del agua de la subcuenca del río Yanuncay en dos estaciones climáticas (invierno y verano) del cantón Cuenca Provincia del Azuay - Ecuador. Cuenca.

Díaz Merchán, Beatriz. 2004. Modelación de la Calidad del Agua en el Interceptor Río Bogotá en los tramos Fucha-Tunjuelo-Canoas. Bogotá.

DIGESA. 2007. Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los recursos Hídricos Superficiales. Dirección de Ecología y Protección del Ambiente Área de Protección de los Recursos Hídricos. Lima.

Espinoza, J.C.,. 2005. Modelo de simulación para la calidad de agua en un río. Edición 1ª. 2005.

ETAPA. 2007a. Caracterización de la Cuenca del río Tomebamba. Cuenca : Ecuador, 2007a.



---

ETAPA Y GGO. 2002. Plan de Manejo Integral del Parque Nacional Cajas. Grupo consultor CEMAPRIMES. s.l.: Ecuador.

Freire Morán, Ninoschtka. Demanda Bioquímica de Oxígeno. Calidad de Agua.

González M., Sergio. 2007. Contaminación difusa de las aguas.

Izurieta-Dávila, J., Mijangos-Carros, M.A., Rivera, P., Torres V., Chavarría, J. 2007. Diagnóstico de la contaminación por fuentes no puntuales en México, IMTA.

Jerves C., Rubén. 2003. Planes Maestros de Alcantarillado de Gualaceo.

Laureano, J.S. 2002. Evaluación de la calidad de agua del río San Juan en el estado de Nuevo León. México.

Leo Rodríguez B., Oliva Atiaga F.,. Análisis de Contaminación y Modelamiento de O.D. y Materia Orgánica, Río Puyo.

Loucks, D.P. et al. 1982. Water resource systems planning and analysis. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

MACUA. 2001. Establecimiento de un Plan de Manejo de Cuencas en Ríos Andinos. [En línea] 9 de Febrero de 2001. [Citado el: 7 de Mayo de 2011.]

Miguel Martín Monerri, Paula Marzal Doménech,. 1999. Modelación de la calidad de agua. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Novotny, V. 2003. Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management. John Wiley Y Sons. New Jersey.

Owens, M., R. W. Edwards, and J. W. Gibbs. 1964. Some reaeration studies in streams. International Journal of Air and Water Pollution.

Ramirez, C.A. 2011. Calidad de Agua - Evaluación y diagnóstico. Medellín, Colombia.

Schnoor, J.L. 1996. Environmental Modeling - Fate and Transport of Pollutants in Water, Air and Soil, John Wiley and Sons, New York.

SENAGUA. 2011. Calidad de Agua en el Ecuador.

Streeter, H.W. & Phelps, E.B. 1925. A study of the pollution and natural purification of the Ohio river. Vol III, Public Health Bulletin, N° 146, U.S. Public Health Service.



---

Torres Vega, Francisco J. 2009. Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico. Puerto Rico.

TULAS. Normas de calidad ambiental y de descargas de efluentes: Recurso agua.

Vera Hernández, Luis. Análisis de aforo de la Estación Hidrométrica Obrajillo periodo 2000-2001.

Zúñiga Torres, Berenice. 2012. Modelos de simulación de calidad del agua del río Yacuambi, en el tramo comprendido desde la formación del Río Tutupali hasta la intersección del Río Yacuambi con el Río Zamora, en la provincia de Zamora Chichipe. Ecuador.