



# **UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al servicio del Pueblo*

## **UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

### **CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

#### **DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE CONSTANTES CINÉTICAS FÍSICAS Y BIOLÓGICAS PARA LA MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA AMBIENTAL**

**Autor: SONIA ELICENDA SAMANIEGO FAJARDO**

**Director: Ing. DIEGO AQUILES HERAS BENAVIDES**

**2017**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Sonia Elicenda Samaniego Fajardo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada en ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

---

**Sonia Elicenda Samaniego Fajardo**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Sonia Elicenda Samaniego Fajardo, bajo mi supervisión.

---

Ing. Diego Aquiles Heras Benavides

**DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por brindarme su apoyo, cariño y confianza durante este largo camino recorrido, especialmente a mi madre y hermanos Edwin, Sergio y Jhonny ya que sin ellos habría sido imposible cumplir este sueño anhelado.

A mi director de tesis Ing. Diego Heras y Codirector Ing. Carlos Matovelle, por brindarme su experiencia, conocimiento y dedicación para poder culminar con éxito este trabajo de investigación.

A la Universidad Católica de Cuenca por haberme formado como profesional, inculcándome las mejores bases de información.

A mis amigos, compañeros y demás personas que contribuyeron a mi formación profesional.

## **DEDICATORIA**

A mis padres por sus sabios consejos, sacrificio y dedicación para hacer de mí una mujer con valores y principios.

A mis hermanos Elsa, Jhonny, María, Edwin, Sergio y Susana, por su confianza y constante apoyo en los momentos más críticos durante esta etapa de vida; sin su apoyo habría sido muy difícil cumplir esta meta.

A toda mi familia y amigos que estuvieron siempre junto a mí apoyándome.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DECLARACIÓN</b>	<b><i>i</i></b>
<b>CERTIFICACIÓN</b>	<b><i>ii</i></b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b><i>iii</i></b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b><i>iv</i></b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	<b><i>v</i></b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b><i>viii</i></b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b><i>x</i></b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b>	<b><i>xi</i></b>
<b>RESUMEN</b>	<b><i>xii</i></b>
<b>ABSTRACT</b>	<b><i>xiii</i></b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b><i>1</i></b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b><i>1</i></b>
<b>1.1. Objetivos</b>	<b><i>2</i></b>
1.1.1. General.	<i>2</i>
1.1.2. Específicos.	<i>2</i>
<b>1.2. Antecedentes</b>	<b><i>2</i></b>
<b>1.3. Metodología</b>	<b><i>3</i></b>
<b>1.4. Justificación</b>	<b><i>6</i></b>
<b>CAPÍTULO II</b>	<b><i>7</i></b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	<b><i>7</i></b>
<b>2.1. Sistemas fluviales andinos</b>	<b><i>7</i></b>
2.1.1. Características hidrológicas.	<i>7</i>
2.1.2. Características Hidráulicas.	<i>8</i>
2.1.3. Características Geomorfológicas.	<i>8</i>
<b>2.2. Análisis de la calidad del agua</b>	<b><i>8</i></b>
2.2.1. Características físicas del agua.	<i>8</i>
2.2.2. Características Químicas del agua.	<i>11</i>

2.2.3.	Características biológicas.	13
2.2.4.	Materia inorgánica.	13
<b>2.3.</b>	<b>Contaminación de cuerpos hídricos</b>	<b>14</b>
<b>2.4.</b>	<b>Modelos de calidad de agua como herramienta de gestión</b>	<b>15</b>
<b>2.5.</b>	<b>Comportamiento de las sustancias contaminantes en el medio acuático</b>	<b>15</b>
2.5.1.	Reacciones.	15
2.5.2.	Cinética de las reacciones.	16
2.5.3.	Efecto de la temperatura.	19
<b>2.6.</b>	<b>Descripción de constantes cinéticas en la modelación</b>	<b>20</b>
2.6.1.	Materia Orgánica y Oxígeno disuelto.	20
2.6.2.	Nitrificación.	22
2.6.3.	Sedimentación.	23
2.6.4.	Reaireación.	24
<b>2.7.</b>	<b>Características de la microcuenca del río Tabacay</b>	<b>25</b>
2.7.1.	Uso del agua de la microcuenca del río Tabacay.	26
2.7.2.	Población y contaminación del agua del rio Tabacay.	27
<b>CAPITULO III</b>		<b>29</b>
<b>3.</b>	<b>DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>29</b>
<b>3.1.</b>	<b>Materiales y métodos</b>	<b>29</b>
<b>3.2.</b>	<b>Trabajo de campo</b>	<b>29</b>
3.2.1.	Ubicación de estaciones de calidad.	29
3.2.2.	Determinación de parámetros insitu.	30
3.2.3.	Método para medición de caudales.	31
3.2.4.	Toma de muestras de agua.	32
<b>3.3.</b>	<b>Determinación de constantes cinéticas</b>	<b>33</b>
3.3.1.	Degradación de materia orgánica.	33
3.3.2.	Nitrificación.	36
3.3.3.	Velocidad de sedimentación.	38
3.3.4.	Reaireación.	40
<b>CAPITULO IV</b>		<b>42</b>
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	<b>42</b>
<b>4.1.</b>	<b>Análisis de calidad del agua de la zona en estudio</b>	<b>42</b>

4.1.1.	Materia orgánica y Oxígeno disuelto.	42
4.1.2.	Nitrógeno.	45
4.1.3.	Sólidos suspendidos.	46
<b>4.2.</b>	<b>Resultados</b>	<b>48</b>
4.2.1.	Caudal.	48
4.2.2.	Degradación de materia orgánica ( $k_1$ ).	50
4.2.3.	Reaireación ( $k_2$ ).	51
4.2.4.	Nitrógeno ( $k_{nit}$ ).	54
4.2.5.	Velocidad de sedimentación ( $k_s$ ).	55
<b>4.3.</b>	<b>Determinación de rangos de constantes</b>	<b>56</b>
<b>4.4.</b>	<b>Aplicación de las constantes cinéticas en el modelo matemático Wasp</b>	<b>56</b>
4.4.1.	Descripción del modelo.	56
4.4.2.	Datos generales de la simulación.	56
4.4.3.	Segmentación.	57
4.4.4.	Constantes utilizadas en el modelo.	57
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>65</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>68</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>73</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Medición de la DBO <sub>5</sub> en el laboratorio	12
<b>Figura 2:</b> k en reacciones de orden cero	17
<b>Figura 3:</b> k en reacciones de primer orden	18
<b>Figura 4:</b> k en reacciones de segundo orden	19
<b>Figura 5:</b> Estimación de la DBO ejercida en un tiempo t	21
<b>Figura 6:</b> DBO remanente en un tiempo t	22
<b>Figura 7:</b> Curva de demanda bioquímica de oxígeno	23
<b>Figura 8:</b> La provincia del Cañar en el Ecuador	25
<b>Figura 9:</b> La microcuenca del río Tabacay en el Cañar	25
<b>Figura 10:</b> Localización de la red de calidad en las quebradas Condoryacu y Llaucay	30
<b>Figura 11:</b> Toma de muestras para el análisis del parámetro DBO <sub>5</sub> en la quebrada Condoryacu, estación 01.	33
<b>Figura 12:</b> Evolución de la DBOC en función del tiempo	34
<b>Figura 13:</b> Evolución de la materia orgánica (L) en función del tiempo	35
<b>Figura 14:</b> Constante de degradación de materia orgánica por día.	35
<b>Figura 15:</b> Curva de demanda bioquímica de oxígeno en el proceso de degradación de materia orgánica carbonácea y nitrogenada.	36
<b>Figura 16:</b> Consumo de oxígeno en la degradación de compuestos nitrogenados.	37
<b>Figura 17:</b> Concentración de amonio en el tiempo	37
<b>Figura 18:</b> Muestra de agua añadida a la probeta	38
<b>Figura 19:</b> Altura de la suspensión con respecto al tiempo	39
<b>Figura 20:</b> Determinación de la constante de reaireación por el método Covar para ríos.	40
<b>Figura 21:</b> Fórmulas a emplear para la determinación de la constante de reaireación, siguiendo el método Covar.	41
<b>Figura 22:</b> Concentración temporal de OD en la quebrada Llaucay	43
<b>Figura 23:</b> Concentración temporal de OD en la quebrada Condoryacu	43
<b>Figura 24:</b> Concentración temporal de DBO <sub>5</sub> en la quebrada Llaucay	44
<b>Figura 25:</b> Concentración temporal de DBO <sub>5</sub> en la red de calidad de la quebrada Llaucay.	44
<b>Figura 26:</b> Concentración de nitratos en la quebrada Llaucay	45
<b>Figura 27:</b> Concentración de nitratos en la quebrada Condoryacu	46
<b>Figura 28:</b> Concentración de sólidos suspendidos en la quebrada Llaucay	47
<b>Figura 29:</b> Concentración de sólidos suspendidos en la quebrada Llaucay	47
<b>Figura 30:</b> Caudales medidos en la red de calidad de la quebrada Llaucay	49
<b>Figura 31:</b> Caudales medidos en la red de calidad de la quebrada Condoryacu	49
<b>Figura 32:</b> Valores para la constante de degradación de materia orgánica en la quebrada Llaucay	50
<b>Figura 33:</b> Valores para la constante de degradación de materia orgánica en la quebrada Condoryacu	51

<b>Figura 34:</b> Constantes de reaireación para la quebrada Llaucay_____	52
<b>Figura 35:</b> Constantes de reaireación para la quebrada Condoryacu_____	53
<b>Figura 36:</b> Reaireación en las quebradas de la microcuenca del Tabacay _____	53
<b>Figura 37:</b> Constantes de nitrificación para la quebrada Llaucay_____	54
<b>Figura 38:</b> Constantes de nitrificación para la quebrada Condoryacu_____	54
<b>Figura 39:</b> Comparación de las constantes de sedimentación de la quebrada Llaucay y Condoryacu55	
<b>Figura 40:</b> Esquema de segmentación de la quebrada Llaucay_____	57
<b>Figura 41:</b> Simulación anterior con la constantes de materia orgánica en WASP. _____	58
<b>Figura 42:</b> Valor mínimo de degradación de materia orgánica en WASP. _____	58
<b>Figura 43:</b> Valor máximo de degradación de materia orgánica en WASP. _____	59
<b>Figura 44:</b> Comparación de la DBOC con diferentes constantes_____	60
<b>Figura 45:</b> Simulación anterior con la constantes de nitrificación en WASP. _____	61
<b>Figura 46:</b> Aplicación de la constante mínima de nitrificación en WASP _____	61
<b>Figura 47:</b> Aplicación de la constante máxima de nitrificación en WASP _____	62
<b>Figura 48:</b> Comparación de la concentración de amonio con diferentes constantes. _____	63

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Estructura metodológica de la propuesta y sus actividades _____	4
<b>Tabla 2:</b> Variación de la concentración de oxígeno con la temperatura (Canadá State Water Resources, 2000)._____	20
<b>Tabla 3:</b> Usos y caudales de agua en la microcuenca del río Tabacay_____	26
<b>Tabla 4:</b> Información geográfica de las estaciones de monitoreo de calidad_____	30
<b>Tabla 5:</b> Valores de DBOC medidos en el laboratorio _____	33
<b>Tabla 6:</b> Velocidad de degradación de la materia orgánica_____	35
<b>Tabla 7:</b> Demanda bioquímica de oxígeno carbonosa y nitrosa _____	36
<b>Tabla 8:</b> Velocidad de sedimentación en cada uno de los puntos _____	39
<b>Tabla 9:</b> Caudales obtenidos en las estaciones de calidad de las quebradas Llaucay y Condoryacu _____	48
<b>Tabla 10:</b> Valores temporales para la constante de degradación de materia orgánica _____	50
<b>Tabla 11:</b> Velocidad de reaireación en las quebradas Llaucay y Condoryacu_____	51
<b>Tabla 12:</b> Valores de velocidad de sedimentación y calados para la quebrada Llaucay y Condoryacu _____	55
<b>Tabla 13:</b> Constante de sedimentación para las quebradas Llaucay y Condoryacu _____	55
<b>Tabla 14:</b> Rangos establecidos para las constantes cinéticas físicas y biológicas de las quebradas Llaucay y Condoryacu._____	56
<b>Tabla 15:</b> Variación de la concentración de la DBOC aplicando constantes diferentes_____	59
<b>Tabla 16:</b> Variación de la concentración de amonio ( $NH_4$ ) aplicando constantes diferentes. _____	62

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> <i>Deforestación de bosques nativos para el cultivo de pastizales</i> _____	74
<b>Anexo 2.</b> <i>Ganadería extensiva en la microcuenca</i> _____	74
<b>Anexo 3.</b> <i>Cauces naturales de las quebradas en estudio</i> _____	74

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Provincia del Cañar, ciudad de Azogues, en las quebradas Llaucay y Condoryacu de la microcuenca del río Tabacay. Se presenta la caracterización experimental de constantes cinéticas físicas y biológicas; para lo cual se estableció una red de monitoreo de calidad con tres puntos de muestreo a lo largo de las quebradas, considerando espacios estratégicos donde la información que proporcionó cada estación representó el estado actual de la microcuenca. El muestreo se realizó durante los meses de septiembre, noviembre y diciembre de 2016 y febrero de 2017, determinando parámetros como: DBO<sub>5</sub>, nitratos, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos. Las constantes fueron obtenidas a través del programa estadístico Excel, mediante correlación de los parámetros. Y posteriormente ingresadas en el modelo de calidad de agua WASP, calibrado y validado en estudios anteriores de manera que se pueda obtener resultados confiables. El trabajo concluye con la estimación de rangos de valores de constantes que podrán ser aplicadas por otros investigadores en la simulación de la calidad del agua de los sistemas fluviales andinos.

**PALABRAS CLAVES:** CONSTANTES CINÉTICAS, RED DE MONITOREO, CALIDAD DE AGUA, MODELO MATEMÁTICO.

## **ABSTRACT**

The present research work was carried out in the province of Cañar, city of Azogues, in the streams Llaucay and Condoryacu of the watershed of the river Tabacay. It presents the experimental characterization of physical kinetics constants and biological; for which established a network of monitoring quality three point sampling along the creeks, whereas strategic spaces where the information provided by representative of the current state of the watershed. The sampling was conducted during the months of September, November and December of 2016 and February 2017, determining parameters as:  $DBO_5$ , nitrates, suspended solids and dissolved oxygen. The constants were obtained through the statistical program Excel, using correlation of parameters. And subsequently entered into the quality model WASP, calibrated and validated so that reality result can be obtained in reliable results. The paper concludes with the estimation of rates of values of constants that can be applied by other researchers in the simulation of the quality of the water of the Andean river systems.

**KEY WORDS:** CONSTANTS KINETICS, NETWORK OF MONITORING, WATER QUALITY, MATHEMATIC MODEL.

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

El agua es la sustancia más abundante en la corteza terrestre, constituida por el 97% de agua salada y el 3% de agua dulce; de este porcentaje el 69% se encuentra en casquetes polares o en glaciares. De manera que, el agua dulce disponible para la humanidad y los ecosistemas es un porcentaje mínimo del total (Gallopín & Reboratti, 2011). Además, se debe considerar que el agua superficial encontrada en ríos, lagos o lagunas está sometida a un deterioro permanente de su calidad, provocada por actividades antropogénicas<sup>1</sup>.

La microcuenca del río Tabacay está conformada por los afluentes Condoryacu, Rosario, Nudpud y Llaucay, y se encuentran alterados en su estado natural por actividades como: extracción de materia prima para la producción de cemento, producción agropecuaria, ampliación de la frontera agrícola y la presencia de fábricas artesanales de queso que no cuentan con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, por lo que son descargadas directamente en fuentes hídricas influyendo en el problema.

Al ser éstas, las únicas fuentes de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Azogues, es fundamental comprender el conjunto de agentes que actúan sobre las mismas para establecer su efecto en el deterioro; propiciando que los municipios requieran de una inversión mayor en el cuidado de las fuentes hídricas y el tratamiento del agua que llega a las captaciones, para de esta manera garantizar que el líquido se encuentre dentro de los límites máximos permisibles para consumo humano, como establece la ley.

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo determinar constantes cinéticas físicas y biológicas para conocer el impacto producido por las cargas contaminantes que reciben los cuerpos hídricos y saber cuál es su capacidad de autodepuración. Así mismo, se pretende establecer un rango de constantes que servirán para modelar la calidad del agua en sistemas hídricos que presenten características similares a la del trabajo desarrollado.

Según Valcárcel Rojas, y otros (2010, pág. 17), una herramienta útil cuando se diseñan las estrategias para la recuperación de cuerpos hídricos afectados, es la modelación matemática; la misma que permite simular escenarios con diferentes condiciones establecidas inicialmente y que pueden variar con el tiempo y espacio. A partir de estas simulaciones se puede anticipar los cambios que sufrirán los diferentes parámetros de calidad del agua del medio en estudio.

---

<sup>1</sup> El término antropogénico (a veces llamado antrópico) se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

Generalmente estos modelos requieren de datos de constantes cinéticas tanto físicas como químicas y biológicas para su correcta calibración y ajuste, las cuales han sido derivadas en la mayoría de casos para ríos de Europa y Estados Unidos; los cuales representan sistemas físicos diferentes a los ríos centro y suramericanos, especialmente en las zonas montañosas. (Holguin & Camacho, 2003)

La microcuenca del río Tabacay al estar ubicada en un área montañosa y debido a sus características propias, provoca que la velocidad de los flujos hídricos sean elevados y poco caudalosos; esto dificulta la aplicación de valores de constantes que se encuentran en la literatura de los modelos de calidad; por lo tanto, se ve la necesidad de determinar experimentalmente en las quebradas de la microcuenca valores de coeficientes que se ajusten a las condiciones del medio, y así, poder estimar el grado de aceptación en cuanto a la mejora de los resultados obtenidos empíricamente por otros estudios.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. General.**

Determinar experimentalmente constantes cinéticas físicas y biológicas para la modelación de la calidad del agua de la microcuenca del río Tabacay.

### **1.1.2. Específicos.**

- Caracterizar las constantes cinéticas de degradación de materia orgánica, nitrificación, reaireación y velocidad de sedimentación mediante la toma de muestras en los ríos establecidos para sus respectivos análisis.
- Evaluar las constantes obtenidas en el ajuste y calibración de los modelos de calidad de agua.
- Proponer el rango de constantes cinéticas físicas y biológicas para el modelamiento de sistemas fluviales andinos.

## **1.2. Antecedentes**

El acelerado crecimiento poblacional acompañando de las actividades industriales, agrícolas y ganaderas han provocado un desequilibrio en la naturaleza; siendo más notorio la degradación de cuerpos hídricos, debido a que las aguas utilizadas por los habitantes de la zona no son tratadas con anterioridad y esto ocasiona problemas físicos, químicos y biológicos.

Usualmente, los ríos con mayor nivel de contaminación se encuentran cerca de áreas donde se desarrollan actividades productivas generadoras de elementos de contaminación como: sólidos suspendidos, materia orgánica, desechos urbanos y desechos industriales. Estos elementos aumentan considerablemente la carga orgánica haciendo que los ríos

disminuyan su capacidad de autodepuración y por tanto su calidad; esta situación provoca problemas de salubridad y afecta a los pobladores que se benefician aguas abajo, así como a la flora y fauna del lugar.

Se dispone de un registro histórico de estudios realizados en la microcuenca del Río Tabacay que servirán de referencia para la presente investigación, los cuales se detallan a continuación:

- Desarrollo de un modelo de calidad de agua para la microcuenca del río Tabacay, cuenca del río Paute en la ciudad de Azogues. Ecuador. (Matovelle Bustos , 2016)
- Gestión y manejo de los recursos hídricos en la cuenca del río Tabacay Cantón Azogues-Ecuador. (Medina Cueva, 2008)
- Plan de Manejo Integral de la microcuenca del río Tabacay. (EMAPAL, 2003)

El objetivo de estos proyectos es precautelar la disponibilidad del agua en la microcuenca del río Tabacay mediante el establecimiento de acciones de uso y manejo de recursos naturales.

La información proporcionada por los mismos ha permitido tener una visión general acerca de la problemática que se suscita en los ríos de la microcuenca, provocadas por actividades que día a día se desarrollan en la zona alta y media, afectando los recursos naturales y especialmente los recursos hídricos de los que se beneficia la ciudad de Azogues.

Sin embargo, no se han realizado estudios minuciosos acerca del comportamiento de los parámetros que determinan la calidad del agua, por lo cual a través de éstos se plantea la determinación experimental de constantes cinéticas físicas y biológicas para conocer la capacidad de asimilación y autopurificación de las cargas contaminantes recibidas. Posteriormente los datos serán ingresados a un software de modelamiento ya establecido para realizar simulaciones y generar información de la variación de los parámetros a partir de las constantes determinadas.

### **1.3. Metodología**

La metodología empleada para esta investigación fue desarrollada a través de procesos que involucran trabajo de campo como: levantamiento de información insitu, toma de muestras de agua y ensayos experimentales sobre  $DBO_5$ , nitratos, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos; mediante los cuales se determinarán las constantes cinéticas de degradación de materia orgánica ( $k_1$ ), nitrificación ( $k_{nit}$ ), reaireación ( $k_2$ ) y velocidad de sedimentación ( $k_s$ ) en condiciones controladas de laboratorio a una temperatura de 20°C.

Posteriormente los datos obtenidos de las constantes cinéticas serán analizados e ingresados a los modelos de calidad de agua para comprobar su aporte en el ajuste y calibración de los mismos.

La obtención de la información necesaria para el trabajo de investigación, se realizará mediante las siguientes actividades en los ríos Condoryacu y Llaucay (ver tabla 1).

**Tabla 1:** Estructura metodológica de la propuesta y sus actividades

Actividades	Descripción
1. Reconocimiento de la zona a estudiar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Salida de campo: mediante observación se determinaran los límites, características y usos de agua de las quebradas Llaucay y Condoryacu.</li> </ul>
2. Ubicación de estaciones de calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecimiento de las estaciones de calidad en cada una de las quebradas, considerando puntos donde exista una contaminación puntual y georreferenciación de las mismas.</li> <li>- Georreferenciación de puntos a lo largo de los ríos para posteriormente generar mapas de localización mediante Sistemas de Información Geográfica.</li> </ul>
3. Toma de muestras	<p>La toma de muestras se realizará en cada una de las estaciones de calidad, establecidas anteriormente para lo cual se deberá considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La temperatura del agua que es una característica física y se la debe tomar insitu mediante un termómetro manual.</li> <li>• Características hidráulicas de los ríos: profundidad, ancho de la lámina de agua utilizando flexómetro y regla graduada.</li> <li>• Medición de caudales mediante el método del flotador.</li> </ul>

Así mismo se deberá tomar:

- Dos muestras de agua en cada estación para las respectivas analíticas de calidad.

Los envases deben cumplir con características particulares para realizar las diferentes analíticas y así no alterar las muestras.

- Botella plástica color blanco: en la cual se medirá pH, Oxígeno disuelto, nitratos, sólidos suspendidos.
- Botella de vidrio color ámbar: se medirá DBO<sub>5</sub>.

#### 4. Análisis de muestras

- En el laboratorio se determinarán los parámetros planteados en la investigación: DBO<sub>5</sub>, nitratos, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto y pH.

#### 5. Determinación de constantes cinéticas físicas y biológicas

Luego de tener los datos de las analíticas realizadas en el laboratorio, se procederá a determinar las constantes cinéticas utilizando el método requerido para cada una.

- Velocidad de sedimentación de sólidos suspendidos.
- Cinética de reaireación mediante fórmulas empíricas.
- Cinética de degradación de materia orgánica.
- Cinética de nitrificación.

#### 6. Aplicación de las constantes cinéticas determinadas

- Uso de las constantes cinéticas físicas y biológicas determinadas anteriormente en el programa de modelación de calidad de agua WASP.

#### 7. Propuesta del rango de constantes

- Proponer el rango de constantes que se ajustan a las condiciones de los ríos de la microcuenca del Tabacay para su modelamiento.

---

**Fuente:** Elaboración propia

#### **1.4. Justificación**

El agua que recorre por los afluentes de la microcuenca del río Tabacay, es aprovechada por la Empresa Municipal de Agua Potable y alcantarillado de Azogues (EMAPAL) para el suministro a la ciudad y parte de sus comunidades, es por esto, que resulta importante tener una perspectiva general sobre la calidad de agua en dichos afluentes.

Las altas cargas de contaminantes que reciben estos cuerpos hídricos ya sea de fuentes puntuales<sup>2</sup> o fuentes no puntuales<sup>3</sup>, provocan que la calidad del agua disminuya y por lo tanto se vuelve un recurso no apto para el consumo humano en algunos casos.

Es así, que un instrumento útil que permita evaluar y tomar decisiones en la mejora de la calidad de este recurso, es la aplicación de modelos de calidad de agua; los cuales son diseñados y simulados mediante software libre, que enmarca un aspecto favorable en el desarrollo del proyecto. Estas simulaciones se pueden aplicar a varios casos particulares de modelamiento con cierto grado de generalización.

Los modelos matemáticos de calidad de agua requieren de constantes cinéticas específicas con cierto rango de aceptación para las simulaciones. Una forma de encontrar dichas constantes es recurrir a la experimentación mediante la toma de muestras insitu y su posterior aplicación en modelos matemáticos, los cuales realizarán simulaciones en diferentes escenarios y de este modo valorar cual es la tasa que más se ajusta al modelo.

Posteriormente, con los datos obtenidos se determinará un rango de constantes que podrán ser aplicadas en modelos con características de los sistemas fluviales andinos y de esta manera poder realizar predicciones bajo un cierto grado de certidumbre.

---

<sup>2</sup> La contaminación de cuerpos hídricos provocada por fuentes puntuales son aquellas que descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías y alcantarillas. Ejemplo: Fábricas, plantas de tratamiento de aguas residuales, minas, etc.

<sup>3</sup> La contaminación hídrica provocada por fuentes no puntuales es aquella en la que los contaminantes son transportados por escorrentía desde áreas extensas y drenan hacia los ríos. Ejemplo: suelos agrícolas y ganaderos, construcciones, bosques talados, etc.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Sistemas fluviales andinos

La región interandina constituye una de las cadenas montañosas más extensas del país, se extiende de norte a sur con una distancia de 630km y se caracteriza por sus impresionantes elevaciones, volcanes, nevados y su gran potencial de recursos hídricos. Las cordilleras dan lugar a numerosos valles, cañones, mesetas y un sistema fluvial cuyos ríos desembocan en el Pacífico o en el Amazonas. Su presencia influye en el desarrollo de todo el país, desde aspectos geográficos, climatológicos y ecológicos hasta económicos, sociales y culturales ( Acosta Rivas, 2009).

Los sistemas fluviales andinos presentan características muy peculiares como:

- Flujo altamente turbulento
- Pendiente longitudinal del cauce elevada
- Alta variabilidad espacial de la morfología del canal
- Alto potencial de producción de sedimentos en períodos cortos
- Temperaturas muy bajas
- Abundante presencia de oxígeno

Los sistemas fluviales andinos originados en las cordilleras ya sea por deshielo de las altas montañas o por la confluencia de otros cursos de agua más reducidos presentan un rol protagónico al proporcionar servicios ambientales esenciales para sostener la forma de vida de miles de personas, al igual que a la flora y la fauna. Dentro de estos servicios se considera como uno de los más importantes la regulación hídrica y la producción de agua de excelente calidad para uso urbano, la agricultura y la industria. (Buytaert, Célleri, De Bièvre, & Cisneros, s.f)

A pesar de la importancia que estos ríos presentan como reguladores hídricos, los datos meteorológicos e hidrológicos son muy escasos; prestando más atención a los ríos de llanura que es donde la población ha llevado a cabo sus actividades.

##### 2.1.1. Características hidrológicas.

Entre las principales características de los ecosistemas de montaña en estado natural están las altas precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares, sobresaliendo la alta capacidad de almacenamiento de agua de los suelos y la protección que ejerce la vegetación contra la lluvia; evitando así la erosión y secado del suelo (CAJAS PARRA, 2010).

Las cuencas de montaña son zonas de regulación hídrica, donde se junta el agua de las montañas y corre río abajo para alimentar los demás cuerpos hídricos, sin embargo, este funcionamiento natural está siendo afectado por el crecimiento demográfico, el avance de la frontera agrícola y ganadera, y la incontrolable deforestación y quema de bosques, entre otros; poniendo en riesgo la disponibilidad de agua dulce.

### **2.1.2. Características Hidráulicas.**

Según López Alonso (2004, pág. 38), en lo que respecta a características hidráulicas los ríos de montaña debido a la fuerte pendiente, presentan altas velocidades de flujo y una elevada capacidad de transporte de sedimentos los cuales aportan una gran carga de sólidos al sistema.

Estos sólidos son generados principalmente por las zonas aradas o agrícolas sin condiciones de manejo, movimiento de masas de suelo, erosión de cárcavas, erosión de márgenes etc., y son transportados principalmente por el agua lluvia y la escorrentía superficial desde la parte alta de la cuenca hasta la parte baja.

### **2.1.3. Características Geomorfológicas.**

“Los ríos de montaña presentan una elevada variabilidad espacial de la morfología de cauce, debido al control externo que introduce la geología (litología, tectónica, estructura, glaciación, aporte de sedimentos, etc.)” (López Alonso, 2005, pág. 28). Éstos presentan una elevada pendiente longitudinal del cauce y sedimento de gran tamaño, que los diferencian de los ríos de llanura.

Se sabe que la relación entre la pendiente del cauce y la capacidad del flujo para erosionar y transportar sedimentos van de la mano, considerando que si se reduce la pendiente también disminuye el caudal sólido y el tamaño de las partículas que acarrea el flujo.

## **2.2. Análisis de la calidad del agua**

### **2.2.1. Características físicas del agua.**

#### **2.2.1.1. Turbidez.**

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde la capacidad de transmitir la luz debido a la presencia de sólidos suspendidos.

Es considerada como una buena medida de la calidad del agua ya que de ésta depende si es apta o no para determinados usos. La unidad de medida adoptada por la Estándar EPA (Agencia de Protección Ambiental) es la Unidad Nefelométrica de Turbidez (NTU). Según la OMS (Organización Mundial para la Salud) un agua apta para el consumo humano no debe superar los 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU.

### **2.2.1.2. Sólidos.**

Se denominan sólidos a todos aquellos materiales o compuestos que se encuentran en un medio acuoso, ya sea suspendido o disuelto (Barrenechea Martel, 2004). Se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura específica.

Los Sólidos Suspendidos (SS) son visibles y generalmente flotan en el agua entre la superficie y el fondo, pueden estar formados por materia orgánica e inorgánica particulada existente en el agua (aceites, grasas, arcillas, arenas, fangos, etc.) y son los causantes del color y la turbidez del agua. (López , Martínez, & García , 2014). Así mismo, los sólidos disueltos determinan la salinidad del medio, y por ende la conductividad del mismo.

La máxima concentración de sólidos suspendidos para sistemas naturales es de (<35 mg/l Según la Directiva Marco del Agua). La legislación ecuatoriana para calidad de agua en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Libro VI, no determina un límite permisible para sólidos suspendidos.

### **2.2.1.3. Color, sabor y olor.**

#### **• Color**

El color en el agua puede resultar de la presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales (hierro y manganeso), humus, turba, plancton, vegetales y desechos industriales; además, intervienen entre otros factores el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos (Barrenechea Martel, 2004).

Se puede establecer una diferencia entre el color real y el color aparente.

- **Color real o verdadero:** es el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad.
- **Color aparente:** engloba no sólo el color debido a sustancias disueltas sino también a las materias en suspensión y se determina en la muestra original sin filtrarla.

El valor guía de la OMS para aguas de consumo humano es de 15 unidades de color (UC).

#### **• Sabor y olor**

Las sustancias originadoras de sabor y olor en el agua pueden ser compuestos orgánicos e inorgánicos que entran en contacto.

En el agua se pueden distinguir cuatro sabores básicos:

- **Sustancias inorgánicas:** amargo (alcalinas), salado (sales metálicas), ácido y dulce.

En cuanto al olor se debe tener en cuenta que la falta de éste no es un indicador de ausencia de contaminantes. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua como Cloro ( $\text{Cl}_2$ ), Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) por degradación anaerobia. (Barrenechea Martel, 2004)

La EPA y la OMS recomiendan como criterio que por razones organolépticas, las fuentes de abastecimiento deben estar razonablemente exentas de olor y sabor; es decir, en términos generales, que se encuentren en un nivel aceptable.

#### **2.2.1.4. Temperatura.**

La temperatura es un parámetro físico dentro de la calidad del agua que influye tanto en el desarrollo de la vida acuática como en la velocidad de reacciones químicas que se producen dentro de un cuerpo hídrico. Este parámetro es fundamental en la degradación de la materia orgánica ya que de ésta depende el retardo o aceleración de la actividad biológica y por ende la velocidad de degradación de los compuestos orgánicos. La temperatura de referencia en estado normal del medio ambiente oscila de 20 a 22 °C.

La variación de la temperatura puede estar originada por descargas de aguas industriales o por la temperatura del mismo ambiente.

- **Riesgos**

- Los cambios bruscos de temperatura pueden conducir a un aumento en la mortalidad de la vida acuática.
- Afecta a la solubilidad de los gases y de las sales minerales.
- Si la temperatura aumenta la solubilidad del oxígeno disminuye.

#### **2.2.1.5. pH.**

El pH es una de las pruebas que se realizan para conocer parte de la calidad del agua, las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, siendo 7 un pH neutro, inferiores a 7 ácido y superiores a 7 alcalino. Entonces el pH mide la acidez o alcalinidad del agua.

Generalmente las aguas naturales sin contaminación poseen un pH de 6 a 9.

El aumento o disminución excesiva de este podría ocasionar serios problemas en la diversidad biológica, el equilibrio químico y en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y desinfección.

## **2.2.2. Características Químicas del agua.**

### **2.2.2.1. Materia orgánica (MO).**

La materia orgánica en el agua está constituida por un sin número de componentes disueltos y en suspensión, formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno que provienen por lo general de las descargas de aguas residuales urbanas e industriales, actividades agrícolas y ganaderas.

La caracterización de la materia orgánica, biodegradable o no, en el agua de abastecimiento humano tiene un gran valor al momento de establecer sus condiciones físicas y los índices de contaminación, de la misma forma para aguas residuales en la determinación de la eficacia de los diferentes tratamientos aplicados en la depuración.

La materia orgánica generalmente está formada por:

- Componentes orgánicos naturales
  - Proteínas (tejido animal)
  - Carbohidratos (tejido vegetal)
  - Lípidos (grasas, aceites, ceras)
- Componentes orgánicos sintéticos
  - Detergentes
  - Pesticidas y productos agrícolas
  - Disolventes orgánicos

Todos los métodos analíticos para conocer el contenido aproximado de materias orgánicas se basan en la utilización de fuertes oxidantes químicos en presencia de catalizadores. Los más usuales son el método de dicromato al reflujo y el método del permanganato. (Portal del Medio Ambiente, s.f)

Los problemas que ocasionan la materia orgánica están relacionados con la reducción del oxígeno por degradación, formación de color, olor y sabor y la formación de trihalometanos<sup>4</sup>.

### **2.2.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

La DQO representa la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica del agua, expresada en mg/l bajo condiciones controladas de agentes oxidantes, temperatura y tiempo. (Laboratorio de Química Ambiental Ideam, 1997)

---

<sup>4</sup> Los trihalometanos (THMs) son compuestos químicos volátiles que se generan durante el proceso de potabilización del agua por la reacción de la materia orgánica, aún no tratada, con el cloro utilizado para desinfectar.

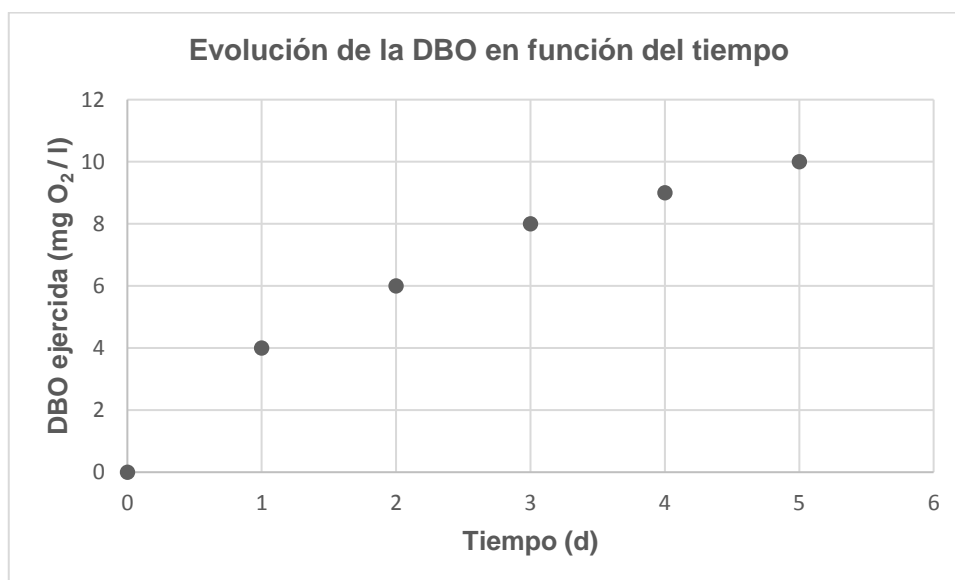
Este parámetro requiere de condiciones de análisis específicas, un tiempo mínimo de reacción de dos horas, una temperatura de 140 °C y una serie de sustancias analíticas específicas.

Las desventajas que presenta este método es que no distingue entre materia orgánica biodegradable y no biodegradable; mide MO total.

Durante el proceso de análisis se producen residuos tóxicos debido a que contienen plata, mercurio y cromo.

### 2.2.2.3. *Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).*

La DBO representa la cantidad de oxígeno que se necesita para la oxidación biológica de la materia orgánica presente en el agua. Esta prueba se realiza incubando la muestra a una temperatura de 20°C durante 5 días (DBO<sub>5</sub>) y 20 días (DBO<sub>lim</sub>), la prueba de DBO más conocida es la DBO<sub>5</sub> y sus unidades de medida son mg O<sub>2</sub>/l.



**Figura 1:** Medición de la DBO<sub>5</sub> en el laboratorio

**Fuente:** Elaboración propia

El oxígeno es utilizado por las bacterias para la degradación de sustancias carbonadas y nitrogenadas, es por esto que se necesita añadir inhibidores para que el consumo de oxígeno sea producido únicamente por oxidación de compuestos carbonados, debido a que los compuestos nitrogenados empiezan el proceso de descomposición a partir de los 5 días.

En sistemas naturales se puede encontrar en suspensión sustancias orgánicas provenientes del lavado de los suelos o por el metabolismo de organismos acuáticos. Además, los cuerpos de aguas superficiales pueden recibir descargas de aguas residuales de origen doméstico o industrial, las cuales provocan la contaminación en niveles variables.

### **2.2.3. Características biológicas.**

La desaparición de la materia orgánica presente en el agua puede estar producida por degradación biológica o sedimentación de las partículas. En la degradación biológica el tamaño y composición de la comunidad de organismos está determinada por el tipo, cantidad y disponibilidad de materia orgánica, a más de la composición química de los sustratos añadidos.

Ciertos grupos microbianos predominan durante los primeros días, otros mantienen altos niveles poblacionales durante períodos de tiempos más largos. Cada organismo individual tiene un complejo de enzimas que le permite oxidar un determinado grupo de compuestos químicos, para lo cual consumen oxígeno y generan CO<sub>2</sub>.

La descomposición de la materia orgánica es aprovechada por los organismos como suministro de energía para su crecimiento y como fuente de carbono para la formación del nuevo material celular.

### **2.2.4. Materia inorgánica.**

#### **2.2.4.1. Nitrógeno.**

El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de la vida, existe una gran disponibilidad en el medio ambiente ya que cerca del 80% de la atmósfera está formado por nitrógeno gas (N<sub>2</sub>). Por lo general en el agua se encuentra como nitrógeno orgánico (NO) en forma disuelta o particulada, proviene en condiciones naturales de la degradación de la materia orgánica muerta para luego mineralizarse a amonio (NH<sub>4</sub>) y su posterior nitrificación y desnitrificación. En condiciones del medio alterado los aportes adicionales de nitrógeno derivan de las descargas de aguas residuales urbanas y del uso progresivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura.

- **Amonio**

En medios naturales el amonio presente en el agua puede ser debido a la descomposición del nitrógeno orgánico por efecto de las bacterias o por arrastre de las escorrentías, excreciones de la biota y reducción del nitrógeno gas por los microorganismos. En fuentes no naturales de amonio puede ser por descargas urbanas e industriales. (Matovelle Bustos , 2016)

El aumento del pH y la temperatura provoca que el amonio que se encuentra normalmente como NH<sub>4</sub><sup>+</sup> se presente en su forma no ionizada NH<sub>3</sub> (amoníaco) la cual es perjudicial para los organismos acuáticos especialmente peces.

Las aguas superficiales contienen concentraciones naturales de amonio por debajo de los 0,2 mg/L, cuando su concentración es mayor podría constituirse en un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales. (Consultora de aguas, s.f)

Según la OMS el amonio puede ocasionar problemas de sabor y olor a concentraciones mayores que 35 y 1,5 mg/l, respectivamente.

- **Nitritos y Nitratos**

El amonio presente en el agua en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos. Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, del contenido de oxígeno disuelto y del pH del agua. (Barrenechea Martel, 2004)

La presencia de nitritos en un sistema natural es un buen indicador de la contaminación urbana reciente que sufrió el medio debido a la rápida oxidación que se da de nitritos a nitratos, es por esto que se puede encontrar mayor cantidad de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas.

La concentración de nitratos en aguas superficiales normalmente es baja, si existe un aumento en los niveles de concentración puede ser como consecuencia de la contaminación difusa por escorrentías que provienen de suelos de uso agrario y ganadero o por residuos urbanos. (Rodríguez, Gauna, Martínez, Acevedo , & Romero , 2012)

En el agua para consumo humano la OMS señala como valor máximo la cantidad de 50 mg/L de nitrato y en la legislación ecuatoriana en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) establece el límite de 10 mg/l.

### **2.3. Contaminación de cuerpos hídricos**

La contaminación de cuerpos hídricos es un fenómeno que no podemos eludir, al ser producida por actividades naturales o por actividades antropogénicas, siendo esta la más notoria.

De acuerdo a lo que manifiesta (Carrera González , 2011) “un acelerado crecimiento demográfico junto con el aumento de industrias y actividades agrícolas han ocasionado un deterioro en el medio ambiente debido a que las aguas de desecho que se generan en estos sectores son vertidas directamente a los ríos sin ningún tratamiento previo”.

Como se sabe, la calidad del agua de un cuerpo hídrico depende del uso que se le vaya a dar, y ésta, a su vez, está determinada por los diferentes parámetros y sus límites de concentraciones establecidas. Es así que, un agua puede tener una buena calidad para un fin, pero esa misma agua no puede ser apta para otro uso.

Los principales contaminantes son: fertilizantes y pesticidas agrícolas, residuos sólidos, aguas residuales urbanas, escorrentías agrícolas y demás sustancias que se encuentren en productos de uso cotidiano.

Los problemas de contaminación del agua afectan directamente al cuerpo receptor y su ecosistema, provocando daños ecológicos, escasez para solventar demandas urbanas y agrícolas y daños a la salud pública ya que ésta puede ser un medio de transmisión de enfermedades.

#### **2.4. Modelos de calidad de agua como herramienta de gestión**

Los modelos de calidad de agua son representaciones matemáticas que permiten analizar, comprender y estudiar un determinado fenómeno, así como también, cuantificar las variaciones de la calidad del agua, provocadas por descargas de contaminantes o por el cambio del uso del suelo.

Los modelos son herramientas que permiten entender la relación causa-efecto de los compuestos vertidos en cuerpos receptores, como ríos, lagos y estuarios. Esto es posible, mediante la transformación de información que se tiene sólo como datos en representaciones gráficas que indican la magnitud del problema y así, poder realizar predicciones de lo que sucederá con los contaminantes al transcurso del tiempo y espacio de la cuenca. (Matovelle Bustos , 2016)

Tradicionalmente estos modelos han sido utilizados para evaluar distintas alternativas de gestión dentro de una cuenca, para mejorar la calidad del agua y garantizar el desarrollo sostenible del recurso.

#### **2.5. Comportamiento de las sustancias contaminantes en el medio acuático**

##### **2.5.1. Reacciones.**

Cuando una sustancia química ingresa en un cuerpo de agua, pueden suceder varias cosas. La sustancia puede ser transportada o dispersada de un lugar a otro ya sea por efecto del viento o por la velocidad de la corriente. Así mismo, puede abandonar el cuerpo de agua por que se volatilice, sedimente o salga con la masa de agua que lo contiene. Todos estos fenómenos se realizan sin modificar la composición química de la sustancia. (Sierra Ramírez , 2011)

Otro tipo de cambio que puede suceder con el contaminante es que reaccione química o biológicamente y se transforme en otro compuesto en un tiempo dado.

### 2.5.1.1. Tipos de reacciones.

- **Reacciones reversibles.** Es la que sucede en cualquier dirección, dependiendo de la concentración de los reactantes y productos.

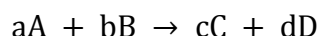


Donde:

a, b: representan los coeficientes estequiométricos.

A, B: representan las sustancias participantes en la reacción.

- **Reacciones irreversibles.** Estas reacciones ocurren en una sola dirección y ocurren hasta que el reactante se agote. En este tipo de reacciones lo más importante es determinar la tasa o velocidad a la cual desaparece una o las sustancias que participan en la reacción.



### 2.5.2. Cinética de las reacciones.

La cinética o tasa de reacción se puede determinar estableciendo el principio de ley de acción de masas: la velocidad de reacción es proporcional a la concentración de los reactantes.

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = -k * (C_A, C_B \dots) \quad (2)$$

Esta ecuación establece que la tasa de reacción está en función de una constante k y de la concentración de los reactantes. El signo menos, significa que su concentración está disminuyendo.

#### 2.5.2.1. Cinéticas de orden n.

La variación de las concentraciones en función del tiempo en una reacción, permite deducir una expresión matemática que relaciona la velocidad de la reacción con las concentraciones de los reactivos. A esta expresión se le llama ley diferencial de velocidad.

Una sustancia presente en un medio acuoso se transforma, pudiendo aparecer como nuevos productos (+) o desaparecer (-) siguiendo una cinética de orden n, así:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \pm k C^n \quad (3)$$

Donde:

k: constante de velocidad

C: concentración de la sustancia

n: es el orden de reacción

Muchos procesos de transformación en aguas naturales se ejecutan con una cinética de orden 0, 1 y 2.

### 2.5.2.2. Cinéticas de orden 0.

En las cinéticas de orden cero ( $n = 0$ ), la ecuación (3) se transforma en:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -k \quad (4)$$

Donde las unidades de  $[k] = M L^{-3} T^{-1}$

Significado:

M: masa (mg)

$L^{-3}$ : volumen (L)

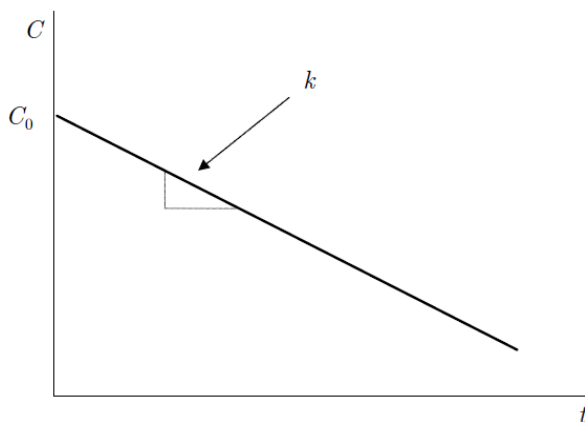
$T^{-1}$ : tiempo (d)

k representa la concentración de una sustancia que aparece o desaparece por unidad de tiempo, por ejemplo:  $k = 0,1 \text{ mg/L d}$ . Lo cual quiere decir que la sustancia desaparece a una velocidad de  $0,1 \text{ mg/L}$  todos los días.

Integrando para  $C = C_0$  en  $t = 0$ , la ecuación anterior se convierte en:

$$C = C_0 - k * t \quad (5)$$

Si se grafica la ecuación anterior, la pendiente de la recta corresponde al valor de k, tal como se aprecia en la figura 3.



**Figura 2:** k en reacciones de orden cero

**Fuente:** (Sierra Ramírez , 2011)

Estas reacciones se dan en el caso de reacciones heterogéneas en las que la velocidad de reacción es independiente de la concentración de reactivos.

### 2.5.2.3. Cinéticas de orden 1.

En una reacción de primer orden, la velocidad de reacción es directamente proporcional a la concentración de una especie. Por lo tanto, la ecuación de la velocidad de reacción será.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -k * C \quad (6)$$

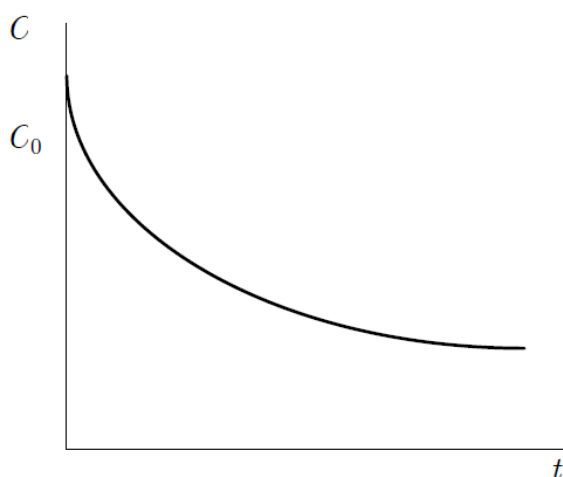
Donde

k: tiene unidades de tiempo ( $T^{-1}$ ).

Integrando la ecuación para  $C = C_0$  en  $t = 0$  queda:

$$C = C_0 * e^{-k*t} \quad (7)$$

Si representamos gráficamente esta ecuación, nos indica como varía la concentración del reactivo según el tiempo transcurre, como se aprecia en la figura 4.



**Figura 3:** k en reacciones de primer orden

**Fuente:** (Sierra Ramírez , 2011)

Existen muchas reacciones que siguen este tipo de comportamiento, entre estas son frecuentes las descomposiciones.

### 2.5.2.4. Cinéticas de orden 2.

En las reacciones de segundo orden, la velocidad de reacción es proporcional al cuadrado de la concentración de una sola especie de las que intervienen en la reacción. La ecuación de la velocidad es de la forma:

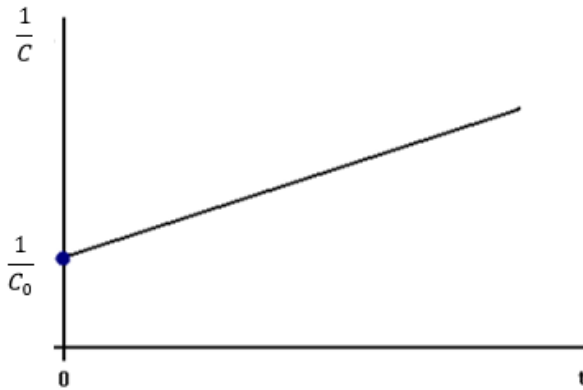
$$\frac{\partial C}{\partial t} = -k * C^2 \quad (8)$$

k tiene unidades:  $M^{-1} L^3 T^{-1}$

Integrando para  $C = C_0$  en  $t = 0$ , la ecuación anterior queda:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + k * t \quad (9)$$

Al graficar esta ecuación obtendremos una recta con una pendiente positiva, cuya pendiente representa la constante.



**Figura 4:** k en reacciones de segundo orden

**Fuente:** (Sierra Ramírez , 2011)

Para órdenes mayores y con valores de n positivo diferentes de 1, se puede utilizar la siguiente expresión.

$$C = C_0 \frac{1}{[1+(n-1)k C_0^{n-1} t]^{1/(n-1)}} \quad (10)$$

### 2.5.3. Efecto de la temperatura.

La temperatura cumple un rol fundamental en la velocidad de reacción de las constantes cinéticas físicas, químicas y biológicas que ocurren en las aguas naturales. Así, un aumento de la temperatura provoca un incremento de la velocidad de reacción.

En general, la velocidad de una reacción se duplica por cada 10 °C de aumento de temperatura. En el año 1889, Svante Arrhenius determinó a partir de datos experimentales la relación entre la constante de velocidad de una reacción y la temperatura a la cual transcurre la misma, ecuación que recibe el nombre de ecuación de Arrhenius:

$$k (T)_2 = k (T_1) \theta^{(T_2-T_1)} \quad (11)$$

Donde:

$T_1$ : temperatura de referencia a 20°C

$T_2$ : temperatura a la cual transcurre la reacción

$\theta$ : coeficiente de corrección por temperatura

## 2.6. Descripción de constantes cinéticas en la modelación

### 2.6.1. Materia Orgánica y Oxígeno disuelto.

La concentración de oxígeno disuelto en el agua es un indicador del estado en el que se encuentra, varía temporalmente en función de la reaireación, fotosíntesis y respiración del fitoplancton; la disminución de este generalmente se produce por la degradación de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada existente en el agua. En corrientes de montaña la concentración puede variar de 7 a 15 mg/L, dependiendo de la temperatura del agua y de la presión del aire (“oxígeno disuelto”, s.f).

La temperatura es un factor que afecta directamente la solubilidad del oxígeno en el agua, así, a mayor temperatura menor solubilidad y viceversa. La tabla 2 muestra como varía la concentración de saturación de oxígeno al aumentar la temperatura.

**Tabla 2:** Variación de la concentración de oxígeno con la temperatura (Canadá State Water Resources, 2000).

Temperatura (°C)	OD (mg/l)	Temperatura (°C)	OD (mg/l)
0	14.6	15	10.1
1	14.2	16	9.9
2	13.8	17	9.7
3	13.5	18	9.6
4	13.1	19	9.3
5	12.8	20	9.1
6	12.5	21	8.9
7	12.1	22	8.7
8	11.8	23	8.6
9	11.6	24	8.4
10	11.3	25	8.3
11	11.0	26	8.1
12	10.8	27	8.0
13	10.5	28	7.8
14	10.3	29	7.7

**Fuente:** (Matovelle Bustos , 2016)

Se puede ver claramente como la concentración de oxígeno en el agua varía de forma inversamente proporcional a la temperatura del medio.

En cuanto a la materia orgánica, esta puede proceder de diferentes lugares; una manera de evaluar la carga orgánica es mediante la determinación de la DBO<sub>5</sub>. Este parámetro permite estimar la cantidad de oxígeno que será consumido durante un intervalo de tiempo por microorganismos aerobios para estabilizarla. Al cabo de un período de 20 días la oxidación

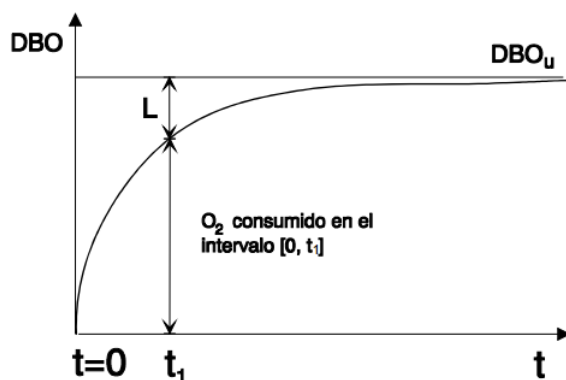
se ha completado en un 95%-99%. En el plazo de cinco días la oxidación se ha completado en un 60-70%. (Suárez & Fernández, 2009)

La DBO total se alcanza en dos etapas; en la primera se estabiliza la materia orgánica carbonácea (DBOC) y la segunda, donde se oxidan los compuestos nitrogenados pasando de amonio a nitritos y posteriormente a nitratos.

Es importante conocer la capacidad de asimilación y autodepuración de un cuerpo receptor, para lo cual es necesario determinar la velocidad de oxidación biológica y la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la totalidad de la materia orgánica presente.

El ejercicio de la DBO se puede describir en función del tiempo mediante una cinética de primer orden  $\frac{dL}{dt} = -k * L$  donde se supone que la velocidad a la cual ocurre la estabilización de la materia orgánica  $\frac{dL}{dt}$  es proporcional a la concentración de la materia orgánica contenida en la muestra ( $L$ ). Así mismo la velocidad de consumo del oxígeno dependerá solamente de la concentración y de la naturaleza de la materia orgánica presente. (Garnero & Chiappero, s.f)

Si representamos el oxígeno consumido, es decir la DBO ejercida quedaría como se ve en la figura 8.

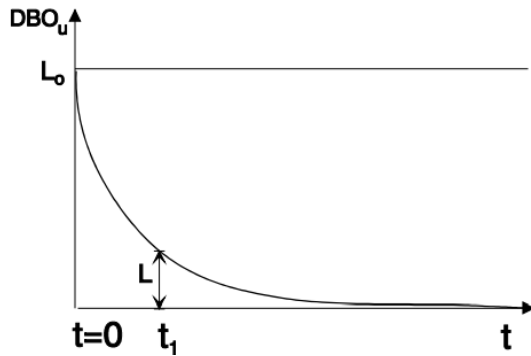


**Figura 5:** Estimación de la DBO ejercida en un tiempo t

**Fuente:** (Suárez & Fernández, 2009)

Si representamos la DBO remanente en el tiempo, tendremos:

$$\frac{\partial L}{\partial t} = -k_1 L \quad (12)$$



**Figura 6:** DBO remanente en un tiempo t

**Fuente:** (Suárez & Fernández, 2009)

Donde L es la cantidad de DBO remanente en el agua en el instante t.

Integrando la ecuación quedaría:

$$L_{(t)} = L_0 e^{-k_1 t} \quad (13)$$

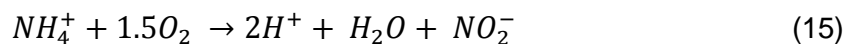
Y la cantidad de DBO ejercida en un instante t será:

$$DBO_{(t)} = DBO_L (1 - e^{-k_1 t}) \quad (14)$$

### 2.6.2. Nitrificación.

La demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada (DBON), se genera por la oxidación del nitrógeno Kjeldahl, NTK, (N orgánico + amonio), en el proceso denominado "nitrificación", de acuerdo con las reacciones de (Gaudy, 1980). Rivera Gutiérrez (2016)

- Primero las bacterias del género Nitrosomonas, convierten el ión amonio ( $NH_4^+$ ) a nitrito.



La reacción anterior es relativamente inestable, lo que significa que rápidamente los nitritos son oxidados a nitratos.

- Segundo, la bacteria del género Nitrobacter convierte el nitrito en nitrato.



De esta manera el oxígeno consumido para los dos estados se puede calcular.

$$r_{oa} = \frac{1.5(32)}{14} = 3.43 \text{ gO}_2 \text{ gN}^{-1} \quad (17)$$

De acuerdo con la ecuación anterior, se requieren 3,43 gramos de  $O_2$  por cada gramo de nitrógeno oxidado a nitrito.

$$r_{oi} = \frac{0.5(32)}{14} = 1.14 \text{ gO}_2 \text{ gN}^{-1} \quad (18)$$

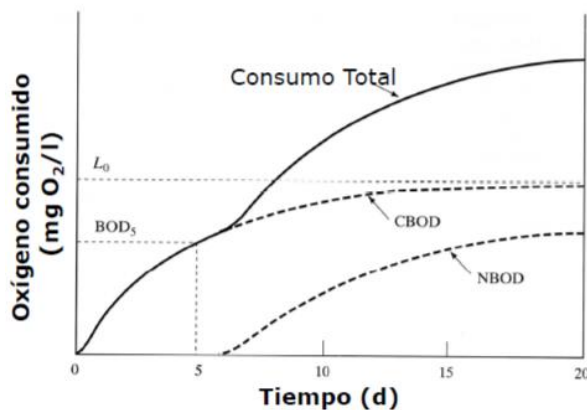
Según la ecuación anterior se necesitan 1,14 gramos de  $O_2$  por cada gramo de nitrito oxidado a nitrato.

En total en el proceso completo de nitrificación se necesitan 4,57 g de  $O_2$  para oxidar el  $NH_4$  hasta  $NO_3$ .

Para que exista la nitrificación deben existir los siguientes factores:

- presencia suficiente de bacterias nitrificantes.
- un pH alcalino, alrededor de 8.
- suficiente oxígeno (1 a 2 mg / L).

En resumen, la DBON se genera cuando el nitrógeno amoniacal es oxidado a nitritos y luego a nitratos bajo condiciones propicias. La DBON se determina añadiendo un agente inhibidor del crecimiento de las bacterias nitrificantes. Al calcular la DBO bajo estas condiciones, solamente se mide la DBOC. Si paralelamente se determina la DBO sin inhibidor, la DBON se puede obtener por diferencia como se aprecia en la figura 7.



**Figura 7:** Curva de demanda bioquímica de oxígeno

**Fuente:** (Sierra Ramírez , 2011)

### 2.6.3. Sedimentación.

El agua que circula en ríos y arroyos naturales está constituida generalmente por material no cohesivo, y puede estar determinada por parámetros como: pendiente, profundidad de flujo, tamaño de sedimentos y velocidad de caída de las partículas.

Los sólidos en suspensión que transporta una corriente de agua provienen de la erosión superficial del suelo o por procesos de remoción en masa (desprendimientos, deslizamientos

y otros). Morris y Fan (citado en Cataño Álvarez, 2015) destaca que, “los sólidos son arrastrados por la corriente desde aguas arriba hacia un nivel base con tasas altamente variables en el espacio y el tiempo en función de un forzamiento hidrológico sujeto a un control geomorfológico”, cuando no hay suficiente capacidad de transporte se acumulan dando lugar a los llamados depósitos de sedimento.

Existen autores que se refieren al movimiento de los sedimentos en diferentes tipos de corrientes, es el caso de la FAO (s.f) quien indica:

El movimiento de los sedimentos en las corrientes y ríos presenta dos formas. Los sedimentos en suspensión están constituidos por las partículas más finas, mantenidas en este estado por los remolinos de la corriente y sólo se asientan cuando la velocidad de la corriente disminuye y el lecho se hace más liso o la corriente descarga en un pozo o lago.

Las partículas sólidas de mayor tamaño son arrastradas a lo largo del lecho de la corriente y se designan con el nombre de arrastre de fondo. Este movimiento se lleva a cabo en una capa cercana al fondo, con un espesor del orden de dos veces el valor del diámetro de las partículas. Existe un tipo intermedio de movimiento en el que las partículas se mueven aguas abajo dando rebotes o saltos, a veces tocando el fondo y a veces avanzando en suspensión hasta que vuelven a caer al fondo.

El conocimiento de la carga de sedimento que conlleva el flujo es de gran importancia económica para predecir problemas de presas o embalses aguas abajo.

#### **2.6.4. Reaireación.**

Como se explicó en los apartados anteriores el oxígeno es consumido por la degradación de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada. Ventajosamente todo cuerpo hídrico tiene la capacidad de incorporar oxígeno para compensar aquél que se consume en la oxidación. Sin embargo, no siempre el oxígeno que ingresa es suficiente para mantener las condiciones aeróbicas del agua, un cuerpo de agua que haya recibido grandes cantidades de aguas residuales sin previo tratamiento va a necesitar de grandes distancias y tiempo para recuperar los niveles de oxígeno disuelto.

Uno de los factores que aporta oxígeno a los cuerpos de agua es el fenómeno de la reaireación, Suárez y Fernández (2009) indica que “la reaireación tiende a equilibrar la concentración de oxígeno disuelto de la masa de agua con su valor de saturación” (p.2). Normalmente en las corrientes de agua los valores de OD se encuentran por debajo del de saturación, por lo cual, la cantidad de oxígeno que ingresa por reaireación es proporcional al déficit que tiene el agua.

## 2.7. Características de la microcuenca del río Tabacay

El río Tabacay es un río de montaña, y está ubicado en la microcuenca del mismo nombre en Ecuador, provincia del Cañar, cantón Azogues.



**Figura 8:** La provincia del Cañar en el Ecuador

**Fuente:** Instituto Geográfico Militar (I.G.M)

**Elaboración:** Propia



**Figura 9:** La microcuenca del río Tabacay en el Cañar

**Fuente:** Instituto Geográfico Militar (I.G.M)

**Elaboración:** Propia

La microcuenca del río Tabacay pertenece a la subcuenca del río Burgay, cuenca del río Paute y se encuentra entre los cuadrantes 737700 - 748230 Este y 9698000 – 9709300 Norte. Posee un rango de altitud que va desde los 2490 a los 3730 metros sobre el nivel del mar. Sus principales afluentes son las quebradas Llaucay, Nudpud, Condoryacu, Rosario, Mapayacu y Rubís. Tiene una superficie de 6650 hectáreas.

Posee un clima templado, existiendo variación en la parte alta, constantes vientos y páramos que hacen que el clima sea fresco y agradable, la temperatura media es de 17°C.

El agua de la microcuenca del río Tabacay es aprovechada para el abastecimiento de la ciudad de Azogues y a un importante sector rural, por esta razón es primordial precautelar los usos presentes y futuros del líquido con la toma de decisiones adecuadas a favor del recurso, mediante el análisis cualitativo y cuantitativo de parámetros característicos del agua.

La microcuenca ha sido afectada en gran medida por acciones antrópicas, en las cuales sobresalen la ganadería, agricultura y urbanismo en zonas no aptas para esta actividad. Así mismo, el uso excesivo de los páramos para labores agrícolas y pecuarias en las cuales son reemplazados los bosques nativos por especies exóticas, esto afecta directamente a la regulación hídrica y la calidad del agua.

Estas acciones provocan un riesgo ecológico debido a la gran cantidad de biodiversidad presente en la zona, encontrando especies de flora y fauna de un gran valor ecológico y que viven muy cerca de las zonas afectadas.

Dentro de la microcuenca del río Tabacay no ha existido una adecuada intervención para el manejo sostenible del recurso agua, por lo que tampoco se contaba con instrumentos que permitan una adecuada gestión. Es así que, varias instituciones juntaron esfuerzos para crear un Plan de Manejo integral cuyo objetivo es el conocimiento integral del territorio para precautelar la disponibilidad presente y futura del agua; tanto en cantidad como en calidad, mediante el establecimiento de acciones de uso, manejo de recursos naturales, e infraestructura, proporcionando así un primer documento técnico que permita la gestión adecuada de toda la microcuenca (Matovelle Bustos , 2016, p.12-13).

### 2.7.1. Uso del agua de la microcuenca del río Tabacay.

La Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Azogues (EMAPAL) administra la infraestructura hidráulica que consta de captaciones en cuatro de las seis quebradas afluentes, estas son: Condoryacu, Rosario, Nudpud y Llaucay. El agua de estas captaciones es conducida hasta las plantas de tratamiento para posteriormente ser distribuida para el consumo de la ciudad.

La planta de potabilización recibe un promedio de 100  $L/s$  desde las captaciones, además realizaron la verificación de los usos actuales de las fuentes de agua en la microcuenca del río Tabacay para lo cual compilaron todas las concesiones de agua en trámite de legalización, (tabla 3).

**Tabla 3:** Usos y caudales de agua en la microcuenca del río Tabacay

<b>Fuente</b>	<b>Uso</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Concesionario</b>	<b>Cota (msnm)</b>
Tabacay	Industrial		10.00	Industrias Guapán S.A	2530
Tabacay	Industrial		45.00	Industrias Guapán S.A	2530
Tabacay	Riego	2.12	0.63	Lucía Yumbra	2670
Tabacay	Riego	4.00	1.60	Horacio Gonzales	2540
Tabacay	Riego	3.62	1.81	Ricardo Guamán y otros	2570
Condoryacu	Riego	60.00	30.00	Cesar Humberto Palacios	3160
Condoryacu	Riego	35.00	6.00	Diego Vintimilla	3200
Condoryacu	Riego	20.00	6.00	Galo Córdova	2980
Total			101.04		

**Fuente:** Plan de manejo de la microcuenca

EMAPAL ha ampliado el sistema hidráulico con estructuras de captación en la confluencia de las quebradas Condoryacu y Rosario y en las quebradas Nudpud y Llaucay aguas abajo de las captaciones actuales.

### **2.7.2. Población y contaminación del agua del río Tabacay.**

Como bien se sabe, la población se beneficia directa o indirectamente de los recursos de la microcuenca, esto ha provocado una constante degradación de los recursos naturales especialmente de las fuentes hídricas.

Los moradores del sector perciben la contaminación que existe en la microcuenca siendo más notoria esta degradación en las zonas bajas, ya que en las partes altas es más difícil percibir si existe o no algún tipo de contaminación.

Las causas evidentes de contaminación para los pobladores son:

- Vertidos directos de aguas residuales por falta de sistemas de alcantarillado.
- Falta de plantas de tratamiento para las zonas donde existe alcantarillado.
- Contaminación por actividades ganaderas cerca de los ríos.
- Contaminación por prácticas agrícolas.
- Otros tipos de contaminación (fábricas de quesos, acopios de leche, granjas porcinas, etc.).

De acuerdo al Plan de manejo de la microcuenca realizado por EMAPAL (2003) la problemática ambiental del recurso agua se ha manejado bajo un contexto diferenciado, teniendo como resultado una división de la microcuenca en tres zonas.

La zona baja presenta una densidad poblacional mayor, esto hace que sean los mayores consumidores de este recurso y el desorganizado crecimiento urbanístico ha hecho que no cuenten con las adecuadas obras de infraestructura para el saneamiento, por lo cual la producción de aguas servidas es evacuada directamente a través del drenaje natural de la cuenca ocasionando la contaminación del río Tabacay y posteriormente del río Burgay que cruza por Azogues. (p.69)

En la zona media la mayor parte del recurso es utilizado para el riego de los pastizales que sirven de alimento para el ganado, aquí la contaminación es provocada en mayor medida por la escorrentía que llega al río arrastrando los excrementos del ganado. También existe una gran carga de sedimento que acarrea consigo la escorrentía por la eliminación de la capa vegetal para la expansión de la frontera agrícola y ganadera. (p.69)

En la parte alta de la cuenca, la problemática está relacionada directamente con la producción de agua por el uso indiscriminado de los suelos en los páramos, ya que

estos funcionan como agentes reguladores hídricos de los Andes. El uso de estos suelos para la agricultura usando técnicas de arado que rompen la estructura del suelo y la introducción de especies exóticas hacen que el suelo pierda la capacidad de almacenar agua y por ende haya una disminución en los caudales en época de verano. (p.69 - 70)

## CAPITULO III

### 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Materiales y métodos

Para el desarrollo de esta investigación se analizan dos de las cuatro quebradas que tienen captaciones de agua para la planta de potabilización, Llaucay y Condoryacu. La primera por presentar un mayor grado de contaminación y la segunda por tener menor contaminación.

La metodología de trabajo que se utiliza en esta investigación sigue una serie de procedimientos que involucran trabajo de campo para la recogida de información y verificación de ésta, y posteriormente determinar las constantes cinéticas físicas y biológicas.

#### 3.2. Trabajo de campo

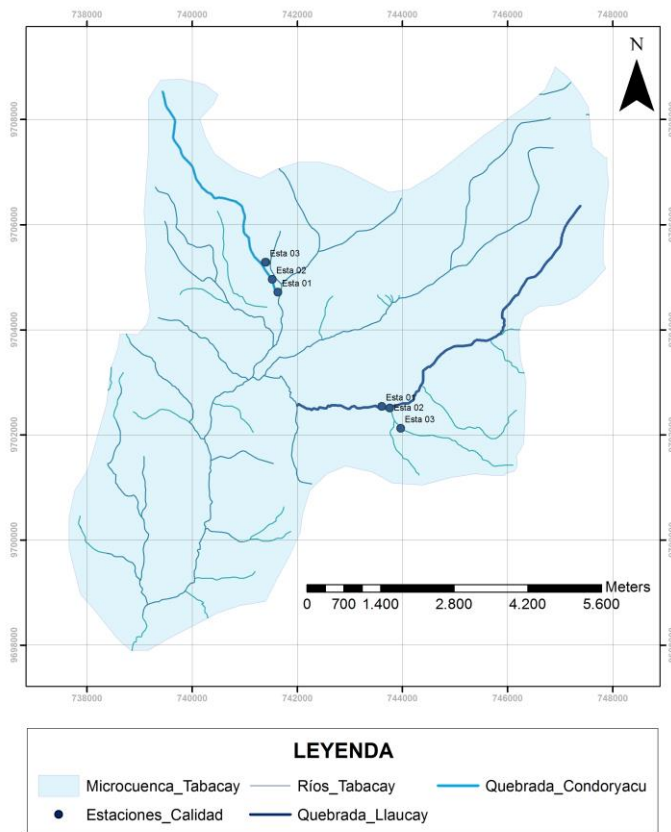
##### 3.2.1. Ubicación de estaciones de calidad.

Las quebradas principales son alimentadas por una red de quebradas con caudales pequeños pero que contienen vertidos directos de aguas residuales domésticas, de agricultura y que recogen escorrentía de tierras dedicadas a la agricultura y la ganadería.

Además, existen fábricas de queso artesanal que no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales por lo que vierten directamente en las fuentes hídricas, aportando cantidades considerables de contaminantes.

De acuerdo a lo anterior, se ubicaron tres estaciones de calidad en cada quebrada para un posterior monitoreo, la estación 3 está ubicada en la parte alta, la estación 2 en la parte media y la estación 1 en la captación de agua, considerando espacios estratégicos donde la información que nos proporcione cada estación sea lo que realmente está sucediendo; fueron georreferenciadas y validadas sus características hidráulicas como: velocidad media y caudal, al igual que las características geométricas como ancho, profundidad y área transversal.

En la figura 11 se presenta los puntos de la red de calidad establecida en las dos quebradas, y en la tabla 2 se muestra la información sobre los puntos de muestreo.



**Figura 10:** Localización de la red de calidad en las quebradas Condoryacu y Llaucay

**Fuente:** Instituto Geográfico Militar (IGM)

**Elaboración:** Propia

**Tabla 4:** Información geográfica de las estaciones de monitoreo de calidad

Nombre	Estación	X UTM	Y UTM	Altitud (m)
Llaucay	1	743597	9702538	2882
	2	743764	9702514	2884
	3	743955	9702125	2769
Condoryacu	1	741638	9704709	2919
	2	741503	9704963	2945
	3	741408	9705297	2982

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.2. Determinación de parámetros insitu.

Existen parámetros que requieren ser tomados en la zona de estudio para no alterar los resultados durante su transporte hacia el lugar de trabajo. La Temperatura del agua es una característica física y se la debe tomar insitu con la ayuda de un termómetro manual, de la misma manera para el pH con un pH-metro.

### 3.2.3. Método para medición de caudales.

El caudal hace referencia al volumen de agua que circula por un área dada en una unidad de tiempo, y sus unidades de medida son (m<sup>3</sup>/s). La medición del caudal en un río, quebrada o canal de conducción es una herramienta necesaria e importante para entender el comportamiento hidrológico de una cuenca y de esta manera poder realizar una correcta gestión del recurso.

Un método sencillo y práctico para estimar el caudal de agua que pasa por una sección transversal del río es el método del flotador, para el cual se utilizan objetos flotantes que sean lo suficientemente pesados como para sumergirse parcialmente pero a la vez lo suficientemente livianos como para no hundirse y de esta manera poder moverse a la misma velocidad del agua.

#### 3.2.3.1. Procedimiento.

1. Seleccionar en el río un tramo uniforme, sin piedras grandes ni troncos que impidan el libre flujo del agua.
2. En el tramo seleccionado ubicar dos puntos, A (de inicio) y B (de llegada) y medir la distancia.
3. Medir el ancho del río
4. Determinar secciones transversales equidistantes a lo ancho del río y medir la profundidad de cada una utilizando flexómetro y regla graduada.
5. Colocar el objeto flotante en el punto A y tomar el tiempo de recorrido hasta el punto B.

Con los datos tomados de tiempo de recorrido y profundidad se calcula el promedio de cada uno para realizar los posteriores cálculos.

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

- Velocidad (m/s)

$$v = \frac{L}{t} \quad (19)$$

Donde:

L : longitud del tramo (A-B)

t : tiempo promedio de recorrido del flotador

- Área transversal (m<sup>2</sup>)

$$At = a * Pp \quad (20)$$

Donde:

a : ancho del río

Pp : Profundidad promedio

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

$$Q = v * At \quad (21)$$

Donde:

v : velocidad

At : área transversal

El método del flotador no es un método exacto pero es útil para tener una idea general del caudal del río, para lo cual se asume que la velocidad del agua en un río puede ser representada por la velocidad superficial de la misma.

#### **3.2.4. Toma de muestras de agua.**

La toma de muestras se realiza en cada una de las estaciones de calidad establecidas anteriormente, para lo cual es preciso considerar diversos factores; tales como:

- Temperatura del agua.
- Profundidad y ancho de la lámina de agua.
- Caudal del flujo.

Para tomar las muestras de agua es necesario el ingreso de una persona dentro del río, procurando no remover el fondo y evitando las zonas de estancamiento. Posteriormente se procede a tomar la muestra como recomienda la técnica para ríos<sup>5</sup>, etiquetar y almacenar en un cooler para evitar que los parámetros se alteren hasta llegar al laboratorio.

---

<sup>5</sup> Para tomar una muestra de agua de un río se sujetará el frasco por el fondo en posición invertida, sumergiéndolo completamente y dándole la vuelta en sentido contrario a la corriente.



**Figura 11:** Toma de muestras para el análisis del parámetro DBO<sub>5</sub> en la quebrada Condoryacu, estación 01.

**Fuente:** Elaboración propia

El número de muestras y el volumen dependen de los parámetros a medir, generalmente el volumen oscila entre los 500 y 1000 ml. Para el desarrollo de este estudio se tomaron dos muestras en cada estación, las mismas que servirán para los respectivos análisis de calidad; así mismo, es importante considerar que los envases cumplan con características particulares para realizar las diferentes analíticas y así no alterar los resultados.

- Botella plástica color blanco: la muestra tomada en este envase se utilizará para medir parámetros como pH, oxígeno disuelto, nitratos y sólidos suspendidos.
- Botella de vidrio color ámbar: esta muestra será utilizada para medir DBO<sub>5</sub>.

### 3.3. Determinación de constantes cinéticas

#### 3.3.1. Degradación de materia orgánica.

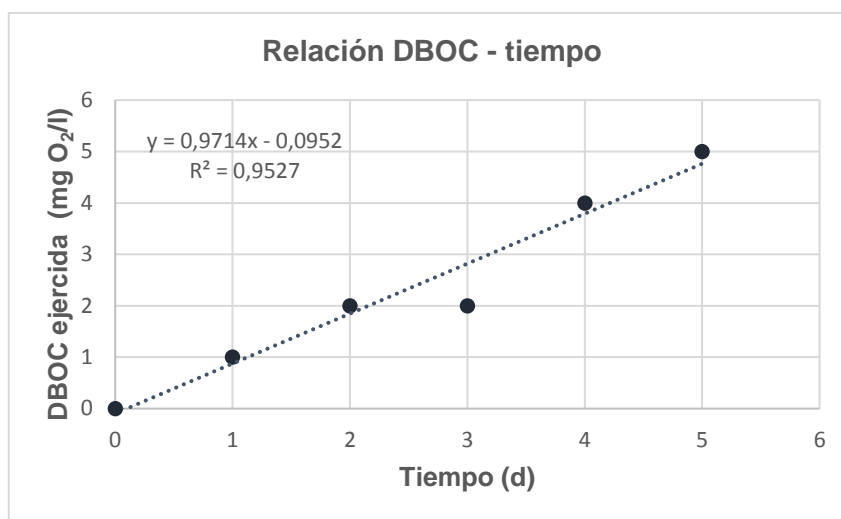
Para determinar el valor de la constante de degradación de materia orgánica carbonosa se parte de los datos de DBO medidos en distintos períodos de tiempo (5 días) respectivamente, como se observa en la tabla 3.

**Tabla 5:** Valores de DBOC medidos en el laboratorio

Datos de laboratorio	
Tiempo (días)	DBOC (mg O <sub>2</sub> /L)
0	0
1	1
2	2
3	2
4	4
5	5

**Fuente:** Elaboración propia

De los datos obtenidos se puede modelar su comportamiento utilizando una regresión lineal ya que es imposible ajustarlo a un modelo exponencial, debido a la baja concentración de materia orgánica que presenta la muestra de agua.



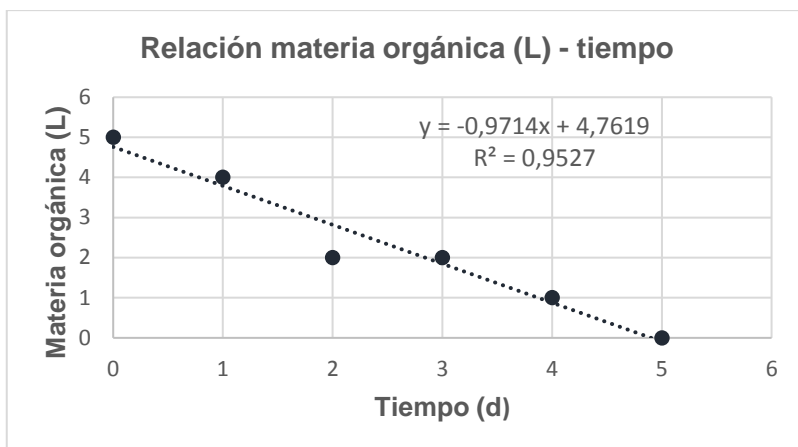
**Figura 12:** Evolución de la DBOC en función del tiempo

**Fuente:** Elaboración propia

La Figura 12 muestra la evolución de la DBOC en función del tiempo, observándose la tasa de cambio constante a lo largo de la recta de regresión. Estos cambios reflejan la variación de la velocidad de estabilización de la muestra, la cual queda determinada como la pendiente de la recta en cada uno de sus puntos ( $dy/dt$ ).

El cambio progresivo en la velocidad de estabilización de la materia orgánica está asociada a la biodegradabilidad de los compuestos presentes, ya que los compuestos más fáciles de biodegradar se oxidan en los primeros días de incubación, con una mayor velocidad, quedando como remanente aquellos compuestos difíciles de degradar por la acción microbiana.

El proceso contrario ocurre con la materia orgánica remanente, en este caso, el día cero será donde mayor cantidad de materia orgánica exista; llevándose a cabo una degradación progresiva a medida que pasan los días y la relación queda representada como ( $-dL/dt$ ), como se ve en la figura 13.



**Figura 13:** Evolución de la materia orgánica (L) en función del tiempo

**Fuente:** Elaboración propia

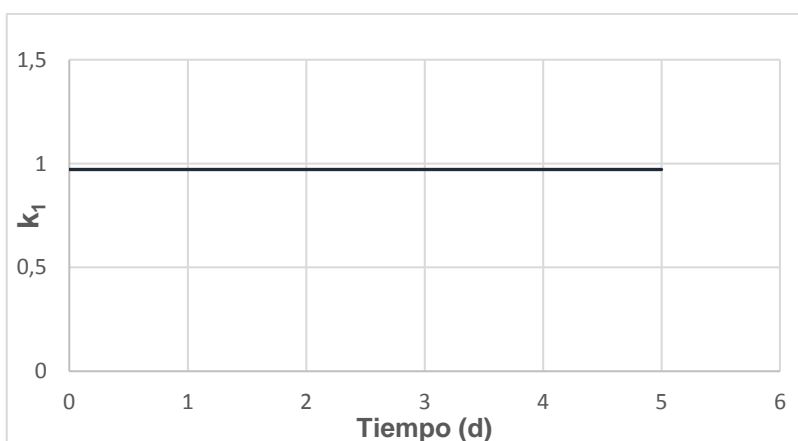
Para conocer la velocidad de degradación se obtuvo la pendiente del tramo con pendiente constante, los resultados se muestran en la tabla 4.

**Tabla 6:** Velocidad de degradación de la materia orgánica

Pendiente	-0,9714
Intersección eje	4,7619
R <sup>2</sup>	0,9527
Constantes de degradación (k <sub>1</sub> )	-0,9714

**Fuente:** Elaboración propia

Graficando la constante quedaría como:



**Figura 14:** Constante de degradación de materia orgánica por día.

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en el gráfico la constante de degradación de materia orgánica está determinada por una reacción de orden cero, ya que cada día se degrada 0,9714 (mg/l d).

### 3.3.2. Nitrificación.

La nitrificación es el proceso biológico que convierte amonio a nitrito y posteriormente a nitrato. La velocidad de nitrificación depende de factores ambientales tales como temperatura, pH, y concentración de sustratos.

Para determinar la constante de nitrificación, al igual que la constante de degradación de materia orgánica se parte de los datos medidos en el laboratorio.

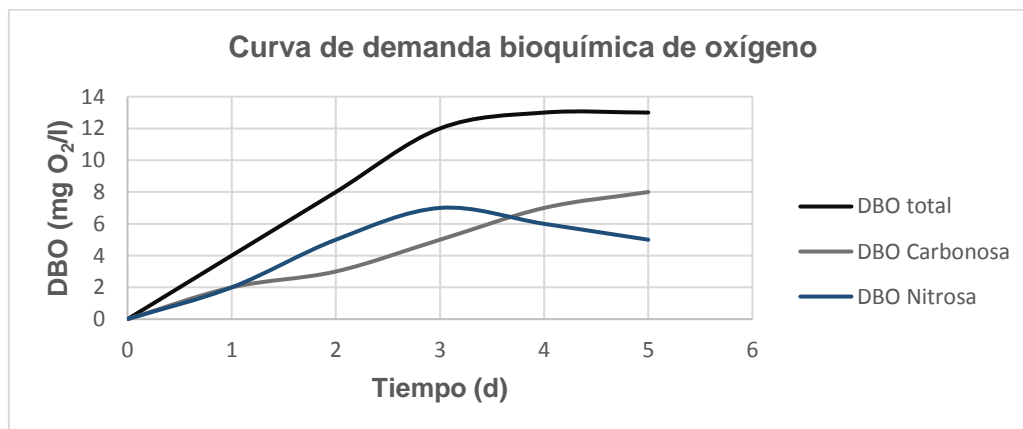
Como se mencionó anteriormente, en una muestra de agua al añadir un agente inhibidor del crecimiento de las bacterias nitrificantes se obtiene únicamente valores de la DBOC. Si paralelamente se determina la DBO sin inhibidor, la DBON se puede obtener por diferencia como se aprecia en la tabla 5.

**Tabla 7:** Demanda bioquímica de oxígeno carbonosa y nitrosa

Datos de laboratorio			
Días	DBO total	DBO Carbonosa	DBO Nitrosa
0	0	0	0
1	4	2	2
2	8	3	5
3	12	5	7
4	13	7	6
5	13	8	5

Fuente: Elaboración propia

Graficando quedaría así:

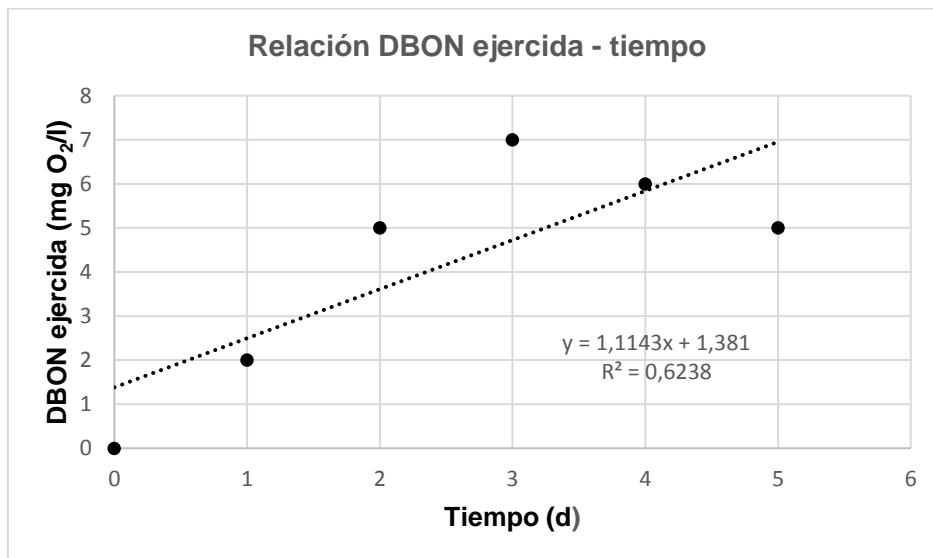


**Figura 15:** Curva de demanda bioquímica de oxígeno en el proceso de degradación de materia orgánica carbonácea y nitrogenada.

Fuente: Elaboración propia

El procedimiento para el cálculo de la constante de nitrificación será el mismo que para la constante de degradación de materia orgánica.

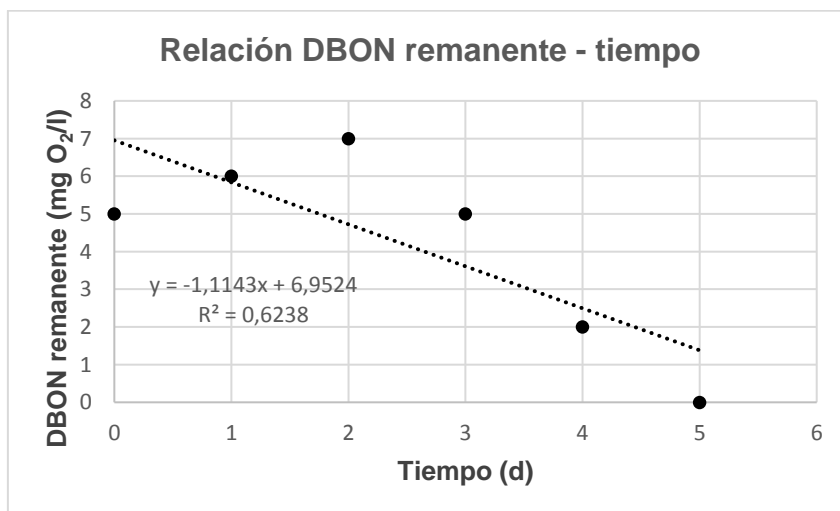
A partir de los datos obtenidos en el laboratorio se modela su comportamiento utilizando una regresión lineal, la cual representa la DBON ejercida, es decir, el consumo de oxígeno por parte de las bacterias nitrificantes en el proceso de transformación de amonio a nitrito y nitrato; como se aprecia en la figura 16.



**Figura 16:** Consumo de oxígeno en la degradación de compuestos nitrogenados.

**Fuente:** Elaboración propia

El proceso contrario ocurre con la DBON remanente, en la cual el día cero será donde mayor concentración de amonio se encuentre; llevándose a cabo una degradación progresiva a medida que pasan los días, figura 17.



**Figura 17:** Concentración de amonio en el tiempo

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.3. Velocidad de sedimentación.

Se define como "sedimentación" al proceso natural por el cual las partículas en suspensión son removidas por la acción de la gravedad.

#### 3.3.3.1. *Determinación experimental de la velocidad de sedimentación.*

Para realizar esta prueba se tomaron dos muestras de agua en cada quebrada, procurando que la muestra sea lo más representativa y homogénea posible.

En el laboratorio se determinó la velocidad de caída de las partículas mediante una prueba de sedimentación discontinua, conociendo su concentración previamente. La forma de operar con cada una de las probetas es la siguiente:

1. En una probeta de volumen conocido acoplar una regla, la misma que servirá para medir la variación de alturas del sedimento.
2. Agitar la muestra y colocar en la probeta.



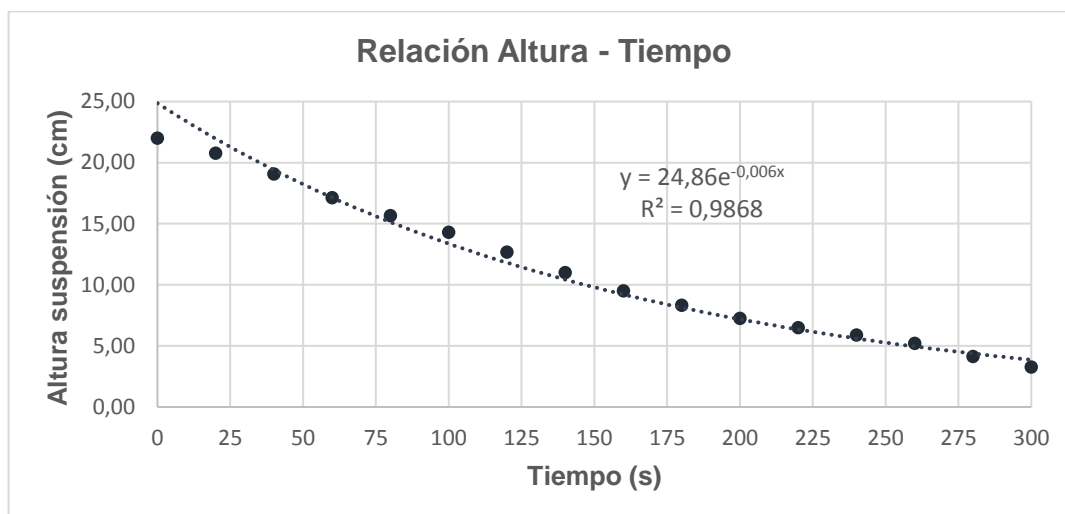
**Figura 18:** Muestra de agua añadida a la probeta

**Fuente:** Elaboración propia

3. Medir la altura inicial de la suspensión usando la regla
4. Dejar la suspensión en reposo y medir la altura que ocupa en función del tiempo, tomando para ello medidas de la altura cada veinte segundos hasta que las partículas lleguen al suelo.

Este procedimiento se realizó para las dos muestras de cada quebrada con tres repeticiones cada una, y así obtener una mayor cantidad de datos y disminuir el rango de error.

De los datos obtenidos promediar y modelar su comportamiento utilizando una regresión exponencial como se ve en la figura 27.



**Figura 19:** Altura de la suspensión con respecto al tiempo

**Fuente:** Elaboración propia

La Figura 27 muestra el descenso de las partículas en función del tiempo, observándose la tasa de cambio constante a lo largo de la regresión. Estos cambios reflejan la variación de la velocidad de estabilización de la muestra, la cual queda determinada como la pendiente del tramo en cada uno de sus puntos ( $dy/dt$ ).

A partir de la ecuación de la gráfica se obtuvo la pendiente en cada uno de los puntos para conocer la velocidad de sedimentación, los resultados se muestran en la tabla 7.

**Tabla 8:** Velocidad de sedimentación en cada uno de los puntos

Tiempo (s)	Exponencial		
	$dy/dt$ (cm/s)	absoluto	Vs (cm/h)
0,00	0,0000	0,0000	0,00
20,00	-0,1125	0,1125	404,96
40,00	-0,1018	0,1018	366,42
60,00	-0,0921	0,0921	331,55
80,00	-0,0833	0,0833	300,00
100,00	-0,0754	0,0754	271,45
120,00	-0,0682	0,0682	245,62
140,00	-0,0617	0,0617	222,25
160,00	-0,0559	0,0559	201,10
180,00	-0,0505	0,0505	181,96
200,00	-0,0457	0,0457	164,65
220,00	-0,0414	0,0414	148,98
240,00	-0,0374	0,0374	134,80

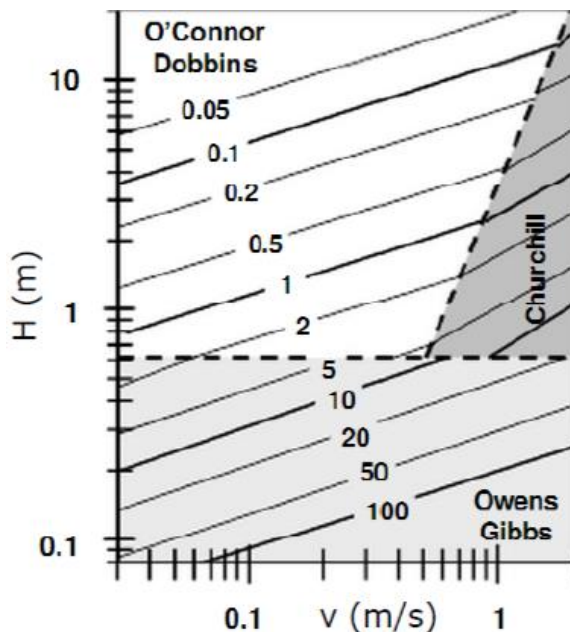
260,00	-0,0339	0,0339	121,97
280,00	-0,0307	0,0307	110,36
300,00	-0,0277	0,0277	99,86
<b>PROMEDIO</b>			<b>206,62</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4. Reaireación.

Las constantes de reaireación miden la velocidad con la que un cuerpo de agua toma el oxígeno de la atmósfera para restaurar el déficit de oxígeno disuelto, ocasionado por el proceso de degradación de materia orgánica; hasta llegar nuevamente al equilibrio. Estas constantes pueden ser determinadas mediante ecuaciones empíricas o mediante fórmulas predictivas que correlacionan propiedades hidráulicas de la corriente, como calado (H) y velocidad del agua (v); entre las cuales se pueden nombrar a: O'Connor - Dobbins (1996), Churchill (1962) y Owens - Gibbs (1964).

Siguiendo el método Covar, la relación calado y velocidad del agua determinan la fórmula a emplear para obtener la velocidad de reaireación; como se puede apreciar en la figura 18:



**Figura 20:** Determinación de la constante de reaireación por el método Covar para ríos.

Fuente: (Chapra, 1997)

Según este método se tiene que:

- Si  $H \leq 0,61\text{m}$  → Owens – Gibbs
- Si  $H > 0,61\text{m}$ 
  - Si  $H > 3,45 * v^{2.5} \text{ m}$  → O'Connor - Dobbins
  - Si  $H < 3,45 * v^{2.5} \text{ m}$  → Churchill

Ríos:

Fórmula	$k'_2$ a 20°C (d <sup>-1</sup> )
O'Connor-Dobbins	$3.93 \frac{v^{0.5}}{H^{1.5}}$
Churchill	$5.026 \frac{v}{H^{1.67}}$
Owens-Gibbs	$5.32 \frac{v^{0.67}}{H^{1.85}}$

Velocidad:  $v$  (m/s) y calado:  $H$  (m)

**Figura 21:** Fórmulas a emplear para la determinación de la constante de reaeración, siguiendo el método Covar.

**Fuente:** (Chapra, 1997)

De acuerdo al calado que presentan los ríos en estudio se toma la opción de Owens Gibbs para determinar las constantes de reaeración.

## CAPITULO IV

### 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 4.1. Análisis de calidad del agua de la zona en estudio

Para el desarrollo de esta investigación se analizaron parámetros específicos que determinan la calidad del agua, y que, de acuerdo a los valores obtenidos se puede establecer el nivel de alteración que presenta y determinar la velocidad con la que son eliminados del sistema. Estos parámetros son: DBO<sub>5</sub>, Oxígeno disuelto, Nitrógeno y sólidos suspendidos.

Las variaciones climáticas influyen en el comportamiento de los parámetros pudiendo aumentar o disminuir su concentración, por lo cual es importante conocer cuáles son las condiciones del medio durante el estudio. Generalmente en la región sierra las estaciones están marcadas por un periodo lluvioso que abarca los meses de noviembre a abril y un periodo seco desde mayo a octubre.

El estudio se realizó durante los meses de septiembre, noviembre, diciembre y febrero lo cual nos permitirá observar si hay algún cambio significativo.

A continuación se detallan cada uno de los constituyentes de la red de calidad, de su evolución espacial y del grado de impacto que presentan cada uno de ellos en las diferentes quebradas y estaciones.

##### 4.1.1. Materia orgánica y Oxígeno disuelto.

La materia orgánica y el oxígeno disuelto al ser parámetros que están estrechamente ligados es conveniente estudiarlos a la par.

La concentración de oxígeno disuelto es un indicador importante de la calidad del agua e indispensable para la respiración celular de la vida acuática y terrestre. Existen varios factores que alteran la concentración de oxígeno, uno de ellos es la presencia de materia orgánica en el agua, debido al consumo que se produce durante su degradación.

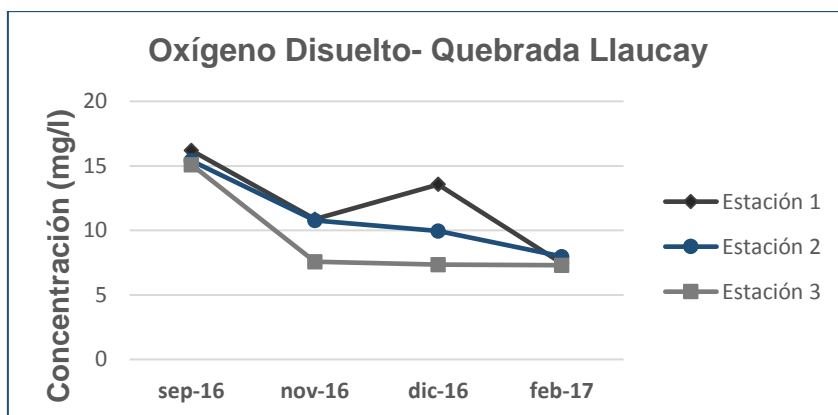
El agua de la quebrada Llaucay tiene una temperatura que oscila entre 11°C y 13°C, lo cual indica que la concentración de saturación de oxígeno debe variar entre los 10,5 mg/l y los 11 mg/l según la tabla 1. En cuanto a la quebrada Condoryacu la temperatura varía entre 8°C y 10°C, y la concentración de saturación de oxígeno entre los 11,3 mg/l y 11,8 mg/l.

De acuerdo a la altitud el oxígeno de saturación se encuentra alrededor de 6 y 6,5 mg/l.

En la figura 21 y 22 se muestra la concentración de OD para las quebradas en estudio, los valores de concentración varían entre 7 y 16 (mg/l).

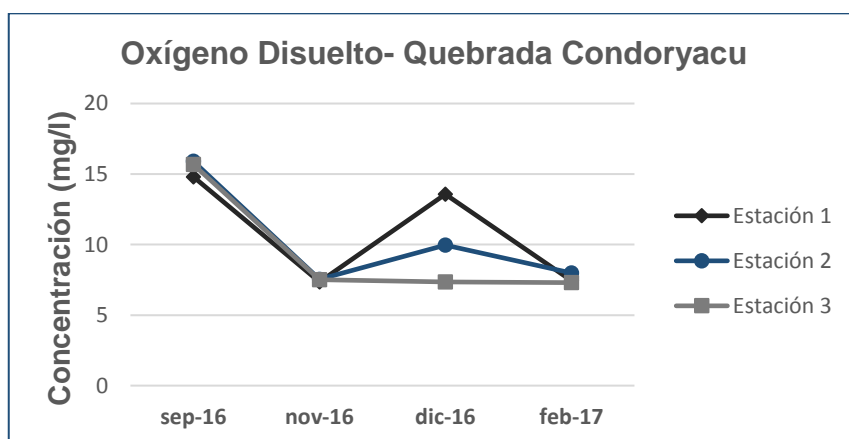
Por una parte podemos ver que hay una disminución del oxígeno de saturación que deberían tener las quebradas en estado natural, esta variación se observa en las estaciones 2 y 3 de las quebradas Llaucay y Condoryacu, durante los meses de noviembre, diciembre y febrero; esto podría ser causa en mayor medida de la degradación de materia orgánica en el agua.

Por otro lado existe una concentración alta del oxígeno disuelto en las dos quebradas en el mes de septiembre. Posterior a esto, en la estación 1 se observan variaciones significativas del OD que se encuentran lejos del nivel de saturación. Esto podría deberse a que los terrenos aledaños a las quebradas son utilizados como pastizales para la alimentación del ganado bovino y los nutrientes utilizados en la fertilización terminan en el agua circundante, esto sería la principal fuente para el desarrollo de algas en el agua y por ende aumenta la fotosíntesis durante el día. A esto se suma la gran capacidad de reaireación que presenta el recurso por las características propias de montaña.



**Figura 22:** Concentración temporal de OD en la quebrada Llaucay

**Fuente:** Elaboración propia

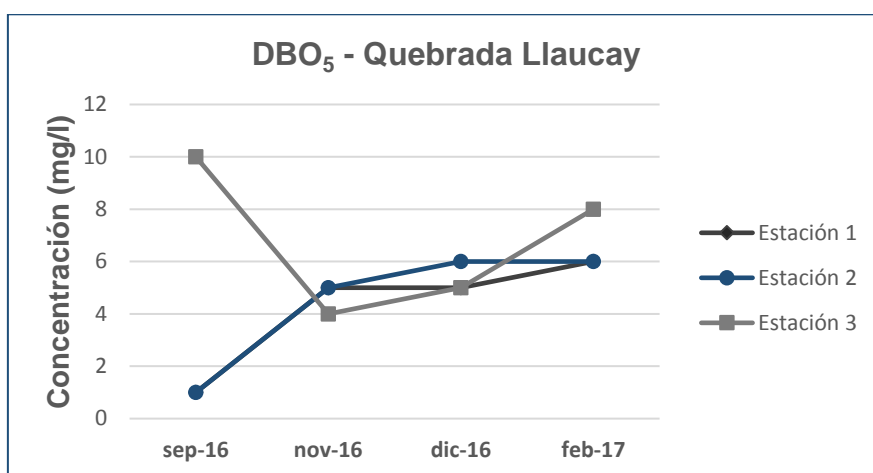


**Figura 23:** Concentración temporal de OD en la quebrada Condoryacu

**Fuente:** Elaboración propia

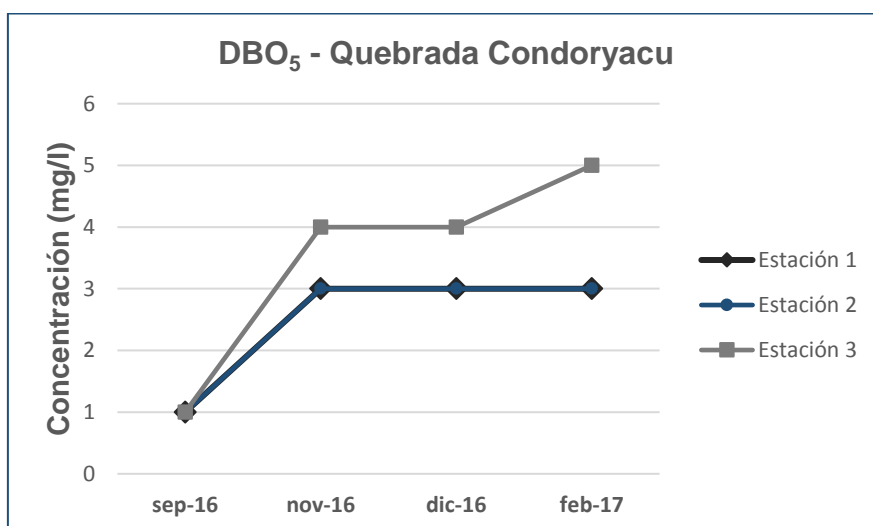
La demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) permite saber la cantidad de oxígeno consumido para degradar una cierta cantidad de materia orgánica en el agua. Los suelos de la microcuenca del río Tabacay son utilizados para la agricultura y ganadería extensiva, esto hace que las escorrentías que llegan hasta el flujo de agua lleven consigo una gran cantidad materia orgánica aumentando la concentración de su estado natural.

En la figura 23 y 24 se observan los valores de DBO<sub>5</sub> para las quebradas Llaucay y Condoryacu, los cuales varían entre 1 y 10 (mg/l). Las concentraciones de materia orgánica se encuentran por encima de los rangos propios de sistemas naturales sin influencia antrópica y que de acuerdo al TULSMA el límite máximo permisible para agua de consumo humano es de 2 (mg/l).



**Figura 24:** Concentración temporal de DBO<sub>5</sub> en la quebrada Llaucay

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 25:** Concentración temporal de DBO<sub>5</sub> en la red de calidad de la quebrada Llaucay.

**Fuente:** Elaboración propia

Se puede ver un evidente incremento de la materia orgánica en los diferentes puntos de muestreo, sobresaliendo este nivel en la estación 3 de la quebrada Llaucay.

Este incremento se puede apreciar a partir del segundo mes de muestreo, esta variación puede ser debida a que en los meses de noviembre, diciembre y febrero empieza la época de lluvias por lo cual la escorrentía producida por las precipitaciones lava el suelo y transporta estos materiales hasta el flujo principal que son las quebradas.

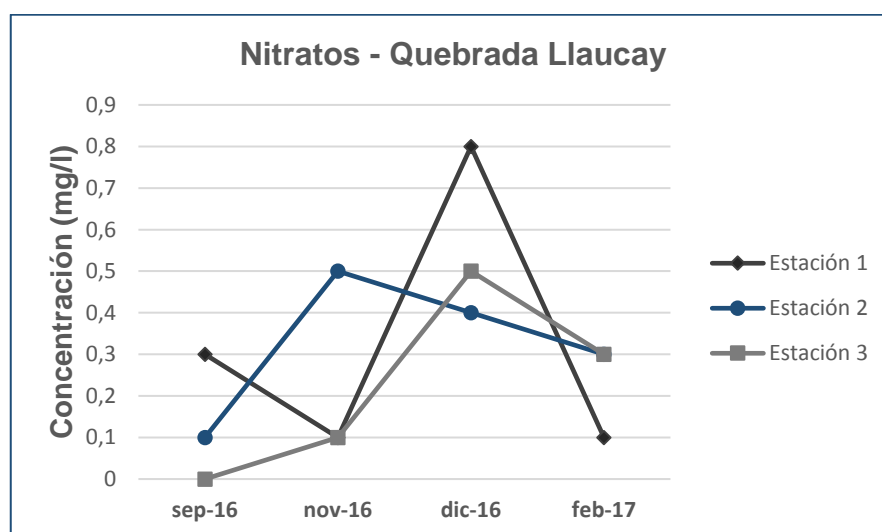
Analizando los resultados de OD y materia orgánica se puede apreciar que, al aumentar la concentración de materia orgánica el contenido de oxígeno disuelto tiende a bajar y viceversa.

#### 4.1.2. Nitrógeno.

El nitrógeno es un nutriente fundamental para el desarrollo de la vida acuática y se encuentra en grandes cantidades en el ambiente como nitrógeno gas ( $N_2$ ). El ciclo del nitrógeno permite que este se convierta en especies asimilables para los seres vivos como amonio, nitritos y nitratos.

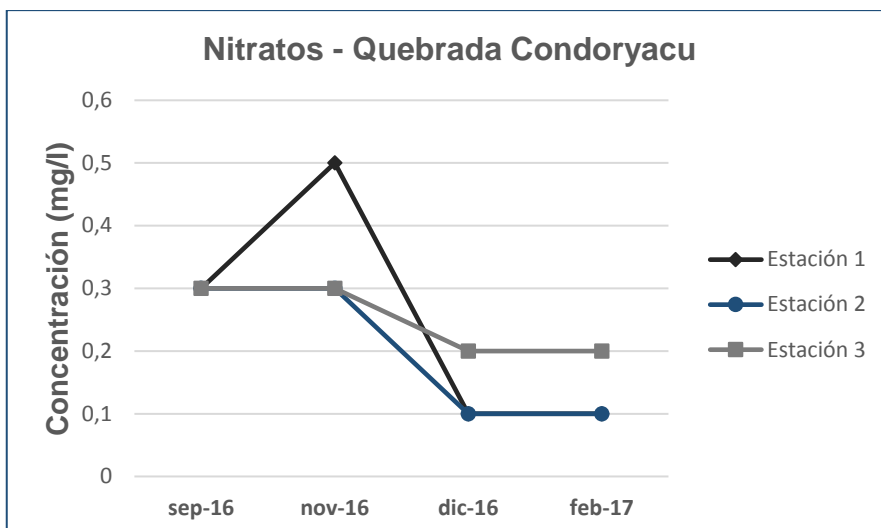
En medios acuáticos en estado natural el nitrógeno proviene de la descomposición de la materia orgánica, mientras que, en condiciones del medio alteradas los aportes adicionales de nitrógeno proceden mayoritariamente de los vertidos urbanos y de fertilizantes y pesticidas utilizados en la agricultura, para luego mineralizarse a amonio y posteriormente a nitrito y nitrato.

En la figura 25 y 26 se presenta la concentración de nitratos en las quebradas Llaucay y Condoryacu. Como se puede observar las concentraciones se encuentran por debajo de los límites establecidos por las normas de calidad (OMS 50 mg/l y TULSMA 10 mg/l), por lo que no representan un problema para el suministro de agua potable.



**Figura 26:** Concentración de nitratos en la quebrada Llaucay

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 27:** Concentración de nitratos en la quebrada Condoryacu

**Fuente:** Elaboración propia

A pesar de que el suelo es utilizado para la agricultura y ganadería extensiva no se encuentran concentraciones significantes de nitratos en la red de calidad establecida.

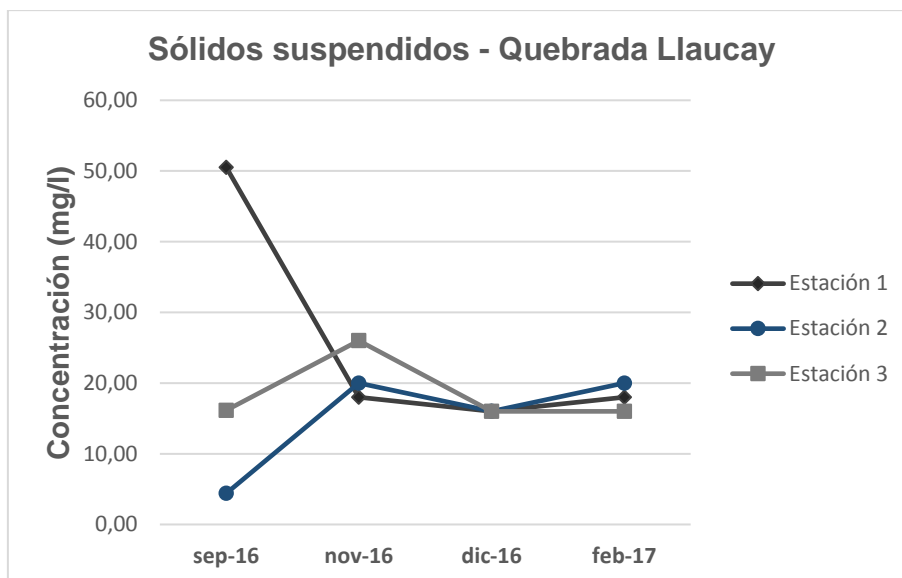
#### 4.1.3. Sólidos suspendidos.

La concentración de sólidos es uno de los parámetros que determinan la calidad del agua y varía de acuerdo al uso que se le vaya a dar, se debe tener mayor cuidado especialmente para consumo humano; la concentración puede variar de acuerdo al lugar de procedencia y destino.

El conocimiento de la carga de sedimentos es de gran importancia económica para poder predecir problemas futuros en presas y embalses aguas abajo.

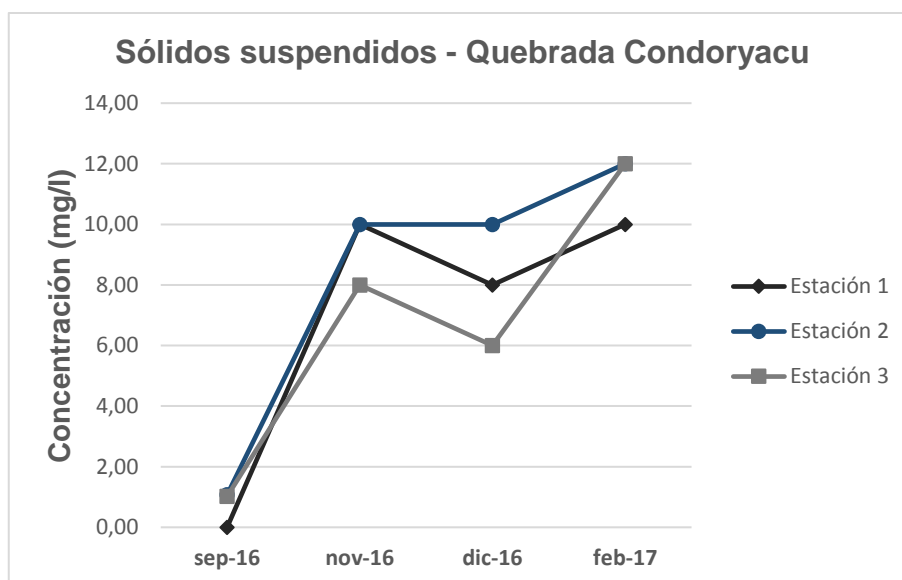
En la microcuenca del río Tabacay es trascendental el estudio de los sólidos debido a que presentan áreas deforestadas para labores agrícolas y pecuarias, lo cual provoca que durante las precipitaciones la escorrentía transporte una mayor cantidad de sólidos hacia los ríos.

En la figura 28 y 29 se muestra la concentración de sólidos suspendidos para la quebrada Llaucay y Condoryacu.



**Figura 28:** Concentración de sólidos suspendidos en la quebrada Llaucay

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 29:** Concentración de sólidos suspendidos en la quebrada Llaucay

**Fuente:** Elaboración propia

La quebrada Llaucay a diferencia de la quebrada Condoryacu presenta una mayor concentración de sólidos en las tres estaciones, sin embargo todos se encuentran por debajo del límite permisible. A excepción de la estación 1 de la quebrada Llaucay en el mes de septiembre, en el que la concentración de sólidos es elevada, sobrepasando el límite establecido en la normativa de calidad según la Directiva Marco del Agua; esta normativa se toma como referencia debido a que en la legislación ecuatoriana no existe un límite máximo permisible de sólidos suspendidos.

## 4.2. Resultados

En este apartado se indican los resultados obtenidos para cada una de las quebradas en estudio.

### 4.2.1. Caudal.

Se han realizado mediciones del caudal en las tres estaciones que forman la red de calidad, en las quebradas Llaucay y Condoryacu; estos resultados se presentan en la tabla 8.

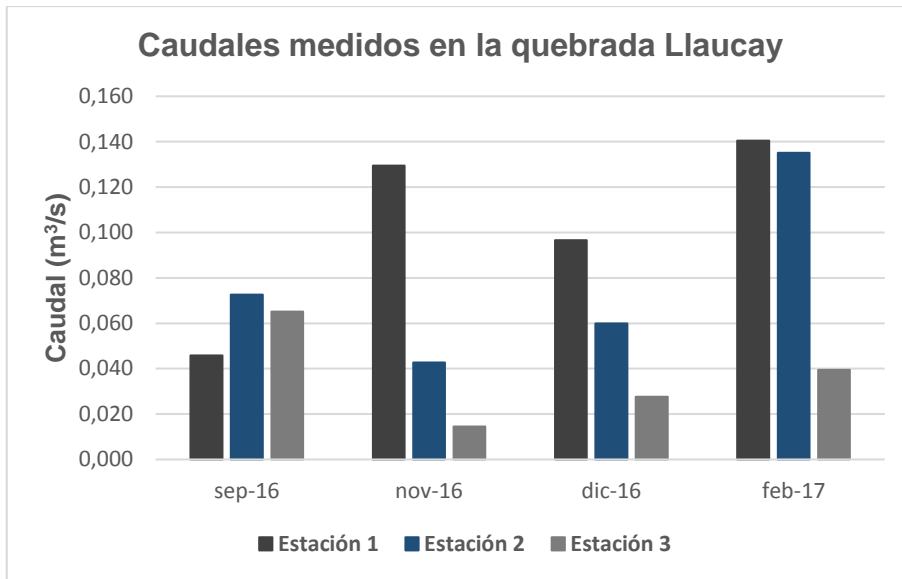
**Tabla 9:** Caudales obtenidos en las estaciones de calidad de las quebradas Llaucay y Condoryacu

Fecha	LLAUCAY				CONDORYACU			
	Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)				Caudal Q (m <sup>3</sup> /s)			
	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Promedio Quebrada	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Promedio Quebrada
sep-16	0,046	0,073	0,065	0,061	0,115	0,077	0,098	0,097
nov-16	0,129	0,043	0,014	0,062	0,036	0,067	0,073	0,059
dic-16	0,097	0,060	0,028	0,061	0,057	0,039	0,058	0,051
feb-17	0,140	0,135	0,040	0,105	0,068	0,094	0,040	0,067

Fuente: Elaboración propia

El flujo de agua en la microcuenca es característico de ríos de montaña en la Región Sierra ecuatoriana, estos son poco caudalosos con velocidades elevadas ya que poseen poca profundidad y anchura. Los valores de caudal están por debajo de 1m<sup>3</sup>/s.

Es importante la medición de los caudales ya que de este depende la variación de la concentración de los contaminantes que ingresen al flujo y que son transportados aguas abajo. También se debe conocer que cantidad de agua está llegando a las captaciones para que la distribución a la población no se vea afectada por las actividades que se desarrollan en la microcuenca.

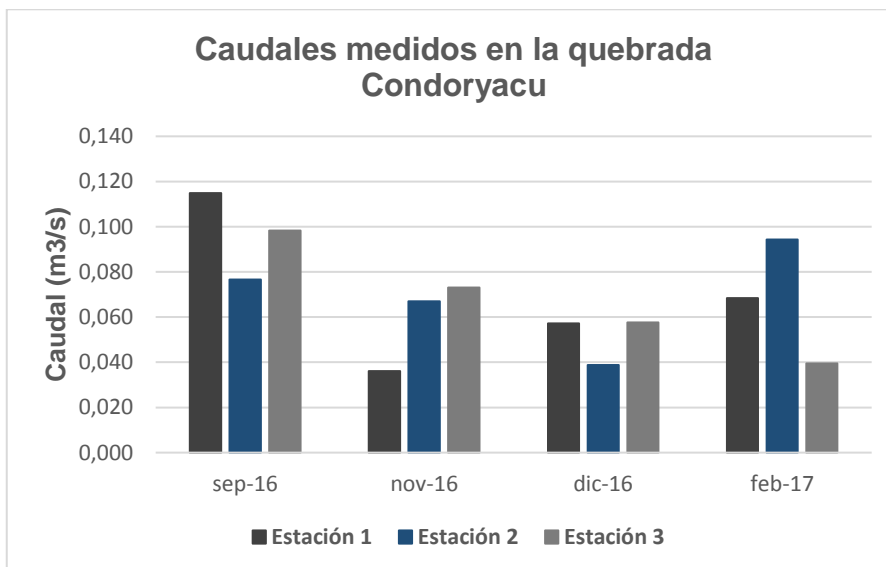


**Figura 30:** Caudales medidos en la red de calidad de la quebrada Llaucay

**Fuente:** Elaboración propia

Como se ve en la figura 29 durante el primer mes de muestreo existe una variación en el caudal en las tres estaciones, en la estación 3 y 2 hay un aumento de caudal y la estación 1 presenta una disminución por lo que se podría pensar que en este tramo hubo una extracción de agua ya sea para riego de los pastizales o para otro uso, el cual provoco la disminución del agua que llega hasta la captación.

En los últimos tres meses se puede observar que el caudal va incrementando aguas abajo hasta llegar a la captación, este aumento puede estar influenciado por descargas desde fuentes no registradas o por el aumento de precipitaciones en los meses en estudio.



**Figura 31:** Caudales medidos en la red de calidad de la quebrada Condoryacu

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 30 muestra como en la quebrada Condoryacu durante el mes de septiembre existe un mayor flujo de agua que llega a la captación, mientras que para los 3 meses siguientes existe una disminución de este; esta disminución puede ser debida a un mayor consumo que hay aguas arriba, especialmente para labores agrícolas y pecuarias.

#### 4.2.2. Degradación de materia orgánica ( $k_1$ ).

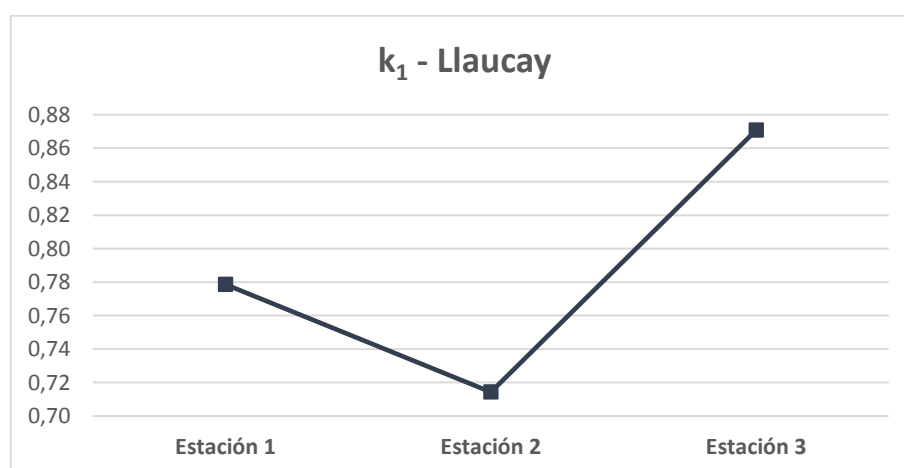
A continuación se presentan los valores obtenidos de degradación de materia orgánica para las quebradas en estudio (tabla 9).

**Tabla 10:** Valores temporales para la constante de degradación de materia orgánica

FECHA	LLAUCAY ( $k_1$ ) (mg/l d)			CONDORYACU ( $k_1$ ) (mg/l d)		
	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 1	Estación 2	Estación 3
sep-16	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
nov-16	0,97	0,97	0,97	0,71	0,60	0,74
dic-16	0,71	0,60	0,74	0,71	0,60	0,74
feb-17	1,29	1,14	1,63	0,71	0,71	1,11
<b>Promedio</b>	0,78	0,71	0,87	0,57	0,51	0,69

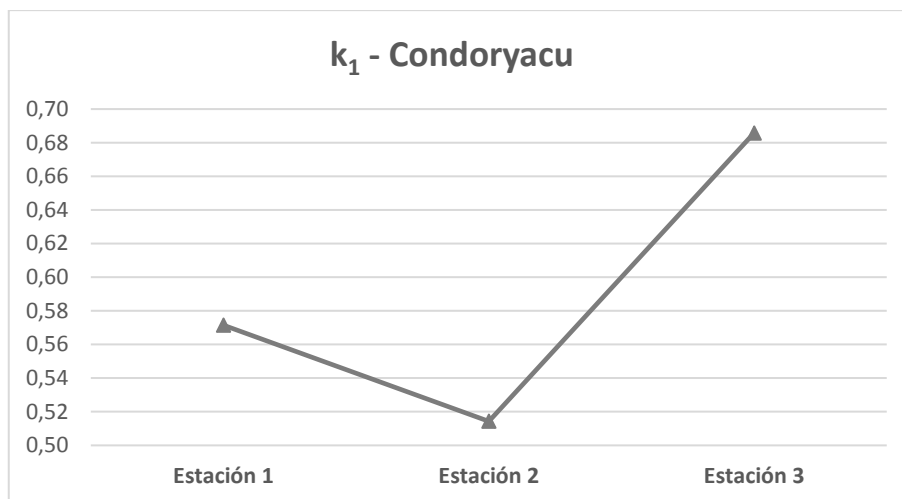
**Fuente:** Elaboración propia

Los valores se obtuvieron experimentalmente para cada una de las estaciones que forman la red de calidad, durante los cuatro meses de muestreo. Al ser medidos estos valores temporalmente en el mismo punto de la quebrada se puede obtener un valor promedio de degradación para cada estación, (figura 31 y 32).



**Figura 32:** Valores para la constante de degradación de materia orgánica en la quebrada Llaucay

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 33:** Valores para la constante de degradación de materia orgánica en la quebrada Condoryacu

**Fuente:** Elaboración propia

Con los valores determinados observamos que el rango para la degradación de materia orgánica oscila entre 0,71 y 0,87 (mg/l d) para la quebrada Llaucay. Y para la quebrada Condoryacu entre 0,51 y 0,69 (mg/l d).

Un rango para la constante de degradación de materia orgánica es 0.05-0.4 d<sup>-1</sup> (Bowie, 1985), (Matovelle Bustos, 2016). De acuerdo a esto ninguno de los valores determinados se encuentra dentro de este rango, una de las razones puede ser debido a que las concentraciones de materia orgánica no son relativamente altas y por las características del flujo hídrico la degradación de esta es inmediata.

#### 4.2.3. Reaireación (k<sub>2</sub>).

La velocidad a la que se produce la reaireación atmosférica depende del déficit de oxígeno que presente el sistema acuático. El valor de la concentración de oxígeno de saturación varía en función de la temperatura, salinidad y presión atmosférica.

Para determinar la velocidad de reaireación se partió de la velocidad de flujo y calado que presentan los ríos en estudio, mediante el método Covar con la fórmula propuesta por Owens - Gibbs, para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados (tabla 11).

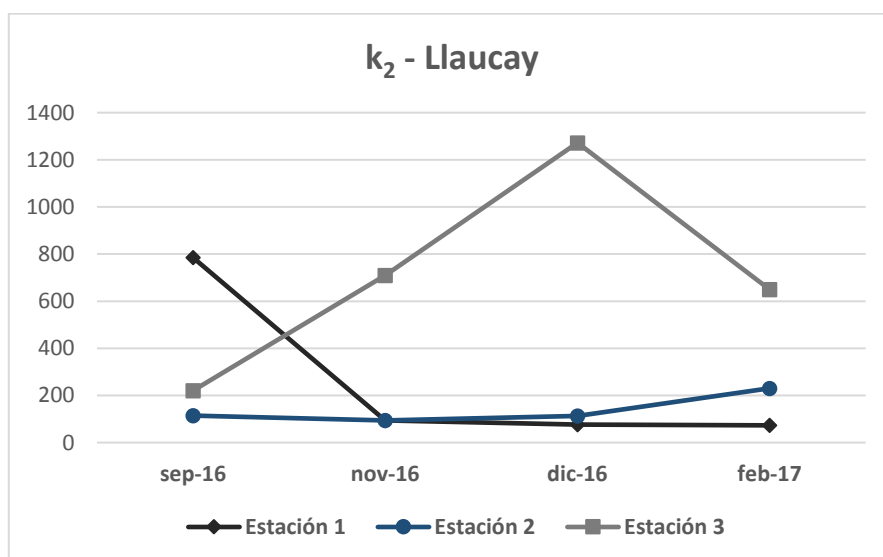
**Tabla 11:** Velocidad de reaireación en las quebradas Llaucay y Condoryacu

Tramo	Salida	Fórmula	LLAUCAY				CONDORYACU			
			v (m/s)	H (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	K <sub>2</sub>	v (m/s)	H (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	K <sub>2</sub>

<b>Estación 1</b>	1	Owens-Gibbs	0,73	0,06	0,046	784,80	0,23	0,25	0,14	25,83
	2	Owens-Gibbs	0,55	0,17	0,129	94,54	0,15	0,14	0,05	56,70
	3	Owens-Gibbs	0,4	0,17	0,097	76,38	0,25	0,16	0,07	62,36
	4	Owens-Gibbs	0,51	0,19	0,140	73,16	0,53	0,07	0,08	476,15
<b>Estación 2</b>	1	Owens-Gibbs	0,43	0,14	0,073	114,82	0,25	0,2	0,1	41,27
	2	Owens-Gibbs	0,26	0,13	0,043	94,00	0,47	0,1	0,08	227,10
	3	Owens-Gibbs	0,34	0,13	0,060	112,51	0,33	0,08	0,05	270,77
	4	Owens-Gibbs	0,48	0,10	0,135	230,33	0,45	0,08	0,12	333,31
<b>Estación 3</b>	1	Owens-Gibbs	0,45	0,10	0,065	220,58	0,3	0,19	0,12	51,27
	2	Owens-Gibbs	0,38	0,05	0,014	710,02	0,15	0,15	0,09	49,90
	3	Owens-Gibbs	0,49	0,04	0,028	1272,13	0,19	0,09	0,07	150,43
	4	Owens-Gibbs	0,55	0,06	0,040	649,19	0,55	0,06	0,05	649,19

**Fuente:** Elaboración propia

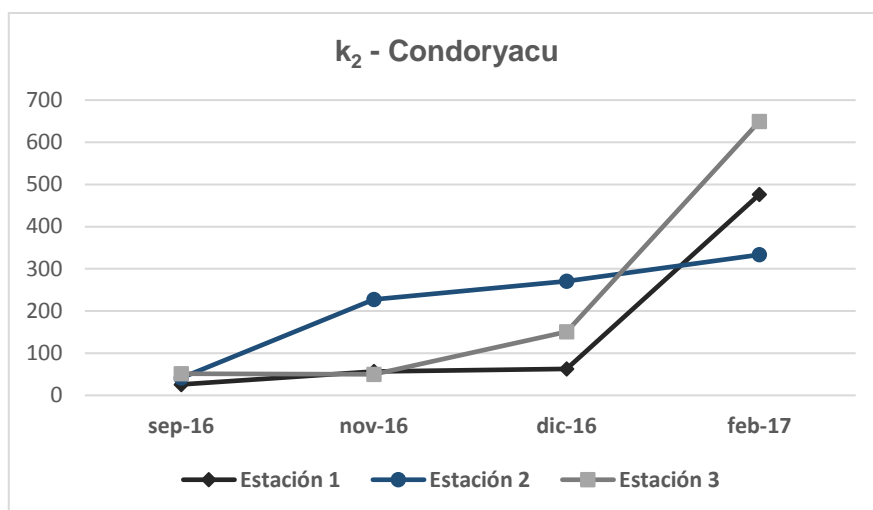
El rango de variación de la constante de reaireación varía entre 0 y 100 (SUAREZ, 1993), (Suárez, 2008). Al analizar la tabla (11) se puede observar que los valores determinados presentan datos muy por encima de los que se encuentran en la literatura, una de las razones es por la velocidad de flujo y los calados muy pequeños que presentan las quebradas.



**Figura 34:** Constantes de reaireación para la quebrada Llaucay

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 34 muestra el comportamiento de la velocidad de reaeración en la quebrada Llaucay, la estación 3 se mantiene alta durante todo el tiempo de muestreo, aguas arriba; mientras que en la estación 1 y 2 la velocidad disminuye.



**Figura 35:** Constantes de reaeración para la quebrada Condoryacu

**Fuente:** Elaboración propia

En la quebrada Condoryacu la estación 2 presenta una mayor velocidad de reaeración en el segundo y tercer mes de muestreo, mientras que en el cuarto mes esta tiende a bajar; y en la estación 1 y 3 tiende a subir la velocidad en el cuarto mes.

El flujo de agua de las quebradas en estudio presenta una gran cantidad de zonas turbulentas, lo cual permite que exista un mayor contacto entre el aire y el agua incrementando la velocidad a la que el oxígeno se disuelve.



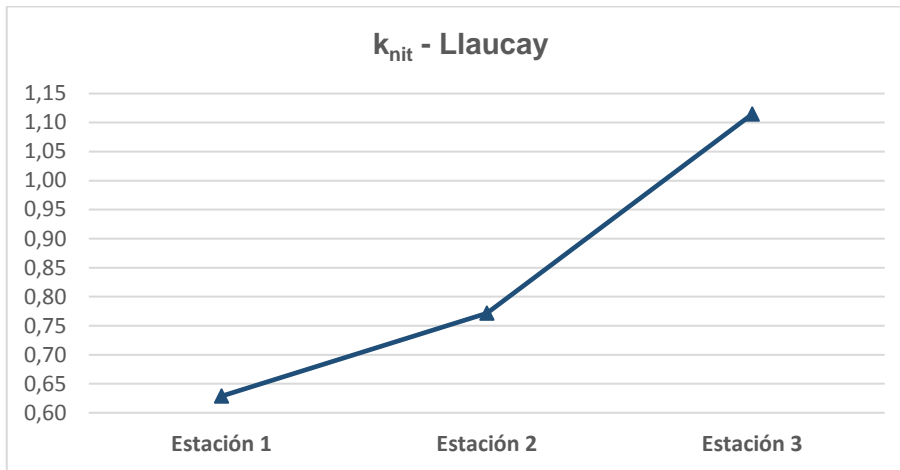
**Figura 36:** Reaeración en las quebradas de la microcuenca del Tabacay

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2.4. Nitrógeno ( $k_{nit}$ ).

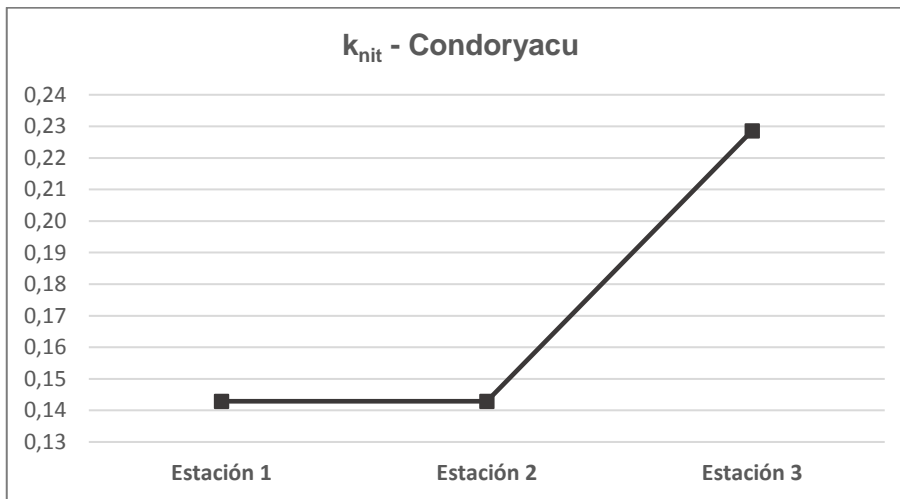
Los modelos de calidad del agua contemplan las especies de nitrógeno ya que al existir el proceso de nitrificación del amonio se consume oxígeno de la columna de agua provocando problemas de calidad.

En la figura 37 y 38 se puede observar la velocidad de nitrificación, la cual varía entre 0,63 y 1,11 (mg/l d) para la quebrada Llaucay; y entre 0,14 y 0,23 (mg/l d) para la quebrada Condoryacu.



**Figura 37:** Constantes de nitrificación para la quebrada Llaucay

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 38:** Constantes de nitrificación para la quebrada Condoryacu

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede ver la quebrada Llaucay presenta una mayor velocidad de nitrificación, para lo cual debe haber existido un mayor ingreso de amonio en la corriente de agua y al tener las condiciones necesarias para llevar a cabo la degradación aumenta la velocidad.

#### 4.2.5. Velocidad de sedimentación ( $k_s$ ).

La velocidad de sedimentación está influenciada directamente por el calado de los ríos, pudiendo variar de un lugar a otro.

**Tabla 12:** Valores de velocidad de sedimentación y calados para la quebrada Llaucay y Condoryacu

Quebrada	Vs (cm/h)	Calados H (cm)		
		Estación 1	Estación 2	Estación 3
Condoryacu	206,62	15,65	11,70	12,45
Llaucay	219,72	14,45	12,65	6,20

Fuente: Elaboración propia

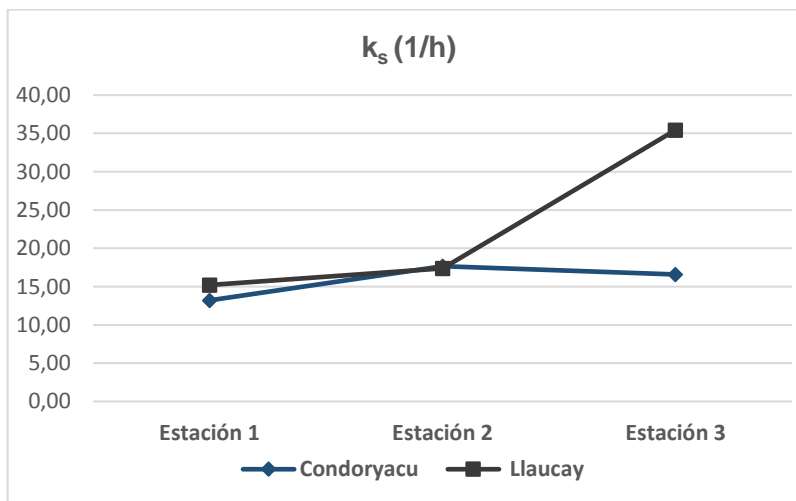
A partir del promedio de velocidad de sedimentación y calado de las quebradas, se calcula la constante de sedimentación para cada una de las estaciones.

**Tabla 13:** Constante de sedimentación para las quebradas Llaucay y Condoryacu

Quebrada	Ks (1/h)		
	Estación 1	Estación 2	Estación 3
Condoryacu	13,20	17,66	16,60
Llaucay	15,21	17,37	35,44

Fuente: Elaboración propia

Las constantes de sedimentación están representadas en la figura 39.



**Figura 39:** Comparación de las constantes de sedimentación de la quebrada Llaucay y Condoryacu

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se pueden observar los valores obtenidos de sedimentación, la cual aumenta aguas arriba en la estación 3 para las dos quebradas. Siendo más notorio en Llaucay donde existe una mayor alteración antropogénica y por ende una mayor concentración de sólidos.

### 4.3. Determinación de rangos de constantes

Luego de haber obtenido las constantes para cada una de las estaciones de calidad se determinaron los rangos que servirán para la simulación de calidad, y comprobar el aporte en la mejora del modelo, (tabla 14).

**Tabla 14:** Rangos establecidos para las constantes cinéticas físicas y biológicas de las quebradas Llaucay y Condoryacu.

RANGOS				
CONSTANTES	QUEBRADA LLAUCAY		QUEBRADA CONDORYACU	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Degradación de materia orgánica ( $k_1$ )	0,71	0,87	0,51	0,69
Velocidad de sedimentación ( $k_s$ )	15,21	35,44	13,20	17,66
Nitrificación ( $k_{nit}$ )	0,63	1,11	0,14	0,23
Reaireación ( $k_2$ )	137,91	712,98	155,26	225,20

Fuente: Elaboración propia

### 4.4. Aplicación de las constantes cinéticas en el modelo matemático Wasp

#### 4.4.1. Descripción del modelo.

El modelo WASP desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos permite analizar y predecir las respuestas de calidad de agua a los fenómenos naturales y a la contaminación artificial que sufren los cuerpos de agua.

El WASP es un modelo que permite simular el comportamiento dinámico de un sistema acuático, incluyendo la columna de agua y los bentos; analiza sistemas en 1, 2 y 3 dimensiones y para un variado número de contaminantes. (EPA 2002).

#### 4.4.2. Datos generales de la simulación.

A continuación se detallan los datos generales de la simulación para el desarrollo del modelo en el río Tabacay:

Se analiza un sistema de una dimensión segmentando cada una de las quebradas que son analizadas. Los parámetros que intervienen en las simulaciones son analizados y justificados dentro de los rangos típicos y el correcto funcionamiento del modelo.

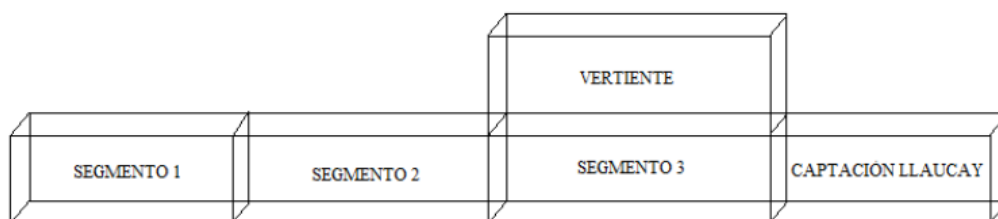
Para obtener los parámetros de trabajo adecuados con los que el modelo se comporte de manera adecuada, se simula la quebrada Llaucay que es de donde se tienen la mayor disponibilidad de datos y toda la información es proporcionada por EMAPAL.

La fecha de simulación es desde octubre del 2009 a noviembre de 2011 ya que en estos meses se encuentra la mayoría de información de calidad y caudales.

#### 4.4.3. Segmentación.

La segmentación del río permite dividir por zonas de interés e incluir la geometría de cada una de estas zonas y las relaciones de velocidad de cada segmento.

Los datos de mediciones de geometría existentes de la quebrada Llaucay permiten dividirla en 4 segmentos desde aguas arriba, considerando el tanque de captación el último segmento del sistema. Además de esto se incluye un segmento adicional en el cual se agrupan las vertientes que llegan a la quebrada con contaminantes. En la figura 40 se presenta el esquema de segmentación que se adopta en WASP.



**Figura 40:** Esquema de segmentación de la quebrada Llaucay

**Fuente:** (Matovelle Bustos , 2016)

#### 4.4.4. Constantes utilizadas en el modelo.

Las constantes utilizadas en la modelación son:

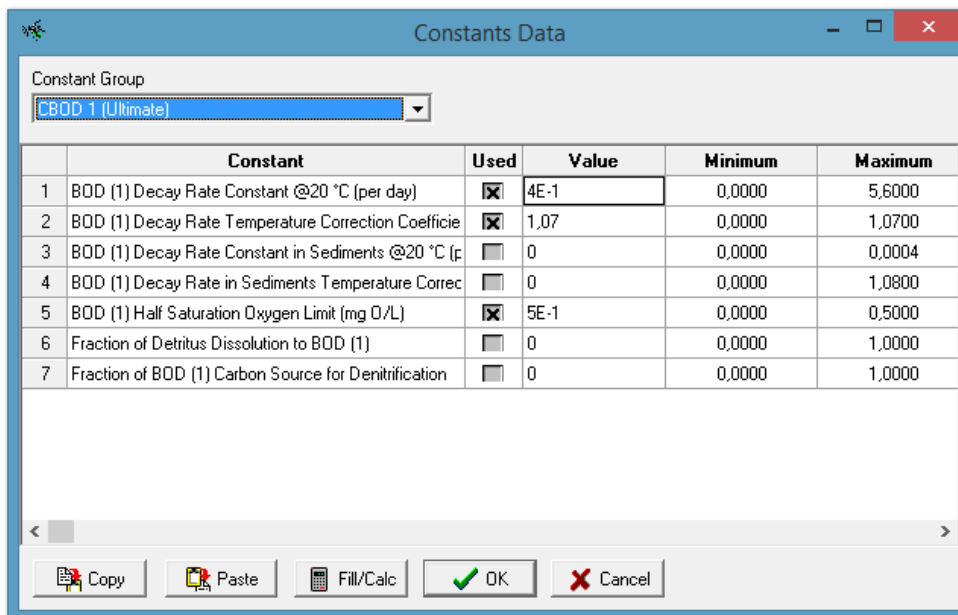
- Materia orgánica
- Reaireación: método Covar, Owens Gibbs
- Nitrógeno: especies del nitrógeno; mineralización del nitrógeno orgánico, nitrificación del amonio.

De acuerdo a lo anterior la simulación se realiza únicamente para el segmento 3 que es donde se considera una fuente de vertido y las concentraciones de los parámetros van a cambiar.

Los datos ingresados anteriormente en el modelo se mantienen, debido a que la quebrada en estudio es la misma. Únicamente se cambiarán los valores de constantes de degradación de materia orgánica y nitrificación. Los datos ingresados de constantes corresponden a los valores mínimos y máximos determinados en esta investigación.

#### 4.4.4.1. *Materia orgánica.*

En la figura 41 se muestra el valor de la constante utilizada en la simulación del trabajo anterior.

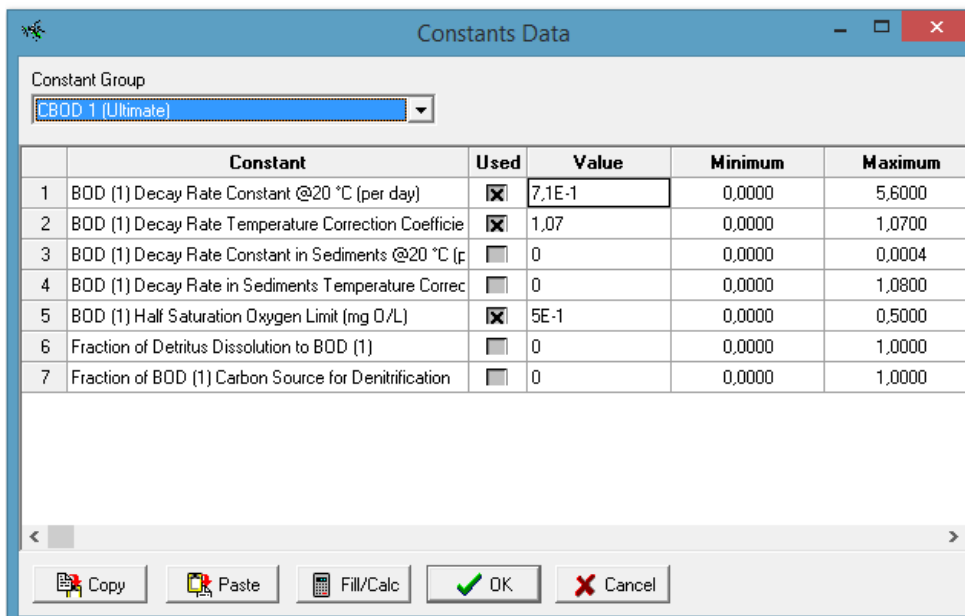


	Constant	Used	Value	Minimum	Maximum
1	BOD (1) Decay Rate Constant @20 °C (per day)	<input checked="" type="checkbox"/>	4E-1	0,0000	5,6000
2	BOD (1) Decay Rate Temperature Correction Coefficient	<input checked="" type="checkbox"/>	1,07	0,0000	1,0700
3	BOD (1) Decay Rate Constant in Sediments @20 °C [c	<input type="checkbox"/>	0	0,0000	0,0004
4	BOD (1) Decay Rate in Sediments Temperature Correc	<input type="checkbox"/>	0	0,0000	1,0800
5	BOD (1) Half Saturation Oxygen Limit (mg O/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	5E-1	0,0000	0,5000
6	Fraction of Detritus Dissolution to BOD (1)	<input type="checkbox"/>	0	0,0000	1,0000
7	Fraction of BOD (1) Carbon Source for Denitrification	<input type="checkbox"/>	0	0,0000	1,0000

**Figura 41:** Simulación anterior con la constantes de materia orgánica en WASP.

**Fuente:** (Matovelle Bustos , 2016)

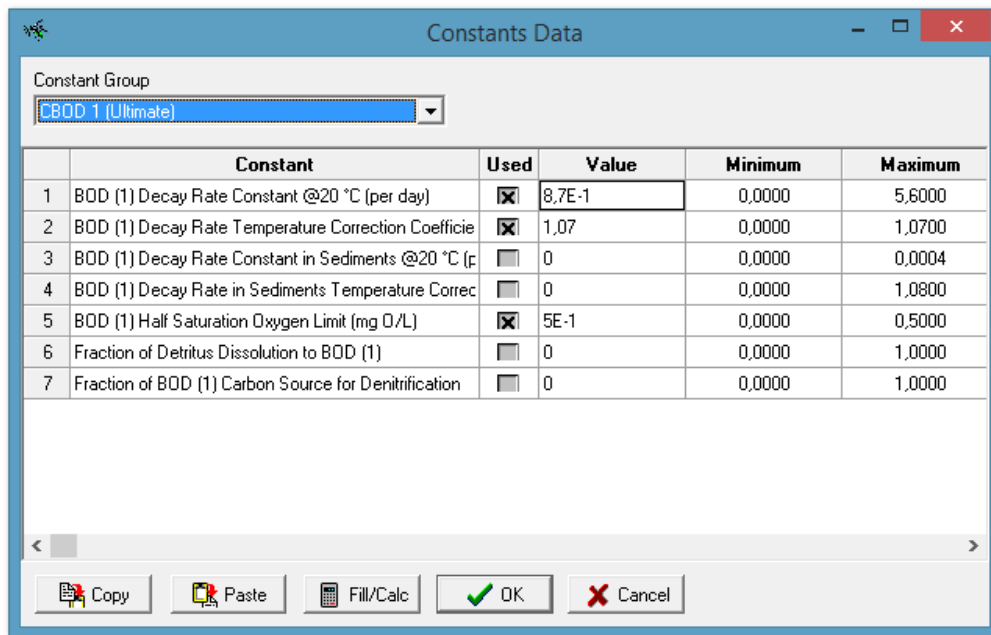
La figura 42 y 43 muestra el cambio de constantes en el modelo WASP, aplicando los valores establecidos.



	Constant	Used	Value	Minimum	Maximum
1	BOD (1) Decay Rate Constant @20 °C (per day)	<input checked="" type="checkbox"/>	7,1E-1	0,0000	5,6000
2	BOD (1) Decay Rate Temperature Correction Coefficient	<input checked="" type="checkbox"/>	1,07	0,0000	1,0700
3	BOD (1) Decay Rate Constant in Sediments @20 °C [c	<input type="checkbox"/>	0	0,0000	0,0004
4	BOD (1) Decay Rate in Sediments Temperature Correc	<input type="checkbox"/>	0	0,0000	1,0800
5	BOD (1) Half Saturation Oxygen Limit (mg O/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	5E-1	0,0000	0,5000
6	Fraction of Detritus Dissolution to BOD (1)	<input type="checkbox"/>	0	0,0000	1,0000
7	Fraction of BOD (1) Carbon Source for Denitrification	<input type="checkbox"/>	0	0,0000	1,0000

**Figura 42:** Valor mínimo de degradación de materia orgánica en WASP.

**Fuente:** (Matovelle Bustos , 2016)



**Figura 43:** Valor máximo de degradación de materia orgánica en WASP.

**Fuente:** (Matovelle Bustos , 2016)

A continuación se presentan los resultados de la simulación para las nuevas constantes de degradación de materia orgánica, aplicadas en la quebrada Llaucay.

**Tabla 15:** Variación de la concentración de la DBOC aplicando constantes diferentes

<b>Variación de la concentración con respecto al tiempo (CBOD mg/l)</b>					
<b>Días</b>	<b>Simulación anterior</b>		<b>Nueva simulación</b>		
	<b>k<sub>1</sub> (0,4)</b>	<b>k<sub>1</sub> (0,71)</b>	<b>% error</b>	<b>k<sub>1</sub> (0,87)</b>	<b>% error</b>
1	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0
2	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0
3	76,39	75,63	1,0	75,24	1,5
4	118,39	117,38	0,9	116,87	1,3
5	77,17	76,29	1,1	75,24	2,5
6	79,26	78,60	0,8	78,26	1,3
7	65,18	64,29	1,4	63,83	2,1
8	86,32	85,51	0,9	85,10	1,4
9	117,53	116,63	0,8	116,18	1,1
10	133,45	132,49	0,7	132,01	1,1
11	324,12	323,39	0,2	323,02	0,3
12	183,38	182,54	0,5	182,11	0,7
13	155,67	154,99	0,4	154,64	0,7
14	113,16	112,36	0,7	111,96	1,1
15	244,69	244,05	0,3	243,73	0,4
16	161,49	160,76	0,5	160,38	0,7

17	85,82	84,97	1,0	84,54	1,5
18	83,36	82,51	1,0	82,08	1,5
19	78,00	77,02	1,3	76,53	1,9
20	143,56	142,62	0,7	142,14	1,0
21	146,52	145,69	0,6	145,28	0,8
22	178,23	177,25	0,5	176,75	0,8
23	224,29	223,66	0,3	223,34	0,4
24	185,09	184,40	0,4	184,05	0,6
25	132,18	131,48	0,5	131,12	0,8
26	100,44	99,68	0,8	99,30	1,1
27	172,77	171,89	0,5	171,44	0,8
28	197,86	197,04	0,4	196,63	0,6
		<b>Promedio</b>	<b>0,6</b>	<b>Promedio</b>	<b>1,0</b>

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la tabla 15, al aplicar las nuevas constantes de degradación de materia orgánica la variación de la concentración es mínima, el porcentaje de error con el valor mínimo es de 0,6% y con el valor máximo es del 1,0%.

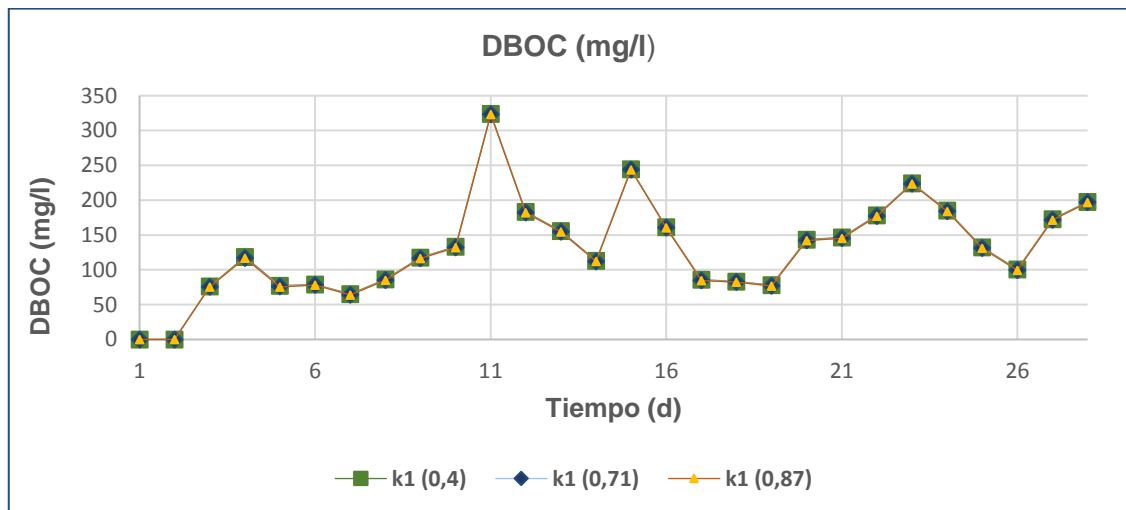


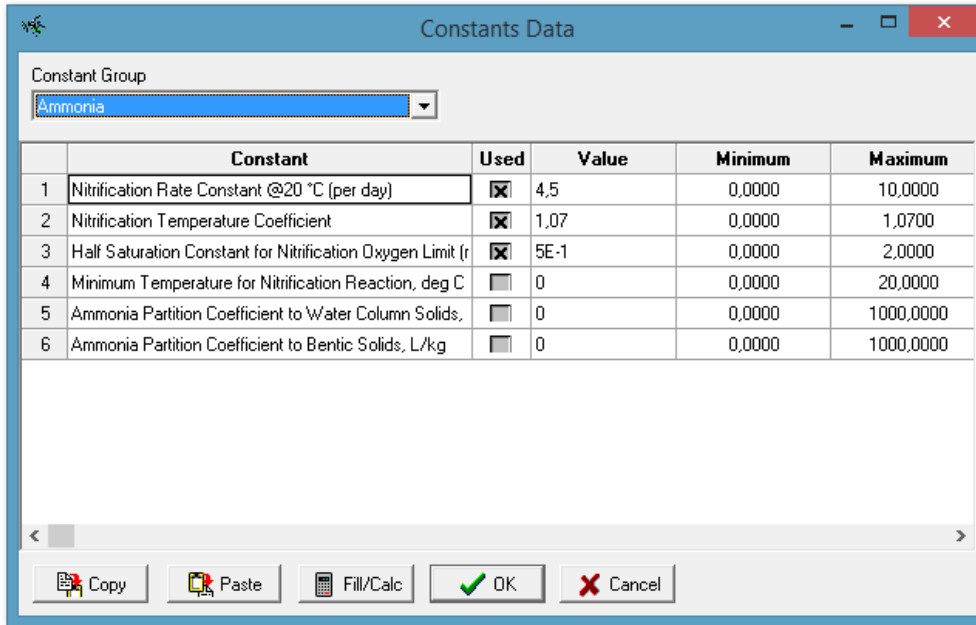
Figura 44: Comparación de la DBOC con diferentes constantes

Fuente: Elaboración propia

La figura anterior muestra la variación de la concentración de DBOC, la cual sigue la misma tendencia de la simulación anterior; este parámetro es poco sensible por lo que no existe una variación considerable al cambiar el valor de la constante.

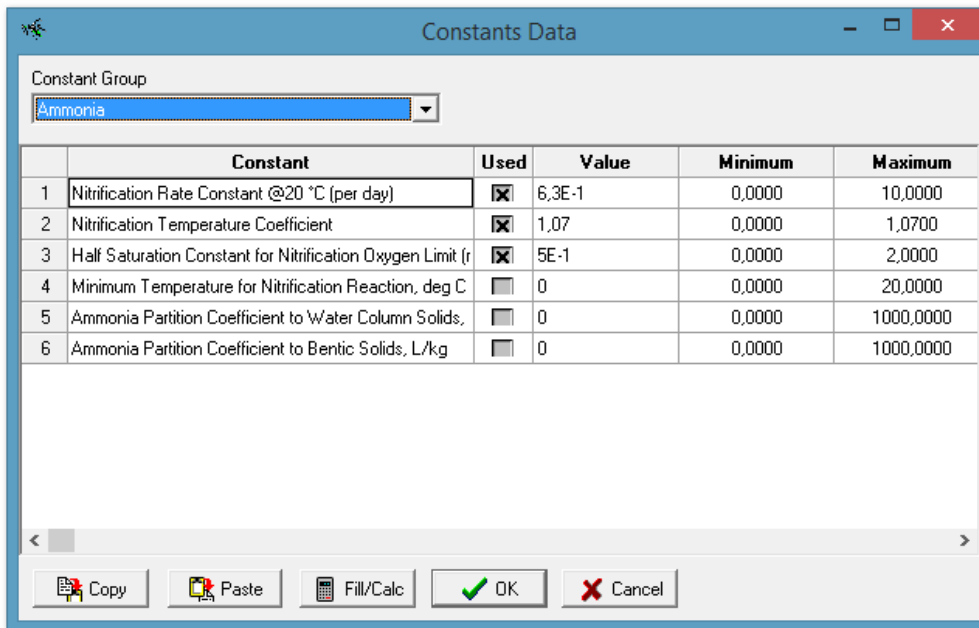
#### 4.4.4.2. Nitrificación.

Para la constante de nitrificación se siguió el mismo proceso de la materia orgánica.



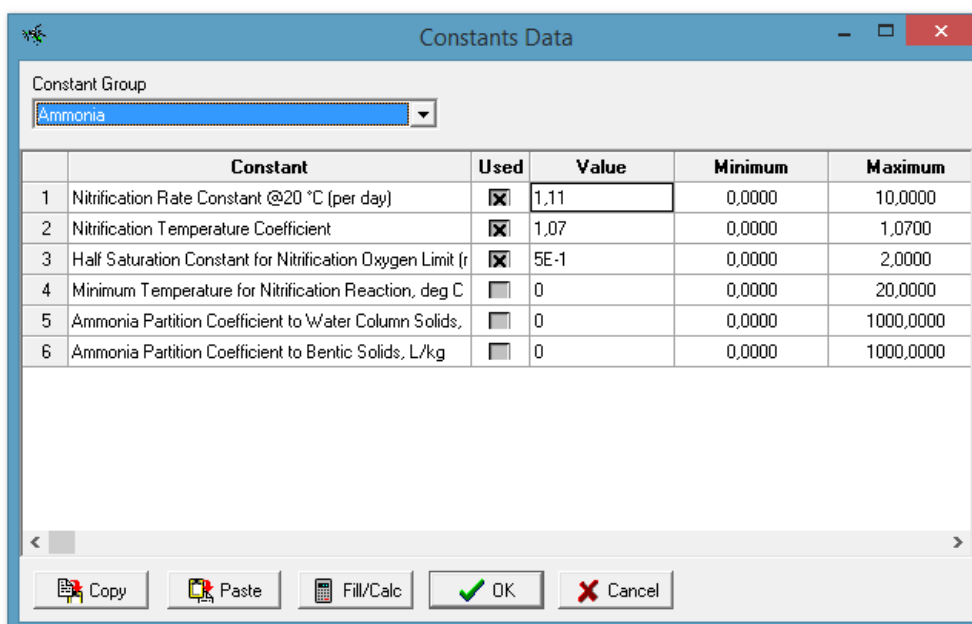
**Figura 45:** Simulación anterior con la constantes de nitrificación en WASP.

**Fuente:** (Matovelle Bustos , 2016)



**Figura 46:** Aplicación de la constante mínima de nitrificación en WASP

**Fuente:** (Matovelle Bustos , 2016)



**Figura 47:** Aplicación de la constante máxima de nitrificación en WASP

**Fuente:** (Matovelle Bustos , 2016)

A continuación se presentan los valores de concentración de amonio obtenidos con las constantes mínimas y máximas de nitrificación.

**Tabla 16:** Variación de la concentración de amonio (NH<sub>4</sub>) aplicando constantes diferentes.

**Variación de la concentración de amonio (NH<sub>4</sub> mg/l) con respecto al tiempo**

Días	Simulación anterior		Nueva simulación		
	k <sub>nit</sub> (4,5)	k <sub>nit</sub> (0,63)	% error	k <sub>nit</sub> (1,11)	% error
1	0	0	0,0	0	0,0
2	0	0	0,0	0	0,0
3	3,55	4	12,7	3,94	11,0
4	5,53	6,14	11,0	6,05	9,4
5	3,43	3,93	14,6	3,86	12,5
6	3,73	4,14	11,0	4,08	9,4
7	2,93	3,45	17,7	3,38	15,4
8	4,02	4,51	12,2	4,44	10,4
9	5,54	6,07	9,6	6,0	8,3
10	6,30	6,87	9,0	6,8	7,9
11	15,94	16,38	2,8	16,33	2,4
12	8,83	9,34	5,8	9,27	5,0
13	7,54	7,96	5,6	7,9	4,8
14	5,35	5,84	9,2	5,77	7,9
15	12,01	12,4	3,2	12,35	2,8
16	7,79	8,24	5,8	8,18	5,0
17	3,97	4,48	12,8	4,41	11,1

18	3,85	4,36	13,2	4,29	11,4
19	3,49	4,06	16,3	3,98	14,0
20	6,86	7,44	8,5	7,36	7,3
21	7,01	7,51	7,1	7,44	6,1
22	8,52	9,11	6,9	9,03	6,0
23	10,99	11,38	3,5	11,33	3,1
24	9,00	9,42	4,7	9,37	4,1
25	6,35	6,78	6,8	6,72	5,8
26	4,83	5,3	9,7	5,24	8,5
27	8,01	8,53	6,5	8,46	5,6
28	9,35	9,83	5,1	9,77	4,5
		<b>Promedio</b>	<b>8,3</b>	<b>Promedio</b>	<b>7,1</b>

Fuente: Elaboración propia

La tabla 15 muestra los valores obtenidos aplicando las nuevas constantes de nitrificación, donde se puede observar que existe una mayor variación de la concentración, el porcentaje de error con el valor mínimo es del 8,3% y con el valor máximo es del 7,1%.

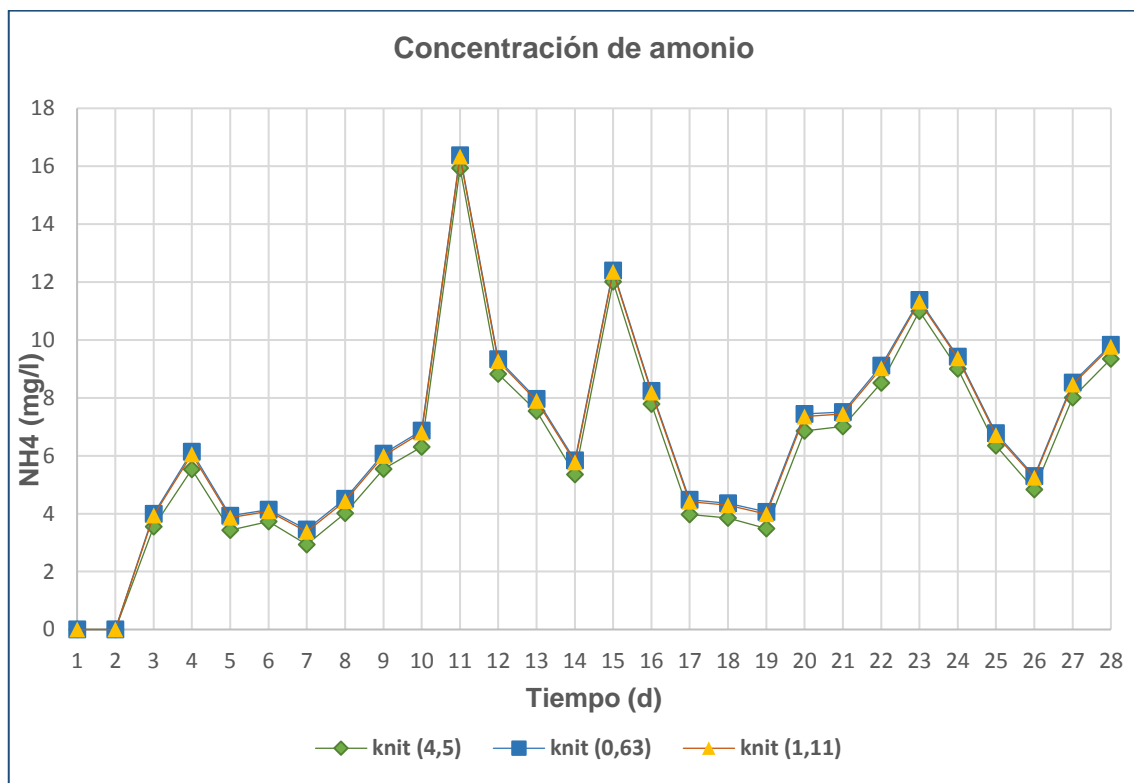


Figura 48: Comparación de la concentración de amonio con diferentes constantes.

Fuente: Elaboración propia

La figura anterior muestra la variación de la concentración de amonio obtenida con la constante propuesta por el modelo versus las constantes determinadas en la investigación. La concentración sigue la misma tendencia de la simulación anterior, este parámetro es poco sensible por lo que no existe una variación significativa al cambiar el valor de la constante.

La velocidad de las constantes obtenidas en este estudio al ser menores que la velocidad propuesta por el modelo ocasiona que la nitrificación del amonio sea más lenta, lo cual significa que tardara más tiempo en salir del sistema.

#### **4.4.4.3. Reaireación.**

Los modelos matemáticos corren las simulaciones con un valor máximo de oxígeno de saturación de 10mg/l, en la zona de estudio la concentración de oxígeno de saturación oscila entre 6–7 mg/l, esta diferencia de concentraciones ocasiona que no se pueda ajustar el modelo. Para ello debería ingresar una carga elevada de materia orgánica, lo cual no sucede en esta zona, las cargas son relativamente bajas.

No se puede ajustar porque la realidad de la zona de estudio se diferencia con la concentración a la que trabaja el modelo.

## CONCLUSIONES

Con el presente trabajo de investigación se han llegado a las siguientes conclusiones:

- Generalmente el comportamiento de la degradación de materia orgánica y la nitrificación se representan mediante un modelo exponencial donde la velocidad de degradación será mayor en los primeros días que existe una mayor concentración e ira disminuyendo a medida que se consume. Para esta investigación se obtuvo un modelo lineal ya que las concentraciones de materia orgánica y nitrógeno no son relativamente altas, y por las características que presenta el sistema hídrico como su gran dinamismo ocasiona que el cuerpo se recupere rápidamente y no se acople a un modelo exponencial.
- Las constantes de degradación de materia orgánica se encuentran en un rango de 0,71 y 0,87 (mg/ l d) para la quebrada Llaucay y 0,51 y 0,69 (mg/ l d) para la quebrada Condoryacu. Estas cinéticas presentan una velocidad de degradación alta y constante en el tiempo comparada con otros valores que se encuentran en la literatura; las características propias de corrientes de montaña, temperatura y concentración de oxígeno favorecen este proceso, lo cual hace que a pesar de recibir descargas directas de aguas residuales urbanas la restauración del cuerpo hídrico sea casi inmediata.
- La cinética de nitrificación presenta un rango de 0,63 y 1,11 (mg/ l d) para Llaucay y 0,14 y 0,23 (mg/ l d) para Condoryacu, con una velocidad de nitrificación constante en el tiempo. Al no haber grandes aportes de nitrógeno y al ser corrientes muy dinámicas el cuerpo hídrico se restaura rápidamente y no representa un problema en la calidad del agua.
- Las constantes de reaireación obtenidas experimentalmente mediante la fórmula propuesta por Owens-Gibbs son extremadamente altas comparadas con las que normalmente se encuentran en otras fuentes, la alta rugosidad que presentan las quebradas aumenta el flujo turbulento de las corrientes a esto se suma la velocidad y los calados muy pequeños que ocasionan que el oxígeno se disuelva más rápido y exista una mayor reaireación.
- La velocidad de sedimentación de las partículas está influenciada directamente por el calado del río, las quebradas en estudio al tener calados menores a  $1_m$  causa que las partículas sedimenten rápidamente; sin embargo por la alta turbulencia de las corrientes hay resuspensión de los sólidos los cuales son transportados aguas abajo.

Aplicación de constantes en el modelo Wasp:

- Al aplicar las nuevas constantes cinéticas de degradación de materia orgánica y nitrificación en el modelo de calidad de agua adoptaron una misma tendencia de la

simulación anterior; en el caso de la materia orgánica se duplica la constante de 0,4 a 0,8 sin embargo no se ve un cambio significativo en los datos. Lo mismo sucede en el caso de la nitrificación en el que la velocidad de la cinética disminuye considerablemente de 4,5 a 0,63 como mínimo y 1,11 como máximo, pero los resultados de la simulación no presenta una variación mayor.

- Las constantes de reaireación y velocidad de sedimentación no pueden ser ingresadas en el modelo; para la reaireación este presenta un menú donde nos permite señalar el método de cálculo, y de acuerdo a los datos de velocidad y calado el modelo proporciona la constante.

## RECOMENDACIONES

- El uso de constantes determinadas experimentalmente o insitu, ya que para su determinación se toma en cuenta las características de cada zona en estudio como la altitud, temperatura, oxígeno disuelto, etc., lo cual darían mejores resultados que las que se encuentran en las fuentes bibliográficas.
- Es importante conocer la capacidad de autodepuración que presentan los sistemas acuáticos y el comportamiento de los parámetros que determinan la calidad del agua, esto facilitaría el manejo y la gestión de las fuentes hídricas por parte de las autoridades competentes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Rivas, C. (Febrero de 2009). ESTUDIO DE LA CUENCA ALTOANDINA DEL RÍO CAÑETE (PERÚ): DISTRIBUCIÓN ALTITUDINAL DE LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS Y CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE SUS CABECERAS CÁRSTICAS (Tesis doctoral, Universidad de Barcelona , España). Recuperado de [http://www.ub.edu/riosandes/docs/TESIS\\_RAUL\\_ACOSTA.pdf](http://www.ub.edu/riosandes/docs/TESIS_RAUL_ACOSTA.pdf)
- Barrenechea Martel, A. (2004). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuali/tomoi/uno.pdf>
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., & Cisneros, F. (s.f). *ResearchGate*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/228459137\\_HIDROLOGIA\\_DEL\\_PARAMO\\_ANDINO\\_PROPIEDADES\\_IMPORTANCIA\\_Y\\_VULNERABILIDAD](https://www.researchgate.net/publication/228459137_HIDROLOGIA_DEL_PARAMO_ANDINO_PROPIEDADES_IMPORTANCIA_Y_VULNERABILIDAD)
- CAJAS PARRA, D. (2010). CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TABACAY (Tesis de Pregrado, Universidad de Cuenca, Ecuador). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/732>
- Carrera González , G. (Junio de 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 (Tesis de grado, *Escuela Politécnica del Ejército ESPE*, Sangolquí, Ecuador). Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3702/1/T-ESPE-031368.pdf>
- Cataño Álvarez , S. (2015). Modelo conceptual agregado de transporte de sedimentos para cuencas de montaña en Antioquia (Tesis de maestría, Universidad Nacional de

- Colombia - Sede Medellín). Obtenido de [http://www.bdigital.unal.edu.co/50573/1/1020427238\\_2015.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/50573/1/1020427238_2015.pdf).
- CIAMA. (1992). Protección del sistema acuático. *Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente: El Desarrollo en la Perspectiva del Siglo XXI*, 7-8. Dublin, Irlanda.
- Consultora de aguas. (s.f). Recuperado de [http://www.cdaguas.com.ar/pdf/aguas/06\\_Nitratos\\_en\\_agua\\_potable.pdf](http://www.cdaguas.com.ar/pdf/aguas/06_Nitratos_en_agua_potable.pdf)
- Cuello , J., Trento , A., & Alvarez, A. (2006). TRANSPORTE DE SEDIMENTOS Y METALES PESADOS CON WASP 7.0. *Mecánica Computacional*, Vol (XXV), 1425-1440. Recuperado de <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/574/548>
- EMAPAL. (2003). Plan de manejo integral de la microcuenca del río Tabacay. Azogues, Cañar, Ecuador.
- EPA. (2016). *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos* . Recuperado de <https://www.epa.gov/exposure-assessment-models/water-quality-analysis-simulation-program-wasp>
- Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Amilintación. (2009). *GUÍA PARA LA DESCRIPCIÓN DE SUELOS*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Amilintación. (s.f). Depósito de documentos de la FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s07.htm>
- Gallopín, G., & Reboratti, C. (2011). Universidad Nacional de San Martín UNSAM. Recuperado de <http://www.unsam.edu.ar/institucional/colegio/LA%20CUESTION%20DEL%20AGUA.pdf>
- Garnero, J., & Chiappero, P. (s.f). Universidad Tecnológica Nacional. Recuperado de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytaal\\_frm/CyTAL\\_2012/TF/TF012.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytaal_frm/CyTAL_2012/TF/TF012.pdf)

Holguin, J., & Camacho, A. (2003). Determinación de la tasa de reaireación en un río de montaña colombiano mediante el uso de trazadores. 83-90. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/230887956>

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1984). Agua potable. Determinación del color. Recuperado de <https://archive.org/stream/ec.nte.0970.1984#page/n1/mode/2up>

Laboratorio de Química Ambiental Ideam. (1997). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Recuperado de [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Aguas/Determinacion\\_de\\_DQO.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DQO.htm)

López , E., Martínez, J., & García , J. (2014). Chavez Solutions - Laboratorio - y Consultores Ambientales. Recuperado de [http://www.academia.edu/9209870/Determinaci%C3%B3n\\_de\\_S%C3%B3lidos\\_Suspendidos\\_Totales\\_SST\\_y\\_S%C3%B3lidos\\_Suspendidos\\_Vol%C3%A1tiles\\_SSV\\_en\\_agua\\_tratada](http://www.academia.edu/9209870/Determinaci%C3%B3n_de_S%C3%B3lidos_Suspendidos_Totales_SST_y_S%C3%B3lidos_Suspendidos_Vol%C3%A1tiles_SSV_en_agua_tratada)

López Alonso , R. (2005). Características hidráulicas y geomorfológicas de ríos de montaña (III). *Cimbra*, 28-32. Recuperado de [http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra363\\_06.pdf](http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra363_06.pdf)

López Alonso, R. (2005). Características hidráulicas y geomorfológicas de ríos de montaña (I). *Cimbra*, 20-23. Recuperado de [http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra361\\_06.pdf](http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra361_06.pdf)

Matovelle Bustos, C. (2016). Repositorio Institucional UPV. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/66443>

Medina Cueva, G. (2008). GESTIÓN Y MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO TABACAY CANTÓN AZOGUES - ECUADOR (Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/18969>

- Oxígeno Disuelto. (s.f.). Recuperado de [http://www2.vernier.com/sample\\_labs/CMV-41-oxigeno\\_disuelto.pdf](http://www2.vernier.com/sample_labs/CMV-41-oxigeno_disuelto.pdf)
- Portal del Medio Ambiente. (s.f.). ambientum. Recuperado de [http://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/Determinacion\\_materia\\_organica.asp#](http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/Determinacion_materia_organica.asp#)
- Rivera Gutiérrez, J. (2016). Determinación de las tasas de oxidación, nitrificación y sedimentación en el proceso de autopurificación de un río de montaña. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 24(2), 314-326. Recuperado de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052016000200013](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052016000200013)
- Rodríguez, S., Gauna, L., Martínez, G., Acevedo, H., & Romero, C. (2012). Relación del nitrato sobre la contaminación bacteriana del agua. *Terra Latinoamericana*, 30 (2), 111-119. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57324446002.pdf>
- Sierra Ramírez, C. (2011). *Calidad del Agua: Evaluación y diagnóstico*. Recuperado de <https://www.freelibros.org/ingenieria-ambiental/calidad-del-agua-evaluacion-y-diagnostico-carlos-alberto-sierra-ramirez.html>
- Suárez, J. (2008). *Universidad de Coruña*. Recuperado de [ftp://ceres.udc.es/Master\\_en\\_Ingenieria\\_del\\_Agua/master%20antiguo\\_antes%20del%202012/Segundo\\_Curso/Modelos\\_de\\_Calidad\\_de\\_Aguas/material%202010-2011/MCA\\_Tema\\_5\\_\\_MODELOS\\_DE\\_CALIDAD\\_DE\\_AGUAS\\_EN\\_RIOS.pdf](ftp://ceres.udc.es/Master_en_Ingenieria_del_Agua/master%20antiguo_antes%20del%202012/Segundo_Curso/Modelos_de_Calidad_de_Aguas/material%202010-2011/MCA_Tema_5__MODELOS_DE_CALIDAD_DE_AGUAS_EN_RIOS.pdf)
- Suárez, J., & Fernández, N. (Marzo de 2009). *Universidad de Coruña*. Recuperado de [ftp://ceres.udc.es/Master\\_en\\_Ingenieria\\_del\\_Agua/master%20antiguo\\_antes%20del%202012/Segundo\\_Curso/Modelos\\_de\\_Calidad\\_de\\_Aguas/material%202010-2011/MCA\\_TEMA\\_5\\_complemento\\_2\\_\\_reaireacion.pdf](ftp://ceres.udc.es/Master_en_Ingenieria_del_Agua/master%20antiguo_antes%20del%202012/Segundo_Curso/Modelos_de_Calidad_de_Aguas/material%202010-2011/MCA_TEMA_5_complemento_2__reaireacion.pdf)
- ULPGC. (s.f.). *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*. Recuperado de [www.ulpgc.es/descargadirecta.php?codigo\\_archivo=3984](http://www.ulpgc.es/descargadirecta.php?codigo_archivo=3984)

Valcárcel Rojas, L., Borroto Portela, J., Alberro Macías, N., Griffith Martínez, J., Derivet Zarzabal, M., Flores Juan, P., . . . Domínguez Catusus, J. (2010). Modelación de la calidad del agua en el segmento medio del río Luyanó. *NUCLEUS*, 47, 16-23. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-084X2010000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-084X2010000100003)

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Deforestación de bosques nativos para el cultivo de pastizales



**Anexo 2.** Ganadería extensiva en la microcuenca



**Anexo 3.** Cauces naturales de las quebradas en estudio

