



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

## **TITULACIÓN DE INGENIERA CIVIL**

**“Modelos de simulación de calidad del agua en el Río Yacuambí, en el tramo comprendido desde la formación del Río Tutupali hasta la intersección del Río Yacuambí con el Río Zamora, en la provincia de Zamora Chinchipe”**

**Trabajo de Fin de Carrera**

### **AUTORA:**

Zúniga Torres Berenice Cecibel

### **DIRECTORA:**

Cisneros Abad Mónica Jacqueline Ing. M.Sc.

**LOJA - ECUADOR**

2012

## CERTIFICACIÓN

Ingeniera. M.Sc.

Mónica Jacqueline Cisneros Abad

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

### **CERTIFICA:**

Que el presente trabajo, denominado **“Modelos de Simulación de Calidad del Agua en el Río Yacuambí, en el tramo comprendido desde la formación del Río Tutupali hasta la intersección del Río Yacuambí con el Río Zamora, en la Provincia de Zamora Chinchipe”**, realizado por el profesional en formación Zúñiga Torres Berenice Cecibel, cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la Graduación en la Universidad Técnica Particular de Loja, tanto en el aspecto de forma como de contenido, por lo cual me permito autorizar su presentación para los fines pertinentes.

Loja, Septiembre de 2012

---

Mónica Jacqueline Cisneros Abad Ing. M.Sc.

CI: 1102439237

## **CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, Zúñiga Torres Berenice Cecibel, declaro ser autora del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

---

Autora: Zúñiga Torres Berenice Cecibel  
Cédula: 1104882350

## **AUTORIA**

Las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de fin de carrera, son de exclusiva responsabilidad de la autora Zúñiga Torres Berenice Cecibel

---

Autora: Zúñiga Torres Berenice Cecibel

## **AGRADECIMIENTO**

Mi gratitud, principalmente está dirigida a Dios por haberme dado la existencia y permitido llegar al final de la carrera.

Mi agradecimiento a mis padres Alonso Zúñiga y Cecilia Torres, a mi abuelito Luis Torres y a mis hermanas Liliana y Katherine por ser los pilares en mi vida, y quienes han estado presentes durante toda mi preparación como profesional.

A todos mis profesores que me han acompañado durante este camino, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y afianzando mi formación.

Igualmente a mi maestra asesora la Ing. M.Sc. Mónica Cisneros Abad quien me ha orientado en todo momento en la realización de este proyecto que enmarca el último escalón hacia un futuro en donde sea partícipe en el mejoramiento y desarrollo de mi país.

Y a mis amigos con quienes he compartido momentos inolvidables y quienes han sido un apoyo durante estos cinco años de carrera.

**Berenice Cecibel**

## **DEDICATORIA**

Dedicada con todo mi amor y cariño, a Dios que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa, que gracias a sus consejos y palabras de aliento crecí como persona. A mi papito Alonso Zúñiga por ser mi inspiración, mi fortaleza y el ejemplo que he seguido desde que nací, a mi mamita Cecilia Torres que con su amor y paciencia siempre supo ser mi pilar en todo este caminar, a mis abuelitos Luis Torres y Luis Zúñiga, a mis hermanas Liliana y Katherine que me ha acompañado y brindado su apoyo confianza y amor para cumplir mis objetivos como persona y estudiante.

**Berenice Cecibel**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN</b>	<b>i</b>
<b>CESIÓN DE DERECHOS</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORIA</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I</b>	<b>2</b>
<b>GENERALIDADES</b>	<b>2</b>
1.1.    Introducción	2
1.2.    Objetivos	4
1.3.    Calidad de Agua	4
1.4.    Modelos de calidad de agua	6
1.4.1    Tipos de Modelos	9
1.4.2    Modelo de Streeter & Phelps	10
1.4.3    Aforos	11
1.4.3.1    Tipos de Aforos	11
1.4.4    Parámetros analizados	12
1.4.5    Modelación con el Software WASP 7.4	13
<b>CAPITULO II</b>	<b>15</b>
<b>CASO DE ESTUDIO</b>	<b>15</b>
2.1    Localización de la Sub cuenca del Río Yacuambi	15
	vi

2.2	Diseño de la red de monitoreo	16
2.4	Muestreo en la Sub cuenca del río Yacuambi	18
2.5	Resultados de los ensayos de OD y DBO	20
<b>CAPITULO III</b>		<b>26</b>
<b>MODELACIÓN</b>		<b>26</b>
3.1	Modelación de OD y DBO	26
3.1.1	Constantes Cinéticas	31
3.1.2	Efectos de la temperatura	34
3.1.3	Correcciones de las constantes cinéticas por temperatura	34
3.1.4	Concentración de Saturación del Oxígeno Disuelto en el río	35
3.1.5	Concentración de OD	36
3.1.6	Condiciones Críticas del Modelo	36
3.3	Decaimiento de la DBO en la distancia critica $x_c$	38
3.4	Validación del Modelo	38
3.5	Calibración de Modelo	38
<b>CAPITULO IV</b>		<b>40</b>
<b>RESULTADOS</b>		<b>40</b>
4.1	Modelo de Streeter-Phelps	40
4.2	Simulación y Proyección del modelo	42
4.2.1	Simulación del Tramo 1 Tutupali – El Puerto	42
4.2.2	Simulación del Tramo 2 El Puerto – Napurak	45
4.2.3	Simulación del Tramo 3 Napurak – Curintza	47
4.2.4	Simulación del Tramo 4 Curintza – San Antonio	49
4.2.5	Simulación del Tramo 5 San Antonio – La Saquea	52
4.3	Simulación en el Software WASP 7.4	54
<b>CAPITULO V</b>		<b>58</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>		<b>58</b>

5.1	Análisis de la Modelación	58
5.2	Conclusiones	62
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>64</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Fechas de muestreos en las estaciones del río Yacuambi	18
Tabla 2.2	Coordenadas de las estaciones de muestreo	21
Tabla 2.3	Coordenadas de las estaciones de muestreo	22
Tabla 2.4	Resultados de laboratorio de OD y DBO	22
Tabla 2.5	Datos hidráulicos de las estaciones de muestreo	25
Tabla 3.1	Balances de Materia	31
Tabla 3.2	Rangos de profundidad y velocidad para aplicar las expresiones de O'Connors y Dobbins, Churchill y Owens y Gibbs en determinación de la reaireación	32
Tabla 3.3	Coeficientes de aireación de 1er orden, para distintos ríos a 20°C	33
Tabla 3.4	Factores $\theta$ , para la obtención de las constantes cinéticas reales	35
Tabla 3.5	Oxígeno Disuelto en función de la temperatura	35
Tabla 4.1	Valores ingresados de las estaciones de muestreo a lo largo del cauce para el modelo de Streeter-Phelps	40

Tabla 4.2	Valores ingresados de las descargas de aguas residuales para el modelo de Streeter-Phelps	41
Tabla 4.3	Distancias entre tramos de simulación	41
Tabla 4.4	Matriz de Correlaciones en el Tramo 1	44
Tabla 4.5	Matriz de Correlaciones en el Tramo 2	46
Tabla 4.6	Matriz de Correlaciones en el Tramo 3	48
Tabla 4.7	Matriz de Correlaciones en el Tramo 4	51
Tabla 4.8	Matriz de Correlaciones en el Tramo 5	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Agricultura	16
Figura 2.2	Ganadería	16
Figura 2.3	Minería	16
Figura 2.4	Estaciones de muestreo y puntos de descarga en la Subcuenca del río Yacuambi	17
Figura 2.5	Toma de muestra en las estaciones	20
Figura 2.6	Muestreo en el cauce	20
Figura 2.7	Muestreo de las descargas	20
Figura 2.8	Ensayos de laboratorio	20
Figura 2.9	Armado de molinete	24
Figura 2.10	Aforo con molinete Seba Universal	24
Figura 2.11	Medidor de profundidad	25
Figura 2.12	Lectura con el contador	25
Figura 3.1	Esquema del balance de masa	26

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1	Simulación oxígeno disuelto obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 1 Tutupali – El Puerto	42
Gráfico 4.2	Simulación DBO obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 1 Tutupali – El Puerto	43
Gráfico 4.3	Simulación OD obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 2 El Puerto – Napuraka	45
Gráfico 4.4	Simulación DBO obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 2 El Puerto – Napuraka	46
Gráfico 4.5	Simulación OD obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 3 Napuraka - Curintza	47
Gráfico 4.6	Simulación DBO obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 3 Napuraka – Curintza	48
Gráfico 4.7	Simulación OD obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 4 Curintza – San Antonio	49
Gráfico 4.8	Simulación DBO obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 4 Curintza – San Antonio	50
Gráfico 4.9	Simulación OD obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 5 San Antonio – La Saquea	52
Gráfico 4.10	Simulación DBO obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 5 San Antonio – La Saquea	53

Gráfico 4.11	Simulación del OD mínimo vs el tiempo en el software WASP 7.4	54
Gráfico 4.12	Simulación de OD máximo vs el tiempo	55
Gráfico 4.13	Simulación del OD a lo largo de todo el cauce de estudio	55
Gráfico 4.14	Simulación de la DBO vs el tiempo en el software	56
Gráfico 4.15	Simulación de la DBO a lo largo de todo el cauce de estudio	57

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Aforos en las estaciones de muestreo	67
Anexo 2	Ejemplo de cálculo del modelo de Streeter-Phepls	92
Anexo 3	Resultado de cálculo del modelo en el Tramo 1. Tutupali – El Puerto	95
Anexo 3A	Validación en el Tramo 1. Tutupali – El Puerto	99
Anexo 4	Resultado de cálculo del modelo en el Tramo 2. El Puerto - Napuraka	104
Anexo 4A	Validación en el Tramo 2. El Puerto - Napuraka	109
Anexo 5	Resultado de cálculo del modelo en el Tramo 3. Napuraka – Curintza	114
Anexo 5A	Validación en el Tramo 3. Napuraka – Curintza	116
Anexo 6	Resultado de cálculo del modelo en el Tramo 4 Curintza – San Antonio	121
Anexo 6A	Validación en el Tramo 4 Curintza – San Antonio	123
Anexo 7	Resultado de cálculo del modelo en el Tramo 5 San Antonio – Unión del río Yacuambi con el río Zamora	128
Anexo 7A	Resultado de cálculo del modelo en el Tramo 5 San Antonio – Unión del río Yacuambi con el río Zamora	133

Anexo 8	Ecuaciones Utilizadas	138
Anexo 9	Nomenclatura, unidades y significado	140

## RESUMEN

El presente proyecto investigativo contempla el desarrollo de un modelo matemático, el análisis de los resultados y la modelación en el software WASP 7.4. El modelo matemático desarrollado se basa en la ecuación de Streeter-Phelps; así como su simulación para evaluar y predecir el comportamiento del oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno, con datos obtenidos desde la primera estación de muestreo Tutupali hasta la última estación la Saquea.

En la simulación del modelo se consideró una sola fuente puntual la misma que correspondía a la descarga de aguas residuales de las poblaciones que se asientan en la ribera del río en estudio.

La validación y calibración del modelo se la realizó en cada uno de los tramos analizados, así como también su respectivo análisis.

La simulación en el software WASP 7.4 permitió una mejor interpretación del comportamiento del cauce analizado. Finalmente, a través de los resultados obtenidos del análisis se pudo concluir que la mayor contaminación se debe a la descarga de aguas residuales de las poblaciones; además debido a sus condiciones geomorfológicas se cumple con el proceso de autodepuración.

# CAPITULO I

## GENERALIDADES

### 1.1. Introducción

El agua es un compuesto esencial para el desarrollo de la vida en el planeta tierra.

El agua dulce en la tierra es de 2.53%, a esta se agregan 8.000 kilómetros cúbicos (km<sup>3</sup>) existente en lagos, ríos y acuíferos almacenados en embalses. (UNESCO, 2012).

El rápido crecimiento poblacional y el desarrollo de la industria (minería, agricultura, etc) han sido factores que han provocado alteraciones al medio ambiente, siendo los ríos la principal fuente de disposición de descargas de contaminantes, es decir de aguas residuales de la industria, doméstica y agricultura. (Vargas, 1993).

Claramente los ríos poseen varios rasgos atractivos como un medio de disposición de aguas residuales: transporte de aguas residuales hacia el océano, dilución y dispersión debido al mezclado rápido, baja sedimentación y resuspensión con extendimiento del sedimento sobre un área grande y condiciones turbulentas que causan una rápida reaireación; la concentraciones de contaminación vertidas muchas de las veces superan la capacidad de autodepuración de los sistemas. Este escenario también lo presenta nuestro país, específicamente se ha tomado como caso de estudio la Subcuenca del Rio Yacuambi, donde se presentan todas las actividades mencionadas.

Es necesario conocer las condiciones existentes, y prever la alteración de la calidad del agua de un cuerpo dulceacuícola que ocurriría posterior a la construcción de una obra civil, como, alcantarillado de aguas servidas, cambio de uso del suelo desde lo agrícola a lo silvícola o viceversa, o mejoramiento del sistema de evacuación de aguas servidas de algunas comunidades, traspaso

de recursos hídricos de una cuenca a otra, entre muchas otras posibilidades. El instrumento adecuado para estos fines es la denominada genéricamente modelo de calidad de aguas, las mismas que tiene por finalidad determinar las nuevas concentraciones de contaminante del cuerpo de agua en cada punto y a lo largo del tramo de interés. (Vargas, 1993).

De acuerdo a lo anterior, se establece que un modelo de calidad de aguas es la herramienta adecuada para la predicción del comportamiento de la calidad del agua en un río.

A través de los años se han elaborado varios modelos de calidad de agua pero todos estos se han basado en el modelo de Streeter-Phelps, este es uno de los primeros modelos para los cuerpos fluviales presentado por Streeter y Phelps en 1925. Lo que permite predecir en el caso de las descargas de material orgánico biodegradable su efecto sobre la concentración de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno.

Dicho modelo considera el río como un reactor de flujo pistón, y establece un balance para el oxígeno disuelto y el material biodegradable, bajo condiciones de estado estacionario.

Además del análisis de las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) y de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que presenta el modelo de Streeter-Phelps, se analiza los resultados simulados con el software WASP 7.4, el mismo que ayuda al modelador a una mejor interpretación de los resultados y de esta manera pueda obtener mejores conclusiones de la modelación y la simulación de la subcuenca analizada.

## **1.2. Objetivos**

### **General**

- Modelar y evaluar los parámetros del agua en términos de concentración de contaminantes de tal manera que se pueda predecir la calidad de agua en el río Yacuambí, en el tramo comprendido desde la formación del río Tutupali hasta la intersección del río Yacuambí con el río Zamora, en la provincia de Zamora Chinchipe.

### **Específicos**

- Modelar la interacción de los contaminantes en el agua
- Calibrar y validar los resultados obtenidos en el modelo matemático.
- Analizar los resultados obtenidos en el software WASP 7.4
- Valorar las posibles alternativas de tratamiento aplicables a la zona en estudio y elegir la más adecuada.

## **1.3. Calidad de Agua**

La calidad del agua no es un criterio completamente objetivo, pero está socialmente definido y depende del uso que se le piense dar al líquido (WRI, 2000), por lo que cada uso requiere un determinado estándar de calidad. Por esta razón, para evaluar la calidad del agua se debe ubicar en el contexto del uso probable que tendrá.

Las estimaciones cuantitativas de la disponibilidad del agua no reflejan por completo el problema de las necesidades de este recurso, ya que la calidad del agua en la mayor parte del mundo está lejos de ser la adecuada. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), una quinta parte de la población mundial no tiene acceso a agua libre de contaminantes (FNUAP, 2001), situación que se acentúa en áreas rurales donde no existe la posibilidad de que el agua tenga un tratamiento previo que mejore su calidad y posibilite su uso general.

La calidad del agua está afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua, y la cantidad misma de agua de los ríos y lagos, ya que de ésta depende su capacidad de purificación.

A nivel mundial en los países en desarrollo se da tratamiento a menos del 10% del agua, situación no muy diferente a la de México, donde los porcentajes están cerca del 20%, ya sea agua utilizada en servicios urbanos o industriales. Esto significa que la inmensa mayoría del líquido se vierte a ríos, lagos o mares sin ningún tratamiento previo, ocasionando la contaminación de éstos y, en consecuencia, la reducción de agua disponible.

Según un estudio realizado por Senagua (2011): se conoce que en el Ecuador de cada 100 lt de agua se consumen 81.1 lt en agricultura (riego), 12.3 lt está destinado para uso doméstico, 6.3 lt se utiliza en la industria y 0.3 lt para otros usos.

Pero nuestro país no está excepto de problemas de contaminación en sus efluentes siendo las principales causas de contaminación el vertido de aguas negras sin previo tratamiento a los lagos y ríos provenientes del uso doméstico, agricultura, minería entre otras.

Actualmente, resulta impensable una mínima clasificación de los recursos de agua de un país sin efectuar un examen profundo de la calidad del agua una previsión de la evolución de la misma conforme se actué de una u otra forma sobre los procesos que la afecta. La investigación sobre las características físicas, químicas y biológicas de las aguas superficiales de una cuenca debe mostrar:

- Grado de tratamiento necesario para las diversas utilidades.
- Valor de las aguas desde una perspectiva estética, ambiental y recreativa
- Capacidad de los cursos de agua para asimilar los vertidos.

Una de las primeras acciones consiste en la elección de los llamados parámetros indicadores que sirven de guía en las estimaciones del nivel de

calidad de un agua al considerarlos simultáneamente con la naturaleza del terreno por el que circula el agua y la climatología de la zona.

Los parámetros que suelen considerarse son: temperatura, concentración de ion de hidrogeno (ph), conductividad, alcalinidad, dureza, cloruros, sulfatos, fosforo, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, compuestos nitrogenados y metales (hierro, cromo, plomo, mercurio, cobre).

Existen, sin embargo, problemas técnicos de difícil resolución a la hora de valorar las características de un agua:

- La localización, naturaleza, amplitud e incidencia de las fuentes no puntuales.
- Las complejas interacciones biológicas, químicas y físicas que tienen lugar en el agua
- La influencia sobre la calidad del agua que ejercen indirectamente las variaciones del régimen hidráulico, uso del terreno, etc.

El logro de niveles razonables de calidad de agua en los países ha sido el origen del desarrollo y aplicación de una amplia gama de modelos, especialmente matemáticos.

La mayor parte de los modelos de calidad de agua son modelos diseñados para obtener resultados por ordenador dada la laboriosidad de los cálculos y, por otra parte, modelos de simulación. Estos modelos permiten estudiar la evolución de las características físicas, químicas y biológicas de una cuenca hidrográfica o tramo de un río para diferentes vertidos y condiciones hidrológicas.

#### **1.4. Modelos de calidad de agua**

El comportamiento de los contaminantes en el agua es esencialmente dinámico. Los contaminantes están en permanente movimiento, ya sea por efecto del propio movimiento del agua, o por la movilidad natural de las moléculas y partículas coloidales, aún en aguas quietas. Los fenómenos de transporte de contaminantes han sido ampliamente estudiados y han dado

origen a numerosas formulaciones matemáticas que describen su comportamiento. Estos modelos han mostrado ser de una gran utilidad en la planificación de recursos y en el adecuado manejo de la mayoría de los problemas de contaminación del agua.

Los modelos de calidad de agua permiten realizar una predicción del comportamiento de la calidad del agua en un río u otro cuerpo de agua. Donde, corresponderá a un conjunto de ecuaciones matemáticas que definen los procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en un cuerpo receptor de agua. Estas ecuaciones están basadas fundamentalmente en la conservación de la masa y energía, de tal forma que existen tres fenómenos: ingreso de contaminantes al cuerpo de agua desde el exterior del sistema, el transporte y las reacciones en el cuerpo de agua. El transporte puede ser por advección o dispersión, por lo tanto dependerá de las características hidrodinámicas e hidrológicas del cuerpo de agua. Para que un modelo de calidad de aguas pueda ser aplicado confiablemente, para la predicción de las condiciones de los diversos parámetros, tiene que cumplir, obviamente, con la condición básica de reproducir aceptablemente las condiciones actuales (Loucks et al., 1982).

De la gran cantidad de modelos de calidad de agua existentes, se pueden destacar: PMD, QUAL I, QUAL II, QUAL2E, MIKE21, DUFLOW, STREETER-PHELPS, etc. (Vargas, 1993).

El QUAL2E es un programa comprensivo y versátil que contiene un modelo de calidad de agua fluvial, es una versión actualizada del modelo QUAL-II, que a su vez fue una extensión del modelo de calidad de agua fluvial QUAL-I desarrollado por F.D. Masch y Asociados y el Texas Water Development Board en 1970. QUAL2E es un modelo unidimensional, que puede usarse en condiciones de régimen permanente, como impermanente.

El modelo de Dilución Probabilística (PDM), originalmente desarrollado por la Office of Water, estima cuan frecuentemente se excede una concentración dada en un río o arroyo que recibe contaminantes.

El modelo de Streeter-Phelps, es uno de los primeros modelos para los cuerpos fluviales presentado por Streeter y Phelps en 1925.

Pero para llevar a cabo el desarrollo de un modelo de calidad de aguas, así como de cualquier otro, debe seguir las siguientes etapas de: Especificación del problema, Construcción teórica, Especificación numérica, Resultados calculados, Calibración del modelo y Verificación del modelo.

La representación conceptual comprende una idealización gráfica del proyecto en estudio, considera las características geométricas que van a ser modeladas y la identificación de las condiciones de borde e interrelaciones entre las partes del prototipo.

La representación funcional relaciona las características físicas, procesos, y condiciones de borde en conjuntos de ecuaciones matemáticas. Esto implica la definición precisa de cada variable y sus relaciones con todos los otros parámetros que caracterizan el modelo o su relación entrada-salida.

Y la representación computacional es el proceso por el cual, el modelo funcional es traducido a fórmulas matemáticas y procedimientos computacionales requeridos para la solución del problema (Loucks et al., 1982).

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

El proceso de calibración comienza ya en la fase de conceptualización del problema al determinar cuáles son las variables de salida de interés para el modelador y cuáles los parámetros de entrada que afectan a los mismos. A continuación deberá determinarse la influencia concreta que cada parámetro de entrada tiene en las variables de salida, para un determinado incremento de valores de entrada, podremos conocer cuál es el efecto relativo que tiene dicha variación en cada una de las variables de salida. El conocimiento del efecto relativo es consecuencia de un análisis de sensibilidad de primer orden. Supóngase que se está evaluando una función cualquiera  $C(k)$ , (por ejemplo la concentración media de Oxígeno disuelto), y se está considerando la influencia que sobre ella tiene el valor  $k$  de un determinado parámetro (por ejemplo el

coeficiente de velocidad de reaireación). Realizado este análisis de sensibilidad y determinados los efectos relativos de todos los parámetros de entrada sobre los de salida, se debe proponer una lista ordenada de cuáles son los parámetros de entrada, por orden de importancia, que más afectan al parámetro de salida, estimados según el efecto relativo. Esto se realizará a la vista de los resultados que se han obtenido del análisis de sensibilidad. Así, debe realizarse un proceso de ajuste del modelo a valores de referencia dentro de un determinado intervalo hasta que el modelador decida cuál es el valor de los parámetros de entrada que mejor predice las concentraciones con las que se va a comparar (Goldberg, 1989).

### 1.4.1 Tipos de Modelos

Los modelos matemáticos pueden ser unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales dependiendo de las características físicas del medio a simular, tal como se describe a continuación:

**Modelos unidimensionales:** se utilizan generalmente para representar flujos de aguas en ríos, siendo la dirección considerada el sentido del escurrimiento.

**Modelos bidimensionales:** se utilizan para ríos de gran ancho, en los cuales las concentraciones de contaminantes varían de un lado de la ribera al otro. En estos casos se usa un sistema cartesiano de coordenadas, en el cual una de ellas corresponde al sentido del flujo y la otra a la dimensión lateral.

**Modelos tridimensionales:** encuentran aplicación en estudios de agua subterráneas y en sistemas más complejos de aguas superficiales. Requieren de mayor información que los modelos uni y bidimensionales y también mayor tiempo computacional, por lo que su uso se restringe a problemas de gran magnitud cuando se dispone de recursos suficientes para su aplicación.

Los modelos pueden ser **dinámicos** o de **estado estacionario**. Los dinámicos proveen información acerca de la calidad del agua tanto en la dirección (o distancia aguas abajo de una descarga) como en el tiempo y los estacionarios suponen que existe variación sólo en el espacio (no existe cambios de los indicadores en el tiempo), como por ejemplo una descarga continua y

constante. Estos son de menor grado de dificultad y de menor costo de aplicación que los modelos dinámicos.

Tradicionalmente los modelos de calidad del agua en estado estacionario han sido utilizados en estudios de evaluación de la capacidad asimilativa de las corrientes, de concesiones de vertimientos, de diseño de infraestructura de tratamiento de aguas residuales y de otras medidas no estructurales requeridas para alcanzar estándares de calidad del agua bajo diferentes niveles de carga contaminante (Thomann y Mueller, 1987); en estudios de desarrollo de incidentes de contaminación (Green, et al., 1994); o en la identificación de fuentes de contaminación a posteori (Whitehead et al. , 1986).

### **1.4.2 Modelo de Streeter & Phelps**

El ambiente acuático es inherente y críticamente sensitivo respecto a las necesidades de oxígeno de los organismos que lo pueblan, ya que la cantidad de oxígeno en el agua es solo el 0.8% en volumen (a 10°C) en comparación al 21% de la atmosfera.

Los cuerpos acuáticos al recibir materia orgánica llevan a cabo un proceso de degradación de oxígeno disuelto más allá de la requerida por los organismos acuáticos.

Un modelo matemático que relaciona el abastecimiento de oxígeno disuelto en una corriente de agua, cuando esta recibe descarga de materia orgánica lo constituye el modelo de Streeter & Phelps.

La aplicación de este modelo de calidad de aguas se la realizo en el estudio de: “La polución y purificación natural del río Ohio” en el año de 1925.

Este presenta la primera modelación de OD y DBO para un río, este modelo puede considerarse la “base” de todos los modelos que posterior y actualmente se siguen elaborando.

Para la aplicación del modelo matemático se requiere de algunos datos como: datos hidrológicos del cauce analizado (aforos) y resultados de laboratorio de las concentraciones de OD y DBO tomas en el rio en el cual se está realizando

la investigación y de las descargas de aguas residuales de las poblaciones que se encuentran junto a este.

### 1.4.3 Aforos

El conocimiento de la variación del caudal que fluye por una determinada sección de un cauce natural es de suma importancia en los estudios hidrológicos. De acuerdo con la calidad y la cantidad de los registros de caudales necesarios en un estudio hidrológico, las mediciones se pueden hacer de una manera continua o permanente o de una manera puntual o instantánea, las mediciones continuas de caudales requieren de la instalación de una estación medidora (limnimétrica) o de una estación registradora (limnigráfica).

Las mediciones aisladas, puntuales o instantáneas, se realizan en determinados momentos en que se desee conocer la magnitud de una corriente en particular.

La mayoría de los métodos de aforo se basan en la ecuación de continuidad ( $Q = V \times A$ ) donde  $V$  es la velocidad del cauce y  $A$  sección que es atravesada por la corriente.

#### 1.4.3.1 Tipos de Aforos

**Aforo volumétrico:** Se aplica generalmente en los laboratorios de hidráulica, ya que solo es funcional para pequeños caudales; sin embargo se pueden implementar también en pequeñas corrientes naturales

**Aforo con vertederos y canaletas:** Se utilizan principalmente en la medición de caudales en pequeñas corrientes, en canales artificiales y de laboratorio; su uso en corrientes naturales es muy restringido.

**Aforo con flotadores:** Son los más sencillos de realizar, pero también son los más imprecisos; por lo tanto, su uso queda limitado a situaciones donde no se requiera mayor precisión. Con este método se pretende conocer la velocidad media de la sección para ser multiplicada por el área, y conocer el caudal, según la ecuación de continuidad.

**Aforo con molinete o correntómetro:** Este método exige la medida de la velocidad mediante unos aparatos denominados molinetes, constituidos por una hélice o aspa que gira en función de la velocidad del agua. La velocidad lineal del agua queda entonces en función del número de vueltas dividido por el tiempo, cociente que se mide mediante un contador electrónico. La ecuación que relaciona el número de vueltas con la velocidad es  $v = a \cdot n + b$ , donde  $a$  y  $b$  son constantes del aparato y  $n$  es el número de vueltas partido por el tiempo. Esta ecuación de calibración depende del tipo de equipo y de la casa productora.

Para el desarrollo del proyecto investigativo se realizaron aforos en cada una de las seis estaciones de muestreo con un molinete SEBA UNIVERSAL.

#### **1.4.4 Parámetros analizados**

El modelo matemático de Streeter & Phelps utiliza los parámetros químicos como oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno (OD y DBO), para la modelación y determinación de la calidad de agua en el río que se analiza.

**Oxígeno Disuelto (OD):** Es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua, este parámetro indica la contaminación del agua o lo bien que esta se encuentra para que exista vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

El oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, por lo que están muy influidos por las turbulencias del río (que aumentan el OD) o ríos sin velocidad (en los que baja el OD). Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, por lo que ríos con muchas plantas en días de sol pueden presentar sobresaturación de OD. Otros factores como la salinidad, o la altitud (debido a que cambia la presión) también afectan los niveles de OD.

Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura. El agua más fría puede contener más oxígeno en ella que el agua más caliente.

Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 7 y 12 partes por millón (ppm o mg/l). A veces se expresan en términos de Porcentaje de Saturación.

**Demanda Biológica de Oxígeno (DBO):** Se define como DBO de un líquido a la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaerobias facultativas: Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Bacillus), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se expresa en mg/l.

Es un parámetro indispensable cuando se necesita determinar el estado o la calidad del agua de ríos, lagos, lagunas o efluentes.

Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla).

Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20 °C; esto se indica como DBO<sub>5</sub>.

Según las normativas, se fijan valores de DBO máximo que pueden tener las aguas residuales, para poder verterlas a los ríos y otros cursos de agua. De acuerdo a estos valores se establece, si es posible descargarlas directamente o si deben recibir un tratamiento previo.

#### **1.4.5 Modelación con el Software WASP 7.4**

El software de Simulación de Calidad de Agua "WASP 7.4", es una versión de windows reforzada de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA). Es un programa de fácil manejo que permite estructurar uno, dos, y tres modelos dimensionales; así como definir las especificaciones de los coeficientes del intercambio tiempo-constantas, cargas desechadas,

condiciones de los límite de calidad agua; y los procesos cinéticos, todos dentro de la estructura del modelado sin tener que reescribir sus codificaciones.

La modelación con el software WASP 7.4 ayuda a los usuarios a interpretar y predecir los cambios en la calidad de agua debido a los fenómenos naturales y la polución artificial.

Este software trabaja con dos modelos subalternos cinéticos para simular dos clases mayores de problemas de calidad de agua: la polución convencional (involucrando oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno, nutrientes) y la polución tóxica (involucrando químicos orgánicos, metales, y sedimento).

## **CAPITULO II**

### **CASO DE ESTUDIO**

#### **2.1 Localización de la Sub cuenca del Río Yacuambi**

Uno de los ríos que en el Ecuador se ve afectado por la contaminación es el Yacuambi, que se encuentra ubicado en la provincia de Zamora Chinchipe. Este forma parte de la reserva ecológica que lleva su mismo nombre, el cual es de gran importancia para nuestro país, sus aguas son utilizadas por las poblaciones asentadas en su ribera, las cuales le dan diferentes usos como alimentación, agricultura, ganadería y aseo entre otros. Estos usos así como el mal manejo de residuos tanto sólidos como líquidos han conducido a la contaminación.

El cantón Yacuambi se localiza al Norte de la provincia de Zamora Chinchipe, en la cordillera Oriental Zona Subandina con altitudes que varían entre 1100 á 3650 m.s.n.m., su temperatura promedio anual es de 20°C y posee precipitaciones medias anuales que van de 2500 á 3000 mm. Abarca ecosistemas del subtrópico y trópico, conformado por vegetación arbórea nativa muy espesa, con cuencas y sub cuencas de gran importancia para la región. La población del cantón es de 6,465.00 habitantes, la cual está conformada en su mayoría por colonos procedentes de la Provincia de Loja (Saraguros), Azuay y el Oro, su actividad productiva se basa en la agricultura y la ganadería, existiendo un mínimo porcentaje que se dedica a la comercialización de productos o servicios en pequeña escala.

Así mismo, existen varias Organizaciones, Asociaciones, con vida jurídica que están dedicados a las actividades como: agricultura, ganadería y minería (Figuras 2.1, 2,2, y 2.3); que también ejecutan varios proyectos con las entidades Nacionales e Internacionales a través de la firma de convenios.

**Figura 2.1 Agricultura**



Fuente: Autora

**Figura 2.2 Ganadería**



Fuente: Autora

**Figura 2.3 Minería**



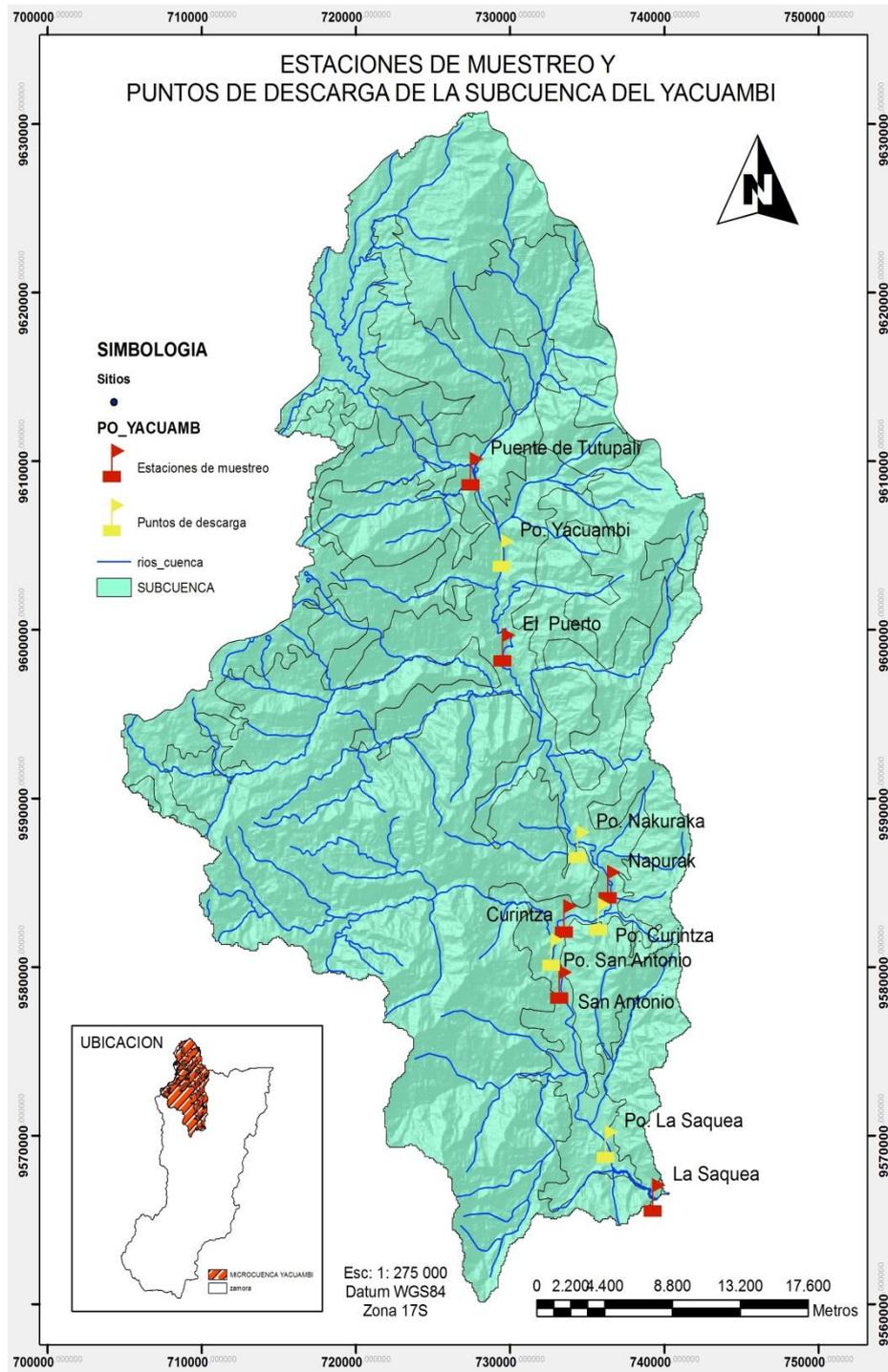
Fuente: Autora

## **2.2 Diseño de la red de monitoreo**

En la sub cuenca del río Yacuambi se diseñó la red de monitoreo seleccionando seis puntos estratégicos a lo largo del cauce analizado (tabla 3.1). Estos puntos se ubicaron cerca de las poblaciones que se encuentran asentadas en la ribera del río, para que de esta manera se pueda analizar el grado de contaminación existente en este debido a los vertidos directos de las descargas de aguas residuales que hacen cada uno de estos pueblos.

En la Figura 2.4 se indican las seis estaciones de la red de monitoreo las mismas que corresponden a los nombres de: Puente Tutupali, El Puerto, Napurak, Curintza, San Antonio y La Saquea este último que corresponde a la unión de río Yacuambi con el río Zamora.

**Figura 2.4 Estaciones de muestreo y puntos de descarga en la Subcuenca del Yacuambi**



**Fuente: Elaboración propia a partir de la carta topográfica del IGM de la Provincia de Zamora Chinchipe**

## 2.4 Muestreo en la Sub cuenca del río Yacuambi

Para el desarrollo de la investigación fue necesaria la toma de muestras en cada una de las estaciones que se ubicaron a lo largo del cauce (Figura 2.5 y 2.6). Estas fueron tomadas aguas abajo de cualquier corriente tributaria que pudiera influir en las características de calidad del agua en el punto de descarga.

Para realizar el muestreo en cada una de las estaciones se basó en las normativas vigentes como son: NTE INEN 2176: 98 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de muestreo y NTE INEN 2169:98 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de las muestras. Se tomaron muestras representativas en cada una de las estaciones de tal manera que se permita realizar el análisis de laboratorio correspondiente, las fechas y horas de los muestreos realizados se pueden observar en la tabla 2.1.

Dentro de los parámetros tomados en situ se encuentran el OD y la temperatura, mientras que la DBO se la determinó en el laboratorio.

**Tabla2.1 Fechas de muestreos en las estaciones del río Yacuambi**

Fecha de muestreo	Muestras	Estaciones de muestreo	Hora (am)	Condición Atmosférica
29/11/2010	M1	E1	9:45	Nublado
		E2	11:13	Soleado
		E3	11:50	Soleado
		E4	12:26	Soleado
		E5	13:02	Soleado
		E6	13:35	Soleado
22/09/2011	M2	E1	10:15	Nublado
		E2	12:07	Nublado
		E3	12:57	Soleado
		E4	13:28	Soleado
		E5	14:00	Soleado
		E6	14:40	Nublado

Fecha de muestreo	Muestras	Estaciones de muestreo	Hora (am)	Condición Atmosférica
19/10/2011	M3	E1	12:47	Soleado
		E2	14:17	Soleado
		E3	15:17	Soleado
		E4	15:53	Soleado
		E5	16:29	Soleado
		E6	17:29	Soleado
07/12/2011	M4	E1	10:26	Precipitación
		E2	11:44	Precipitación
		E3	12:36	Soleado
		E4	13:03	Soleado
		E5	13:29	Soleado
		E6	14:14	Soleado
23/01/2012	M5	E1	9:50	Nublado
		E2	13:00	Precipitación
		E3	14:52	Nublado
		E4	15:33	Soleado
		E5	16:00	Soleado
		E6	17:05	Soleado

**Fuente: Evolución de la calidad del agua en el río Yacuambi en el tramo comprendido desde la formación del Río Tutupali hasta la intersección del Río Yacuambí con el Río Zamora, en la provincia de Zamora Chinchipe”, 2012**

Además se realizaron muestreos en las descargas de aguas residuales siguiendo las normativas antes mencionadas de cada una de las poblaciones (Figura 2.7), de igual manera se tomó la temperatura y en situ el OD aplicando el método de ensayo Electroquímico, Standard Methods 4500-O G, mientras que la DBO se ensayó en el laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja tal como se muestra la Figura 2.8, siguiendo el método de ensayo denominado Respirométrico AOAC 973.44. Los puntos de muestreo de las descargas de aguas residuales llevan el mismo nombre de las estaciones puesto que estas se encuentran ubicadas en el mismo sector.

**Figura 2.5 Toma de muestras en las Estaciones**



**Figura 2.6 Muestreo en el cauce**



Fuente: Evolución de la calidad del agua en el río Yacuambi en el tramo comprendido desde la formación del Río Tutupali hasta la intersección del Río Yacuambí con el Río Zamora, en la provincia de Zamora Chinchipe”, 2012

**Figura 2.7 Muestreo de las descargas**



Fuente: Autora

**Figura 2.8 Ensayos en el laboratorio**



Fuente: Autora

## **2.5 Resultados de los ensayos de OD y DBO**

A lo largo del área de estudio se ubicaron 6 estaciones, realizando 5 muestreos en cada uno de ellas. Las estaciones fueron georeferenciada con GPS (Sistema de Posicionamiento Global) marca Garmin eTrex (Tabla 2.2). Además se tomaron muestras de las descargas de aguas residuales de los pueblos que se asientan en la ribera del Río Yacuambi (Tabla 2.3).

Como se ha mencionado anteriormente las aguas del río Yacuambi son utilizadas para diferentes usos entre estos están: uso doméstico, agricultura, entre otro. Es por esta razón que se ha realizado la evaluación de la calidad de agua de este cauce, determinando con los análisis de laboratorio que el estado actual del río es contaminado según el Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua en el Anexo I, donde indica que el límite máximo permisible de OD para consumo humano debe ser no menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l, mientras que el límite máximo permisible para DBO es de 2 mg/l.

En la tabla 2.4 se muestran los resultados de los análisis de laboratorio de cada de las estaciones de muestreo, así como también, el análisis estadísticos de estos. Es importante recalcar que se ha trabajado con las medias de los parámetros químicos muestreados (OD y DBO).

**Tabla 2.2. Coordenadas de las estaciones de muestreo en el cauce del río Yacuambi**

ESTACIONES DE MUESTREO		COORDENADAS GEOGRÁFICAS	ALTITUD
PARROQUIA	SITIO		m.s.n.m
Tutupali	Puente Tutupali	03°31'53.4" S 78°57'05.5" O	1325.3
28 de Mayo	El Puerto	03°37'33.1" S 78°55'57.5" O	1027.5
La Paz	Napurak	03°45'09.5" S 78°52'15.3" O	931.2
La Paz	Curintza	03°46'15.8" S 78°53'46.9"	888
La Paz	San Antonio	03°48'23.2" S 78°53'57.1" O	870.4
Guadalupe	La Saquea	03°54'59.1" S 78°50'09.8" O	826.2

**Fuente: Autora**

**Tabla 2.3 Coordenadas de los puntos de descargas de las comunidades cercanas al río**

Puntos de descarga	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	ALTITUD
		m.s.n.m
Puente Tutupali	03°38'30.08" S 78°55'06.6" O	1107
Napurak	03°44'87.8" S 78°52'29.3" O	924
Curintza	03°46'26.3" S 78°53'9.11"	880
San Antonio	03°48'28.1" S 78°53'09.11" O	865
La Saquea	03°50'76.2" S 78°53'39.4" O	859

Fuente: Autora

**Tabla 2.4 Resultados de laboratorio de OD y DBO**

Estaciones de Muestreo		Oxígeno Disuelto	DBO	Temperatura ambiente	Temperatura agua
Puente Tutupali		mg/l	mg/l	°C	°C
DATOS	muestreo 1	9.18	5.00	23.20	16.00
	muestreo 2	9.28	28.00	23.40	15.30
	muestreo 3	9.20	13.00	33.80	14.90
	muestreo 4	9.82	33.00	23.50	16.20
	muestreo 5	9.22	7.00	25.80	16.40
PARAMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	9.18	5.00	23.20	14.90
	Máximo	9.82	33.00	33.80	16.40
	Suma	46.70	86.00	129.70	78.80
	Media	9.34	17.20	25.94	15.76
	Mediana	9.22	13.00	23.50	16.00
El Puerto					
DATOS	muestreo 1	9.04	8.00	36.20	18.10
	muestreo 2	9.18	26.00	27.10	17.20
	muestreo 3	8.87	21.00	33.50	17.70
	muestreo 4	9.79	32.00	36.50	17.70
	muestreo 5	9.06	6.00	27.00	18.20
PARAMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	8.87	6.00	27.00	17.20
	Máximo	9.79	32.00	36.50	18.20
	Suma	45.94	93.00	160.30	88.90
	Media	9.19	18.60	32.06	17.78
	Mediana	9.06	21.00	33.50	17.70

Estaciones de Muestreo		Oxígeno Disuelto	DBO	Temperatura ambiente	Temperatura agua
Napurak		mg/l	mg/l	°C	°C
DATOS	muestreo 1	8.67	11.00	32.00	21.30
	muestreo 2	9.01	32.00	27.80	19.40
	muestreo 3	8.80	26.00	32.80	19.10
	muestreo 4	9.61	37.00	30.50	18.80
	muestreo 5	8.87	7.50	32.90	19.30
PARAMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	8.67	7.50	27.80	18.80
	Máximo	9.61	37.00	32.90	21.30
	Suma	44.96	113.50	156.00	97.90
	Media	8.99	22.70	31.20	19.58
	Mediana	8.87	26.00	32.00	19.30
<b>Curintza</b>					
DATOS	muestreo 1	8.77	6.00	32.00	23.30
	muestreo 2	9.14	27.00	25.20	18.70
	muestreo 3	8.82	18.00	34.00	19.50
	muestreo 4	9.54	38.00	30.60	19.50
	muestreo 5	8.67	8.50	40.50	20.20
PARAMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	8.67	6.00	25.20	18.70
	Máximo	9.54	38.00	40.50	23.30
	Suma	44.94	97.50	162.30	101.20
	Media	8.99	19.50	32.46	20.24
	Mediana	8.82	18.00	32.00	19.50
<b>San Antonio</b>					
DATOS	muestreo 1	8.64	9.50	34.00	22.90
	muestreo 2	9.07	22.00	25.90	18.90
	muestreo 3	8.71	21.00	29.70	19.90
	muestreo 4	9.42	63.00	32.00	20.10
	muestreo 5	8.57	9.00	34.10	20.60
PARAMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	8.57	9.00	25.90	18.90
	Máximo	9.42	63.00	34.10	22.90
	Suma	44.41	124.50	155.70	102.40
	Media	8.88	24.90	31.14	20.48
	Mediana	8.71	21.00	32.00	20.10
<b>La Saquea</b>					
DATOS	muestreo 1	8.63	14.00	34.00	24.70
	muestreo 2	8.85	22.00	26.40	19.20
	muestreo 3	8.53	24.00	27.90	21.50
	muestreo 4	9.01	64.00	32.00	21.10
	muestreo 5	8.46	13.00	32.40	21.30

<b>PARAMETROS ESTADÍSTICOS</b>	Mínimo	8.46	13.00	26.40	19.20
	Máximo	9.01	64.00	34.00	24.70
	Suma	43.48	137.00	152.70	107.80
	Media	8.70	27.40	30.54	21.56
	Mediana	8.63	22.00	32.00	21.30

Fuente: Autora

Para la obtención de los datos hidráulicos que se observan en la tabla 2.5 se realizaron aforos en las 6 estaciones de muestreo con un molinete SEBA UNIVERSAL, (Figura 2.9, 2.10, 2.11, 2.12) de número de HELICE = 1.2768, el cálculo de cada uno de los aforos se encuentran en el Anexo 1, y para los aforos de las descargas de aguas residuales de las poblaciones aledañas se lo ejecutó mediante el método volumétrico.

Las ecuaciones del molinete que se utilizaron para el cálculo de los aforos son:

$$V = 0.2915N + 0.138 \quad \text{Para } N \text{ menor que } 0.40 \quad (1.1)$$

Donde:

N = Número de vueltas por segundo

$$V = 0.3203N + 0.024 \quad \text{Para } N \text{ menor que } 16.00 \quad (1.2)$$

Donde:

N = Número de vueltas por segundo

Figura 2.9 Armado de molinete



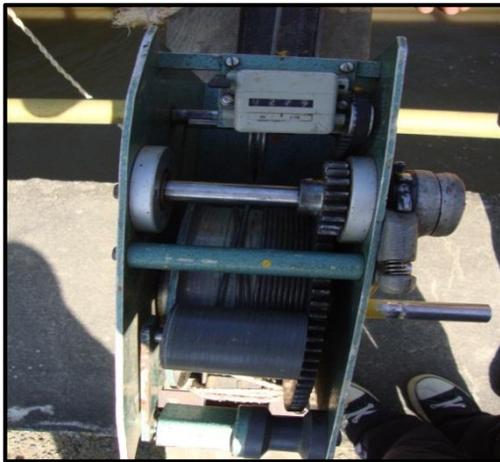
Fuente: Autora

Figura 2.10 Aforo con molinete Seba Universal



Fuente: Autora

**Figura 2.11 Medidor de profundidad**



**Fuente: Autora**

**Figura 2.12 Lectura con el contador**



**Fuente: Autora**

**Tabla 2.5. Datos hidráulicos en las estaciones de muestreo**

ESTACIONES DE MUESTREO	DATOS AFORO RIO		
	CAUDAL	VELOCIDAD	PROFUNDIDAD
	m <sup>3</sup> /s	m/s	m
PuenteTutupali	112.84	4.68	2.6
El Puerto	97.02	0.89	3.34
Napuraka	74.89	0.93	2.97
Curintza	101.93	1.11	3.2
San Antonio	98.78	1.29	2.65
La Saquea	134.67	0.89	3.48

**Fuente: Autora**

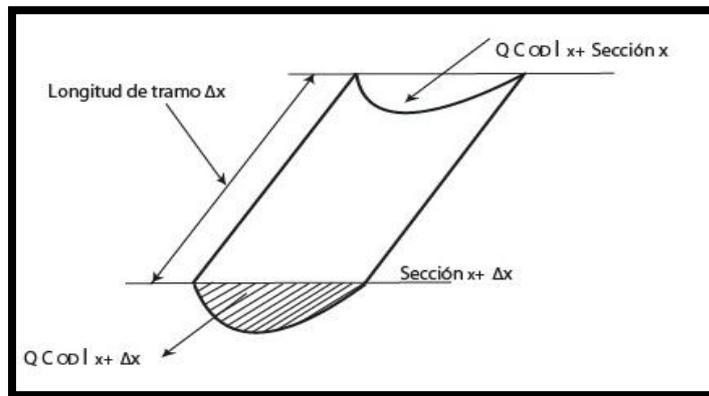
# CAPITULO III

## MODELACIÓN

### 3.1 Modelación de OD y DBO

El balance de masa de una especie considera los siguientes flujos:

Figura 3.1. Esquema del balance de masa



Fuente: Peralta, 2008

Empleando el principio de conservación de la masa, un balance de masa se expresa como:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} - \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación}$$

La nomenclatura de todas las variables se verán en el Anexo 9.

Según Chapra (1997), en el caso de un depósito abierto a la atmósfera el balance de masa para el Oxígeno Disuelto y la DBO se escribe de la siguiente manera.

$$V \frac{dO}{dt} = -k_d V DBO + k_a V (O_s - O) \quad (3.1)$$

Donde:

V = Velocidad

dO = Derivada de Oxígeno

$dt$  = Derivada del tiempo  
 $k_d$  = Constante de desoxigenación en la corriente receptora  
 $k_a$  = Constante de reaireación  
 $O_s$  = Saturación de oxígeno disuelto  
 DBO = Demanda bioquímica de oxígeno

$$V \frac{d(DBO)}{dt} = -k_d V DBO \quad (3.2)$$

Donde:

$V$  = Velocidad  
 $dt$  = Derivada del tiempo  
 DBO = Demanda bioquímica de oxígeno  
 $k_d$  = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

Kiely (1999), expresa la concentración de OD en términos de la deficiencia de oxígeno, considerando que cuando un residuo biodegradable se vierte a un curso de agua consume oxígeno, el cual sólo es renovado por la reaireación atmosférica.

$$D_o = O_s - OD_o \quad (3.3)$$

Donde:

$D_o$  = Déficit inicial de oxígeno disuelto  
 $O_s$  = Saturación de oxígeno disuelto  
 $OD_o$  = Oxígeno disuelto inicial en el balance de masa

La ecuación 3.3 puede ser diferencia para obtener:

$$\frac{dD}{dt} = -\frac{dO}{dt} \quad (3.4)$$

Donde:

$dD$  = Derivada del déficit de oxígeno  
 $dt$  = Derivada del tiempo  
 $dO$  = Derivada de Oxígeno

La ecuación 3.3 y 3.4 puede ser sustituida en la ecuación 3.2 y obtener

$$V \frac{dD}{dt} = k_d V D B O - k_a V D \quad (3.5)$$

Donde:

V = Velocidad

dD = Derivada del déficit de oxígeno disuelto

dt = Derivada del tiempo

k<sub>d</sub> = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

k<sub>a</sub> = Constante de reaireación

DBO = Demanda bioquímica de oxígeno

Así el uso del déficit simplifica la ecuación diferencial (Chapra, 1997).

Si DBO = DBO<sub>o</sub> y D = 0 a t = 0, las ecuaciones 3.1 y 3.5 podrán ser resueltas por,

$$DBO = DBO_o e^{-k_d t} \quad (3.6)$$

Donde:

DBO = Demanda bioquímica de oxígeno

DBO<sub>o</sub> = Demanda bioquímica de oxígeno en el balance de materia

t = Temperatura

k<sub>d</sub> = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

$$D = \frac{k_d DBO_o}{k_a - k_d} (e^{-k_d t} - e^{-k_a t}) \quad (3.7)$$

Donde:

D = Déficit de oxígeno disuelto

DBO<sub>o</sub> = Demanda bioquímica de oxígeno en el balance de materia

t = Temperatura

k<sub>d</sub> = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

k<sub>a</sub> = Constante de reaireación

Específicamente a la modelación de un río con una sola fuente puntual y continuo de DBO. Se caracteriza a través de un reactor de flujo de pistón con hidrología y geometría constante. Ésta es la manifestación más simple del modelo clásico de Streeter-Phelps 1925.

Donde el balance de masa se puede escribir como:

$$-V \frac{dDBO}{dx} - k_d DBO = 0 \quad (3.8)$$

Donde:

$V$  = Velocidad

$dDBO$  = Derivada Demanda bioquímica de oxígeno

$DBO$  = Demanda bioquímica de oxígeno

$dx$  = Derivada de la distancia

$k_d$  = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

Y

$$-V \frac{dD}{dx} + k_d DBO - k_a D = 0 \quad (3.9)$$

Donde:

$V$  = Velocidad

$dD$  = Derivada del déficit de oxígeno disuelto

$dx$  = Derivada de la distancia

$k_d$  = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

$k_a$  = Constante de reaireación

$DBO$  = Demanda bioquímica de oxígeno

Si  $DBO = DBO_o$  y  $D = D_o$  a  $t = 0$ , estas ecuaciones podrán ser resueltas por (Chapra, 1997):

$$DBO = DBO_o e^{-\frac{k_d x}{v}} \quad (3.10)$$

Donde:

- DBO = Demanda bioquímica de oxígeno
- $DBO_o$  = Demanda bioquímica de oxígeno en el balance de materia
- x = Distancia
- v = Velocidad
- $k_d$  = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

Y

$$D = D_o e^{-\frac{k_a x}{v}} + \frac{k_d DBO_o}{k_a - k_d} \left( e^{-\frac{k_d x}{v}} - e^{-\frac{k_a x}{v}} \right) \quad (3.11)$$

Donde:

- D = Déficit de oxígeno disuelto
- $D_o$  = Déficit inicial de oxígeno disuelto
- v = Velocidad
- x = Distancia
- $k_d$  = Constante de desoxigenación en la corriente receptora
- $k_a$  = Constante de reaireación
- DBO = Demanda bioquímica de oxígeno
- $DBO_o$  = Demanda bioquímica de oxígeno en el balance de materia

La ecuación anterior mide el déficit de oxígeno disuelto D a una distancia aguas abajo (x), conociendo el déficit inicial ( $D_o$ ), la velocidad promedio v y la DBO última ( $DBO_o$ ) y las constantes de desoxigenación ( $k_d$ ), y de reaireación ( $k_a$ ).

Ahora, se puede aplicar secuencialmente a una serie de tramos comprendidos entre fuentes o cursos de agua tributarios, adoptando los valores de  $DBO_o$  y  $D_o$  adecuado para cada tramo. En la tabla 3.1, se indican las condiciones aguas debajo de un punto de vertido, en función de las condiciones aguas arriba y de las características del vertido

Tabla 3.1 Balances de Materia

	Aguas arriba del vertido	Vertido	Aguas abajo del vertido
Caudal	$Q_R$	$Q_D$	$Q_o = Q_R + Q_D$
DBO	$DBO_R$	$DBO_D$	$DBO_o = (Q_R DBO_R + Q_D DBO_D) / Q_o$
Déficit de OD	$OD_R$	$OD_D$	$OD_o = (Q_R OD_R + Q_D OD_D) / Q_o$

Fuente: Metcalf, 1995

### 3.1.1 Constantes Cinéticas

La estimación de la constante cinética de primer orden para la transferencia de oxígeno desde el aire  $k_a$ , se realiza a partir de varios modelos a 20°C.

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

$$k_a = 3.93 \frac{v^{0.5}}{H^{1.5}} \quad (3.12)$$

Donde:

$k_a$  = Constante de reaireación

$V$  = Velocidad

$H$  = profundidad

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

Esta ecuación es usada preferentemente para flujos rápidos

$$k_a = 5.026 \frac{v}{H^{1.67}} \quad (3.13)$$

Donde:

$k_a$  = Constante de reaireación

$V$  = Velocidad

$H$  = profundidad

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

$$k_a = 5.32 \frac{v^{0.67}}{H^{1.85}} \quad (3.14)$$

Donde:

$k_a$  = Constante de reaireación

$V$  = Velocidad

$H$  = profundidad

Tal como se resume en la tabla 3.2, las fórmulas de O'Connor y Dobbins, Churchill, Owens y Gibbs fueron desarrolladas para diferentes tipos de corrientes. Covar (1976) encontró que las fórmulas se podían utilizar conjuntamente para predecir la reaireación por rangos de profundidad y combinación de velocidad.

**Tabla 3.2. Rangos de profundidad y velocidad para aplicar las expresiones de O'Connors y Dobbins, Churchill y Owens y Gibbs en determinación de la reaireación.**

Parámetro	O'Connors y Dobbins	Churchill	Owens y Gibbs
Profundidad (m)	0.3 – 9.14	0.61 – 3.35	0.12 - 0.73
Velocidad (m)	0.15 – 0.49	0.55 - 1.52	0.03 – 0.55

Fuente: Chapra, 1997

La cuantificación de los valores de los parámetros del modelo se realiza durante una calibración a priori, usando los valores de literaturas (teóricas y experimentales), que corresponden con la situación específica del sistema en estudio.

**Tabla 3.3. Coeficientes de aireación de 1<sup>er</sup> orden, para distintos ríos a 20°C**

Coeficiente $k_a$	valor	Unidades	Referencias
Ríos lentos profundos	0.1 – 0.4	1/d	Schnoor (1996), Tabla 6.3, p.246
Ríos condiciones típicas	0.4 – 1.5	1/d	Schnoor (1996), Tabla 6.3, p.246
Ríos veloces, profundos	1.5 – 4.0	1/d	Schnoor (1996), Tabla 6.3, p.246
Ríos veloces, poco profundos	4.0 – 10.0	1/d	Schnoor (1996), Tabla 6.3, p.246

**Fuente: Chapra, 1997**

La estimación de la constante cinética del primer orden para el consumo de oxígeno por acción metabólica  $k_d$ , se realiza a partir de la tendencia expresada por Hydrosience, 1971 a 20°C (Chapra, 1997):

$$k_d = 0.3 \left( \frac{H}{8} \right)^{-0.434} \quad (3.15)$$

$$0 \leq H \leq 2.4 \text{m}$$

Donde:

$k_d$  = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

H = Profundidad

y

$$k_d = 0.3 \quad (3.16)$$

$$H > 2.4 \text{m}$$

### 3.1.2 Efectos de la temperatura

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

Mediante un balance de calor para la temperatura se obtiene la siguiente ecuación

$$T = \frac{[(Q_R \times T^{\circ}_R) + (Q_D \times T^{\circ}_D)]}{Q_o}$$

(3.17)

Donde:

- T = Temperatura de la mezcla
- Q<sub>R</sub> = Caudal del río
- Q<sub>D</sub> = Caudal de descarga
- Q<sub>o</sub> = Caudal del balance de materia
- T<sup>°</sup><sub>R</sub> = Temperatura del río
- T<sup>°</sup><sub>D</sub> = Temperatura de la descarga

### 3.1.3 Correcciones de las constantes cinéticas por temperatura

En la calidad de agua se acostumbra a tomar como temperatura de referencia 20°C, la siguiente ecuación se usa generalmente para corregir las constantes por el efecto de la temperatura.

$$k(T) = k_{20} \theta^{(T-20)} \quad (3.18)$$

Donde:

- K(T) = Corrección de temperatura
- K<sub>20</sub> = factor de corrección
- T = Temperatura de la mezcla

**Tabla 3.4. Factores  $\theta$ , para la obtención de las constantes cinéticas reales**

$\theta_a$	1.005 – 1.030	Thomam and Mueller (1987),p282
	<b>1.024</b>	Chapra (1997), p377
	<b>1.024</b>	Schnoor (1996), Tabla 6.3 p.246
	1.024 – 1.037	Schnoor (1996), Tabla 3.1 p.98
$\theta_b$	1.048	Schnoor (1996), p.238; Tabla 6.3 p.246
	<b>1.047</b>	Schnoor (1996), Tabla 3.1 p.98
	1.04	Thomam and Mueller (1987),p297

Fuente: Chapra, 1997

### 3.1.4 Concentración de Saturación del Oxígeno Disuelto en el río

Para determinar la saturación del oxígeno disuelto se usa varias metodologías como la Ley de Henry o el uso de una tabla que presenta la concentración de OD en función de la temperatura. (Metcalf, 1995).

**Tabla3.1. Oxígeno Disuelto en función de la temperatura**

OXIGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA					
Temperatura °C	OD (mg/l)	Temperatura °C	OD (mg/l)	Temperatura °C	OD (mg/l)
0	14.6	11	11.0	22	8.7
1	14.2	12	10.8	23	8.6
2	13.8	13	10.5	24	8.4
3	13.5	14	10.3	25	8.3
4	13.1	15	10.1	26	8.1
5	12.8	16	9.9	27	8.0
6	12.5	17	9.7	28	7.8
7	12.1	18	9.6	29	7.7
8	11.8	19	9.3	30	7.6
9	11.6	20	9.1	31	7.5
10	11.3	21	8.9		

Fuente: Metcalf,1995

### 3.1.5 Concentración de OD

Se estima a partir de la diferencia entre la concentración de saturación de OD y el Déficit de OD.

$$OD = O_s - D_o \quad (3.19)$$

Donde:

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

$O_s$  = Saturación del oxígeno disuelto

$D_o$  = Déficit inicial de oxígeno disuelto

### 3.1.6 Condiciones Críticas del Modelo

A partir de la ecuación 3.11, que determina el déficit de oxígeno en función de la distancia aguas debajo de una corriente, se puede calcular anticipadamente dónde ocurre el tiempo crítico o lugar donde se presentan los niveles mínimos de oxígeno cuando se tiene una descarga. Si se deriva la ecuación 3.11 y se iguala a cero, conociendo que en una expresión matemática se presenta un valor mínimo cuando el valor de la primera derivada es cero y el de la segunda derivada es menor de cero, es decir, negativo, entonces, el tiempo crítico estará dado por la siguiente ecuación:

$$t_c = \frac{1}{(k_a - k_d)} \ln \left\{ \frac{k_a}{k_d} \left[ 1 - \frac{D_o(k_a - k_d)}{k_d \times DBO_o} \right] \right\} \quad (3.20)$$

Donde:

$t_c$  = Tiempo crítico

$D_o$  = Déficit inicial de oxígeno disuelto

$DBO_o$  = Demanda bioquímica de oxígeno en el balance de materia

$k_d$  = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

$k_a$  = Constante de reaireación

La concentración de oxígeno disuelto en el tiempo crítico ( $t_c$ ) o en la distancia crítica:

$$x_c = V \times t_c \quad (3.21)$$

Donde:

- $x_c$  = Distancia crítico
- $V$  = Velocidad
- $t_c$  = Tiempo crítico

Sera denominará el oxígeno disuelto crítico ( $OD_c$ ) o concentración mínima después de que una descarga de aguas residuales entra a una corriente de agua.

$$D_c = \frac{k_d}{k_a} DBO_o \times e^{(-k_d \times t_c)} \quad (3.22)$$

Donde:

- $D_c$  = Déficit de oxígeno disuelto crítico
- $DBO_o$  = Demanda bioquímica de oxígeno en el balance de materia
- $k_d$  = Constante de desoxigenación en la corriente receptora
- $k_a$  = Constante de reaireación
- $t_c$  = Tiempo crítico

Y

$$OD_c = O_s - D_c \quad (3.23)$$

Donde:

- $OD_c$  = Oxígeno disuelto crítico
- $O_s$  = Saturación del oxígeno disuelto
- $D_c$  = Déficit de oxígeno disuelto crítico

### 3.3 Decaimiento de la DBO en la distancia crítica $x_c$

La demanda bioquímica de oxígeno que se encuentra sujeta a un proceso de decaimiento de primer orden (Metcalf, 1995), permite estimar la DBO en el punto crítico.

$$DBO_c = DBO_o \times e^{(-k_d \times t_c)} \quad (3.24)$$

Donde:

$DBO_c$  = Demanda bioquímica de oxígeno crítica

$DBO_o$  = Demanda bioquímica de oxígeno en el balance de materia

$k_d$  = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

$t_c$  = Tiempo crítico

### 3.4 Validación del Modelo

La validación del modelo, se define como la diferencia absoluta entre la concentración de oxígeno disuelto teórico y experimental dividido por la concentración experimental.

$$Error \% = \left| \frac{OD - OD_o}{OD_o} \right| \times 100 \quad (3.25)$$

Donde:

Error% = Validación del modelo

OD = Oxígeno disuelto

$OD_o$  = Déficit inicial de oxígeno disuelto

### 3.5 Calibración de Modelo

La calibración del modelo de calidad del agua es un proceso complejo que procura la obtención de un conjunto de valores de los parámetros de calibración que minimicen la discrepancia entre los datos medidos en campo y los calculados por el modelo.

Este es el método tradicional donde, a través del ensayo y error, el modelador varía los parámetros de calibración y comprueba simultáneamente la bondad

del ajuste del modelo, normalmente en un gráfico de datos de campo contra las respuestas del modelo.

Sin embargo, aceptando que la calibración del modelo es un proceso complejo, que requiere de métodos de calibración bien estructurados, se siguieron las metodologías propuestas por López et al, 2003 (Efecto Relativo) y por Freer et al, 1996 y Camacho et al, 2002 (Estimación de la Incertidumbre Generalizada, GLUE).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1 Modelo de Streeter-Phelps

El modelo de Streeter-Phelps, requiere de muchas variables y parámetros como el OD y la DBO, mismos que fueron seleccionados dentro del análisis previo de los resultados de laboratorio, donde se pudo determinar que no existe contaminación por metales pesados; sino es producto de materia orgánica resultado de las descargas directas de las aguas residuales de las poblaciones asentadas en la ribera del río en estudio. Para todas las variables utilizadas en el modelo fue necesario realizar balances de materia, para calcular las concentraciones de entrada que se requieren el mismo. También se realizó un balance de energía, para la obtención de la temperatura de mezcla, luego de las descargas con las cuales se estima la concentración de saturación de oxígeno.

**Tabla 4.1. Valores ingresados de las estaciones de muestreo a lo largo del cauce para el modelo de Streeter-Phelps**

ESTACIONES DE MUESTREO	DATOS AFORO RIO			PARAMETROS ANALIZADOS		
	CAUDAL	VELOCIDAD	PROFUNDIDAD	OD	DBO	TEMPERATURA AGUA
	m <sup>3</sup> /s	m/s	m	mg/l	mg/l	°C
PuenteTutupali	112.84	4.68	2.6	9.34	17.20	15.76
El Puerto	97.02	0.89	3.34	9.19	18.60	17.78
Napuraka	74.89	0.93	2.97	8.99	22.70	19.58
Curintza	101.93	1.11	3.2	8.99	19.50	20.24
San Antonio	98.78	1.29	2.65	8.88	24.90	20.48
La Saquea	134.67	0.89	3.48	8.70	27.40	21.56

Fuente: Autora

**Tabla 4.2. Valores ingresados de las descargas de aguas residuales para el modelo de Streeter-Phelps**

SITIO DE DESCARGA	PARAMETROS ANALIZADOS					
	CAUDAL	OXIGENO DISUELTO	DBO	TEMPERATURA	PH	% OXIGENO DISUELTO
	m <sup>3</sup> /s	mg/l	mg/l	°C		
Puente Tutupali	0.0026	4.10	78	22.2	7.47	53.9
Napuraka	0.0021	8.19	20.5	22.7	6.84	106.9
Curintza	0.055	3.31	24	24.8	7.09	44.8
San Antonio	0.0272	6.18	22	24.4	7.14	82.6
La Saquea	0.0591	8.93	29	24.1	7.42	86.2

**Fuente: Autora**

Para la primera modelación se considera el río como un reactor de flujo de pistón, donde las concentraciones de salida de cada tramo, sirvieron como condición límite para el próximo tramo. En los puntos de vertimiento se realizó un balance de masa, para considerar la descarga de efluente de llegada al río.

Se realizaron cinco simulaciones a lo largo del cauce en estudio, para evaluar el comportamiento del modelo.

**Tabla 4.3. Distancias entre tramos de simulación.**

Tramos	Puente Tutupali – El Puerto	El Puerto - Napurak	Napurak - Curintza	Curintza – San Antonio	San Antonio – La Saquea
Distancia (m)	13522.85	20187.37	4997.65	5377.79	18285.13

**Fuente: Autora**

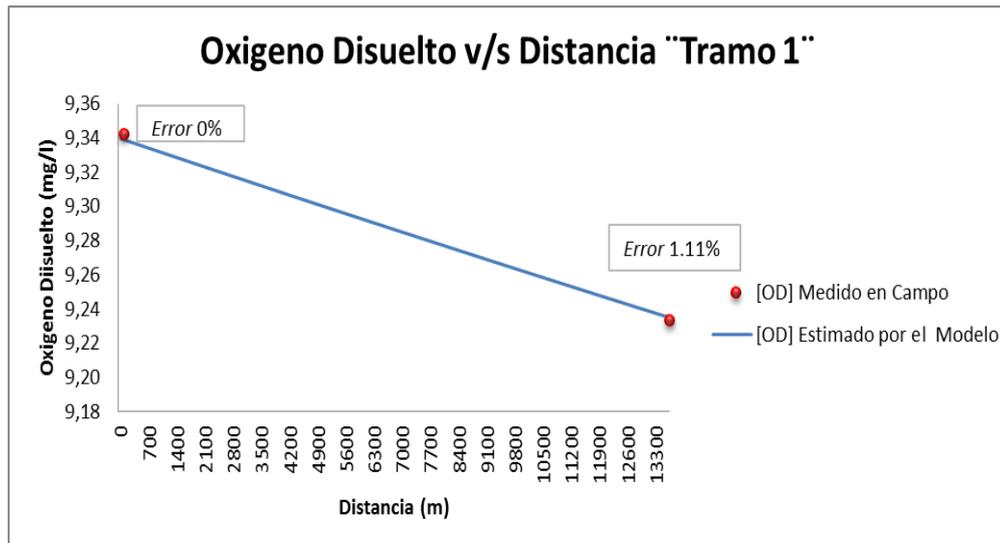
La estimación de las constantes cinéticas de primer orden ( $k_a$  y  $k_d$ ), se realizó durante una calibración a priori, usando los valores de literatura (teóricos y experimentales), que corresponde con la situación específica del sistema en estudio. Tanto para  $k_a$ , como para  $k_d$ , se consideró el efecto de la temperatura, corrigiendo cada una de las constantes a la temperatura del medio.

En el anexo 2, se presentan ejemplos de cálculo del modelo de Streeter-Phelps, aplicado al tramo 1 del río Yacuambi. Los resultados del modelo, se ven en los anexos del 3 al 7.

## 4.2 Simulación y Proyección del modelo

### 4.2.1 Simulación del Tramo 1 Tutupali – El Puerto

Gráfico 4.1. Simulación OD obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 1  
Tutupali – El Puerto.



Fuente: Autora

Para realizar la simulación del modelo de Streeter-Phelps se ha seguido todo el procedimiento que se indica en el ejemplo de cálculo del anexo 2, en donde la variable que cambia es la distancia del tramo.

Para que un modelo sea confiable es importante obtener matemáticamente los mismos resultados que fueron muestreados, y a partir de este resultado continuar con la modelación. En la validación los resultados obtenidos se encuentran expresados en términos de error y porcentuales lo que indica cuanto es la diferencia de decaimiento de las concentraciones en el cauce analizado.

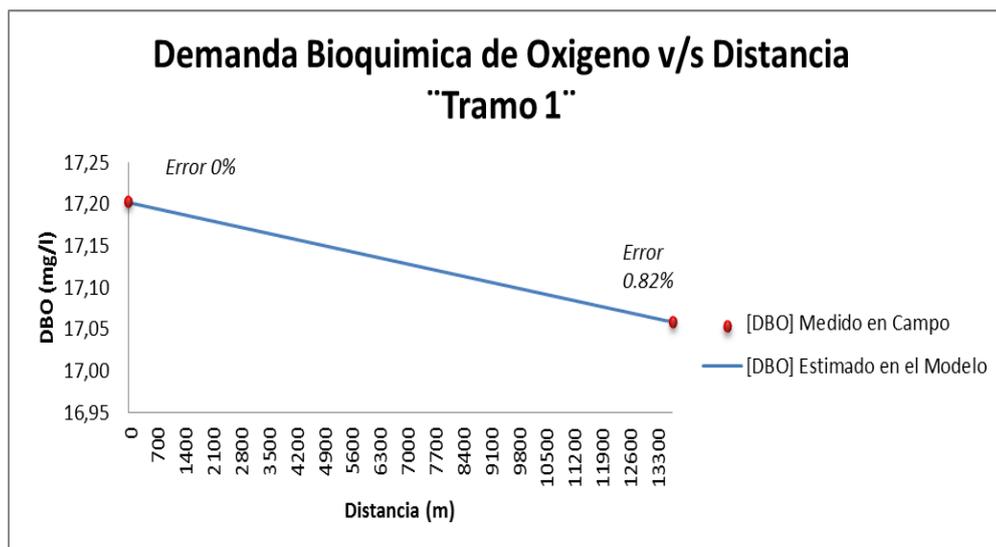
Al analizar los datos de campo con los datos teóricos de OD, se obtiene una validación buena del modelo en la estación Tutupali – El Puerto con un error inicial de 0% y al final del tramo con un error de 1.11%.

Esta situación que se refleja en el tramo 1 nos indica que la concentración de oxígeno disuelto medida en campo es de 9.34 mg/l, mientras que la concentración de oxígeno disuelto estimado por el modelo es de 9.24 mg/l.

En este tramo se encuentra la descarga de aguas residuales de la población de Yacuambi, según los datos tomados en campo la concentración de OD por aguas residuales es de 4.1 mg/l, y de DBO es de 78 mg/l, es decir, que la contaminación no es muy alta comparando con los límites permisibles que indica en la Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua Anexo I Estos valores de la descargas disminuirían notablemente si tuviesen un tratamiento previo a ser arrojadas al cauce principal.

**Gráfico 4.2. Simulación DBO obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 1**

**Tutupali – El Puerto.**



**Fuente: Autora**

En el gráfico 4.2 se puede comparar los resultados de DBO obtenidos en campo y con el modelo. Además se muestra la variación porcentual desde que inicia el modelo hasta el final del tramo siendo 0,82% su resultado.

Las concentraciones de DBO en el tramo 1 son de 17.20 mg/l medidas en campo y de 17.05 mg/l estimadas por el modelo.

En condiciones críticas se estimó mediante el modelo que las concentraciones de OD es de 8.14 mg/l y la de DBO es de 13.05 mg/l.

**Tabla 4.4. Matriz de Correlaciones en el Tramo 1**

Matriz de correlaciones				
X (m)	1			
D (mg/l)	<b>0.99</b>	1		
OD (mg/l)	<b>0.99</b>	<b>1</b>	1	
DBO (mg/l)	<b>1</b>	<b>0.99</b>	<b>0,99</b>	1
t (d)	1	<b>0,99</b>	<b>0.99</b>	<b>1</b>
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)

Fuente: Autora

Se observa que existe una relación o correlación alta positiva, entre variables marcadas con negro, es decir, que al aumentar una variable la otra tiene también tendencia a aumentar y una relación inversa o negativa entre las variables marcadas con rojo, indica que al aumentar una variable la otra tiene tendencia a disminuir.

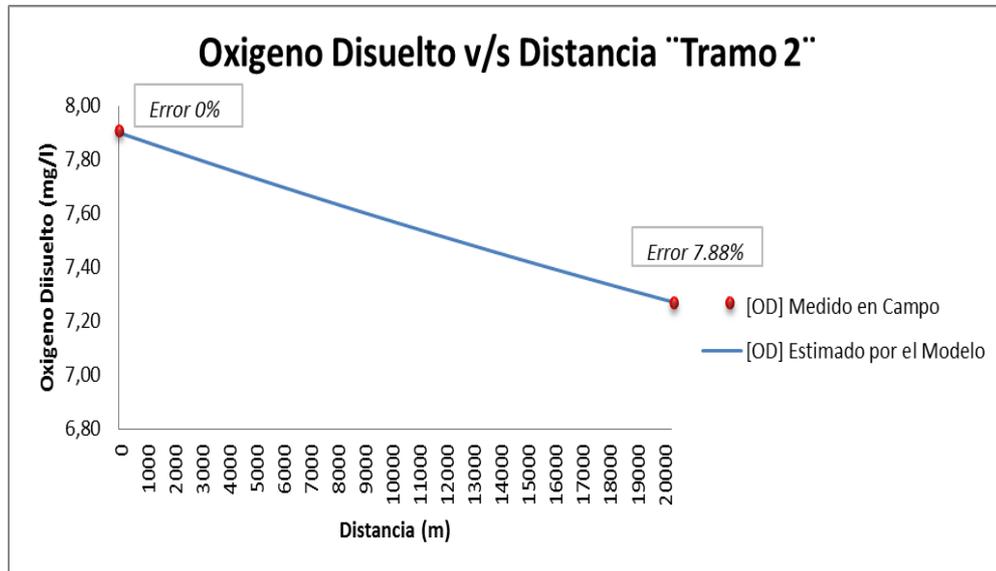
Las mayores correlaciones positivas las presenta el Déficit de oxígeno y la distancia que recorre en este tramo, también la relación entre la DBO y el OD y finalmente el Déficit de oxígeno y el tiempo, todos estos con una correlación de 0.99.

Mientras que las mayores correlaciones negativas las presentan el OD y el Déficit de oxígeno, también la DBO y la distancia y finalmente la DBO y el tiempo; todas estas correlaciones son de 1. Y la menor correlación negativa corresponde a las siguientes: OD y la distancia, DBO y Déficit de oxígeno y para culminar estas correlaciones el OD y el tiempo; estas correlaciones negativas son de 0.99.

La validación del modelo en el tramo 1 desde Tutupali hasta El Puerto se indica en el anexo 3 y 3A, así también se mostrará las correlaciones realizadas en el mismo.

## 4.2.2 Simulación del Tramo 2 El Puerto – Napurak

Gráfico 4.3. Simulación OD obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 2 El Puerto – Napurak



Fuente: Autora

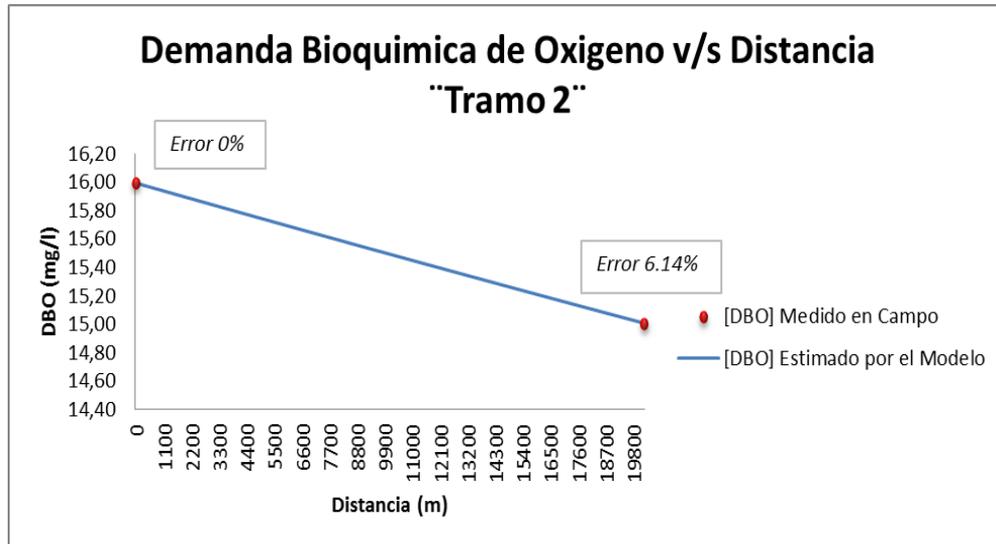
La validación de resultados en el tramo 2 que comprende desde El Puerto hasta Napurak es bastante buena con un error al final del tramo de 7.88%, es decir, con una gran baja de contaminación a lo largo del tramo.

La concentración de OD medida en campo es de 7.89 mg/l, mientras que por medio del modelo el resultado obtenido es de 7.27 mg/l.

Estos resultados se ven corroborados con el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto medido en campo el mismo que tiene un valor de 106.9%. Evidenciando así la buena calidad de agua que posee este tramo analizado.

Gráfico 4.4. Simulación DBO obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 2 El

Puerto – Napurak



Fuente: Autora

Con respecto a la DBO en el tramo 2 se observa un error inicial de 0% y al final del tramo un error de 6.14%, indicando este resultado la disminución de contaminación en el tramo.

Este resultado también se muestra con el grado de concentración de la DBO tomado en campo y estimado por el modelo con valores de 15.99 mg/l y 15.00 mg/l respectivamente.

Las concentraciones en condiciones críticas para OD es de 5.77 mg/l y la de DBO es de 9.71 mg/l.

Tabla 4.5. Matriz de Correlaciones en el Tramo 2

Matriz de correlaciones				
X (m)	1			
D (mg/l)	0.99	1		
OD (mg/l)	0.99	1	1	
DBO (mg/l)	0.99	0.99	0.99	1
t (d)	1	0.99	0.99	0.99
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)

Fuente: Autora

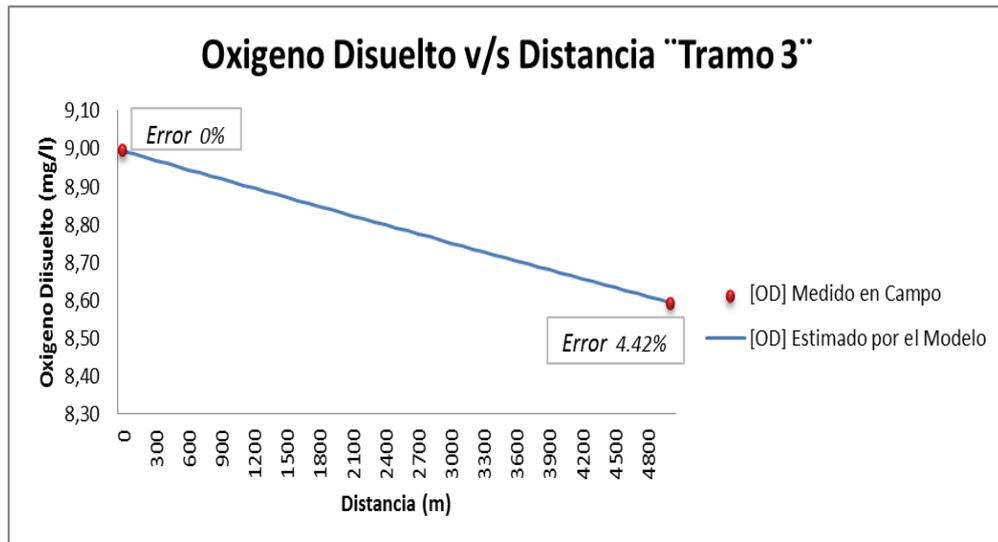
Las correlaciones obtenidas en el tramo 2 son muy parecidas a las del tramo 1 su única diferencia se encuentra que la correlación negativa entre DBO y la distancia es de 0.99.

La validación del modelo en el tramo 2 desde El Puerto hasta Napuraka se podrá ver en el anexo 4 y 4A.

### 4.2.3 Simulación del Tramo 3 Napurak – Curintza

Gráfico 4.5. Simulación OD obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 3

Napuraka - Curintza



Fuente: Autora

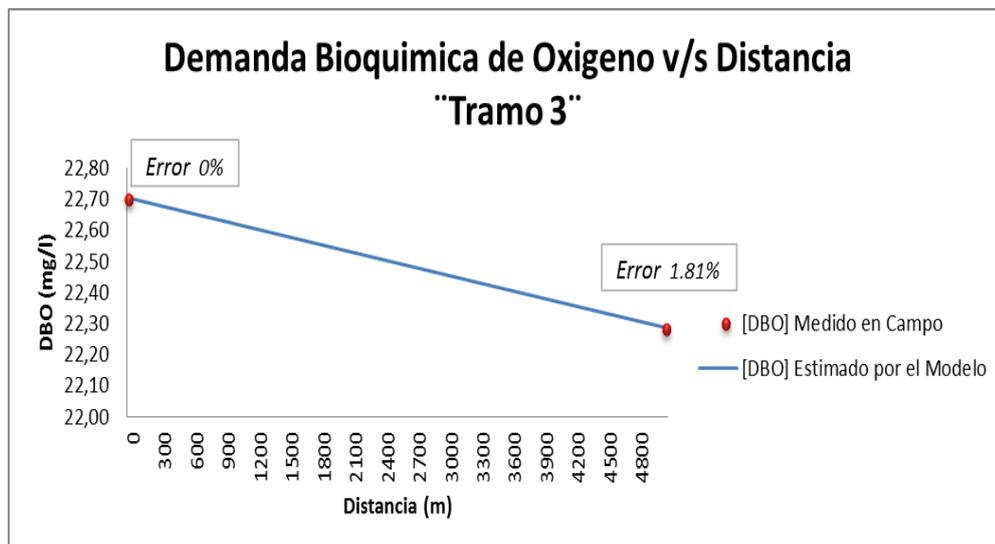
El error que presenta el tramo 3 desde que inicia el tramo en Napuraka hasta que termina en Curintza es de 4.42% obteniendo una validación de la modelación buena.

Las concentraciones en el tramo reflejan esta situación indicando que el oxígeno disuelto medido en campo fue de 8.99 mg/l mientras que el estimado por el modelo al final del tramo es de 8.59 mg/.

En este tramo se encuentra la descarga de aguas residuales de la población de Curintza, donde la concentración de OD es de 8.19 mg/l y de DBO es de 20.5 mg/l.

**Gráfico 4.6. Simulación DBO obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 3**

**Napurak – Curintza**



**Fuente: Autora**

Los resultados de DBO obtenidos en campo y con el modelo se muestran en el gráfico 4.6. Donde inicia con un 0% y termina con un error del 1.81%.

Este análisis se explica con las concentraciones de DBO medidas en campo donde el resultado es de 22.69 mg/l y el estimado por el modelo al final del tramo analizado es de 22.28 mg/l.

Las condiciones críticas que se estimó mediante el modelo indican que el OD obtendrá 4.13 mg/l y el DBO será de 12.36 mg/l.

**Tabla 4.6. Matriz de Correlaciones en el Tramo 3**

Matriz de correlaciones				
X (m)	1			
D (mg/l)	1	1		
OD (mg/l)	0.99	1	1	
DBO (mg/l)	1	1	1	1
t (d)	1	0.99	0.99	1
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)

**Fuente: Autora**

En la matriz de correlaciones existen una relación o correlación alta positiva, entre variables marcadas con negro y una relación inversa o negativa entre las variables marcadas con rojo.

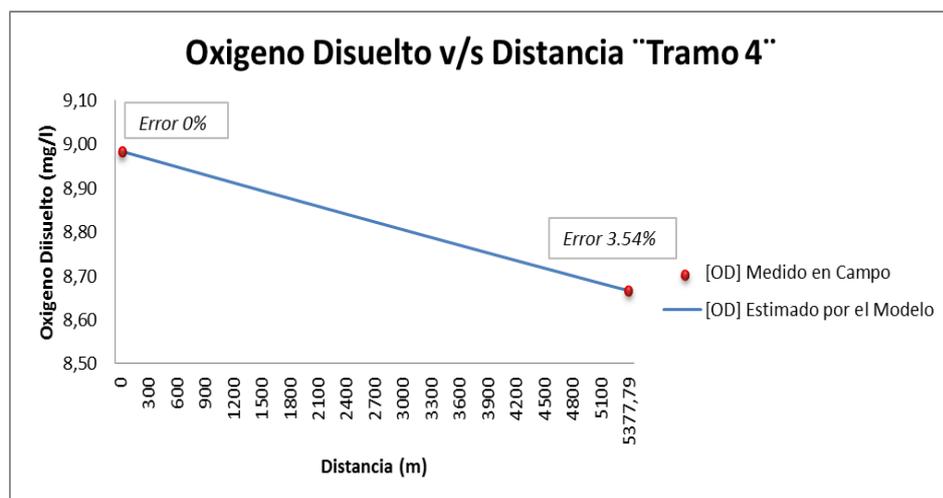
Las mayores correlaciones positivas son de 1 y le corresponden a las relaciones Déficit y distancia, DBO y OD. Mientras que la relación Déficit – tiempo es de 0,99.

Por el contrario las mayores correlaciones negativas las presentan el OD y el Déficit de oxígeno, también la DBO y la distancia, además la relación DBO y Déficit y finalmente la DBO y el tiempo; todas estas con una correlación de 1. Y la menor correlación negativa corresponde a las siguientes: OD y la distancia, y la relación de OD y el tiempo; estas correlaciones negativas son de 0.99.

En el anexo 5 y 5A se indica la validación del modelo en el tramo 3 con sus respectivas correlaciones

#### 4.2.4 Simulación del Tramo 4 Curintza – San Antonio

Gráfico 4.7. Simulación OD obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 4  
Curintza – San Antonio



Fuente: Autora

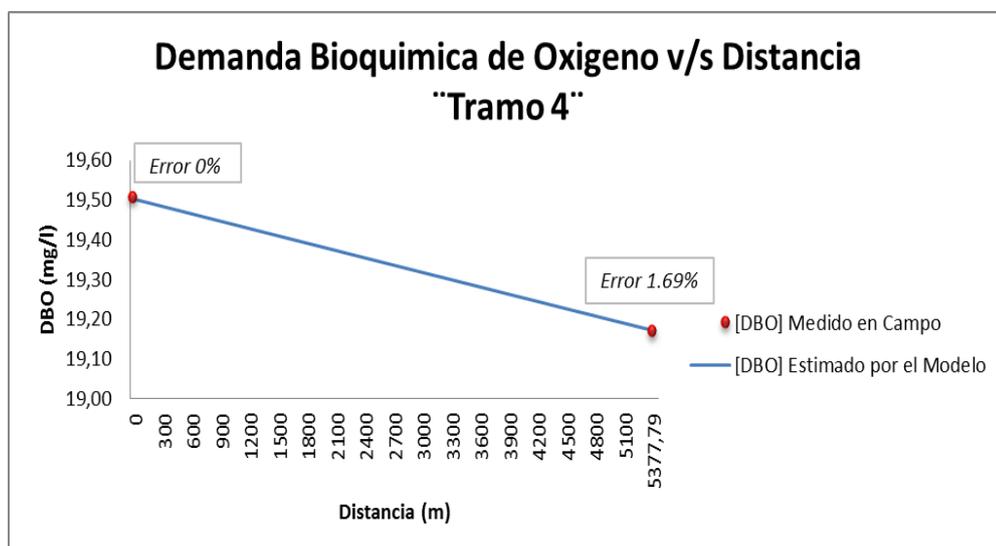
En el gráfico 4.7 se muestra el error de 0% al inicio del tramo 4 que comprende desde Curintza y termina en San Antonio con un error de 3.54%.

Estos datos se manifiestan con las concentraciones iniciales medidas en campo de 8.98 mg/l para OD y finalizan con la concentración estimada por el modelo que es de 8.66 mg/l.

En el tramo 4 se encuentra la descarga de aguas residuales correspondiente a la población de San Antonio con una concentración de 3.31 mg/l para OD y de 24 mg/l para DBO.

**Gráfico 4.8. Simulación DBO obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 4**

**Curintza – San Antonio**



**Fuente: Autora**

Se observa en el gráfico 4.8 el análisis de la DBO que inicia con un error de 0% y finaliza el tramo con un error de 1.69%.

Este resultado se muestra con la concentración de la DBO tomado en campo y estimado por el modelo con resultados de 19.50 mg/l y 19.17 mg/l respectivamente.

Las condiciones críticas en el tramo 4 indican un 4.72 mg/l para OD y 10.49 mg/l para DBO.

Tabla 4.7. Matriz de Correlaciones en el Tramo 4

Matriz de correlaciones				
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)
X (m)	1			
D (mg/l)	0.99	1		
OD (mg/l)	0.99	1	1	
DBO (mg/l)	1	1	1	1
t (d)	1	0.99	0.99	1
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)

Fuente: Autora

En el tramo 4 se encuentran correlaciones positivas y negativas marcadas con negro y rojo respectivamente.

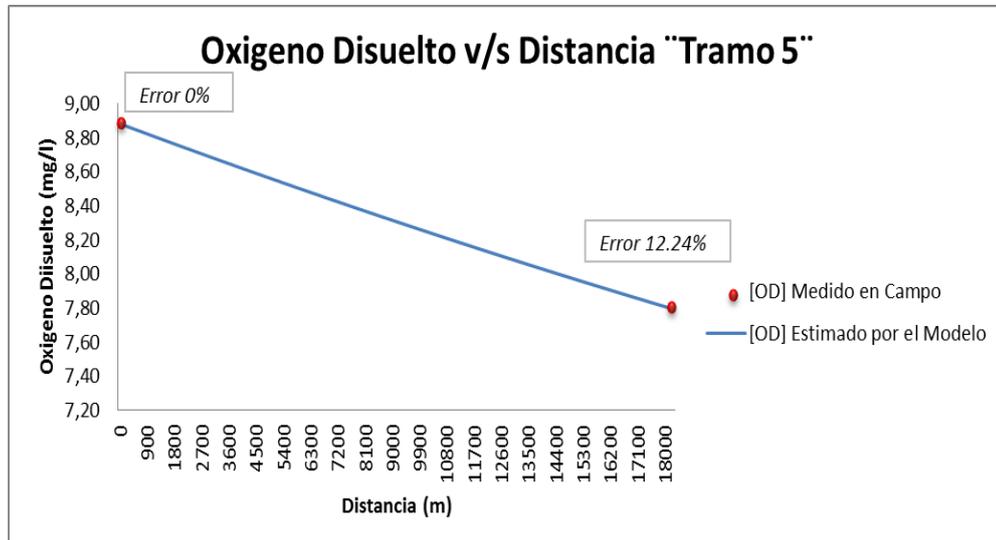
La mayor correlación positiva se confiere a la DBO y OD con una relación de 1 y la menor correlación es de 0.99 que se atañen a las relaciones Déficit - distancia, y Déficit – tiempo.

Mientras que las mayores correlaciones negativas de 1 pertenecen a las relaciones de OD y el Déficit de oxígeno, también la DBO y la distancia, además la relación DBO y Déficit y finalmente la DBO y el tiempo. Y la menor correlación negativa de 0.99 corresponde a las siguientes: OD y la distancia, y la relación de OD y el tiempo.

En el anexo 6 y 6A se muestra la validación del modelo en el tramo 4 con sus relaciones.

## 4.2.5 Simulación del Tramo 5 San Antonio – La Saquea

Gráfico 4.9. Simulación OD obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 5 San Antonio – La Saquea



Fuente: Autora

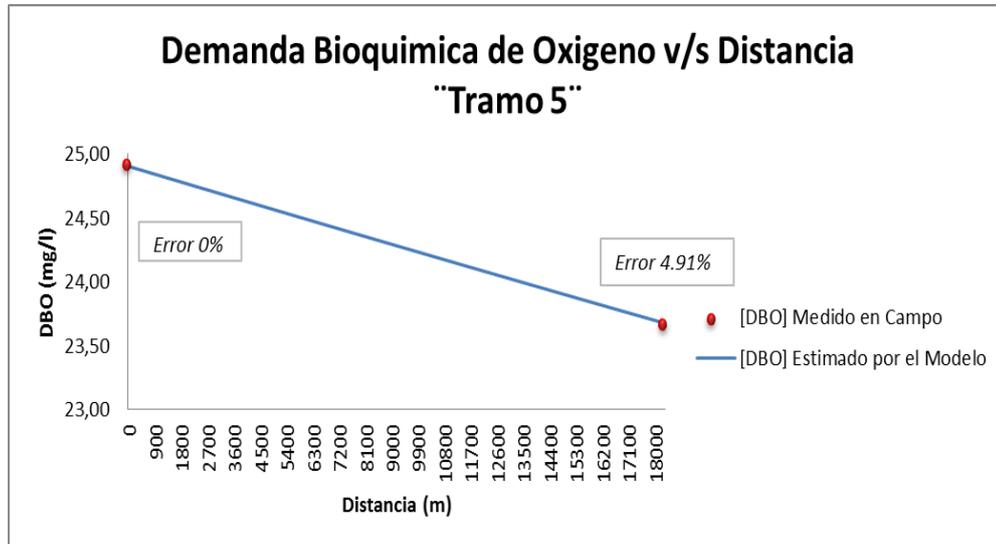
En el tramo 5 comprendido desde San Antonio hasta la Saquea se obtuvieron un error inicial de 0% y un final de 12.24% para OD, indicando que disminuye considerablemente a contaminación en este último tramo de análisis.

Las concentraciones demuestran este análisis con un 8.88 mg/l para OD medido en campo y 7.79 mg/l estimado por el modelo al final del tramo.

En el tramo desde San Antonio hasta la Saquea se encuentra la descarga de aguas residuales de la población de San Antonio la misma que posee concentraciones de 6.18 mg/l para OD y de 22 mg/l para DBO.

**Gráfico 4.10. Simulación DBO obtenida por los datos de campo y teóricos en el tramo 5**

**San Antonio – La Saquea**



**Fuente: Autora**

En el gráfico 4.10 se muestra el error que existe al final del análisis del tramo 5 siendo este de 4.91% para DBO.

El análisis porcentual que se indica se ve reflejado con las concentraciones que presenta el tramo, siendo estas de 24.89 mg/l medida en campo y 23.67 mg/l estimada por el modelo al final del trayecto.

Y finalmente en el tramo 5 se estimó las condiciones críticas dando como resultado un 4.67 mg/l para OD y 15.10 mg/l para DBO.

**Tabla 4.8. Matriz de Correlaciones en el Tramo 5**

Matriz de correlaciones				
X (m)	1			
D (mg/l)	0.99	1		
OD (mg/l)	0.99	1	1	
DBO (mg/l)	1	0.99	0.99	1
t (d)	1	0.99	0.99	1
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)

**Fuente: Autora**

En el tramo 5 se muestran las correlaciones positivas y negativas con negro y rojo respectivamente, en esta matriz de correlaciones se determinó que posee las mismas relaciones que en el tramo 1. por lo que su análisis es exactamente el mismo.

La validación y correlaciones del tramo 5 desde San Antonio hasta la Saquea se podrá ver en el anexo 7 y 7A.

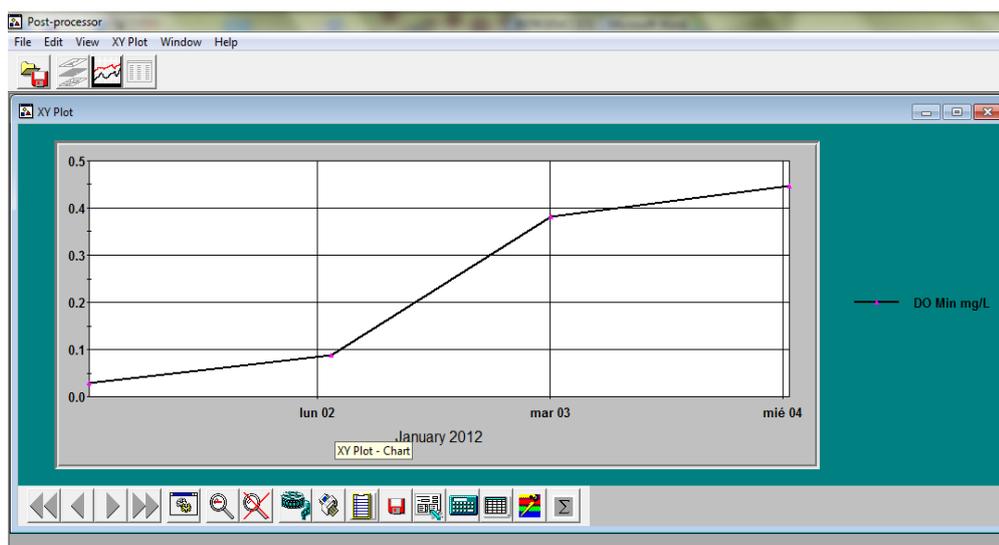
### 4.3 Simulación en el Software WASP 7.4

El software que se utilizó para la modelación el OD y de la DBO fue WASP 7.4, este programa es otra forma de presentar los resultados de una modelación, el cual permite al modelador conocer las condiciones del cauce y realizar el análisis respectivo.

Dentro de los parámetros iniciales que se utilizaron para la modelación en el software están la fecha y hora de inicio y finalización de la simulación, en los datos del sistema se completarán los requerimientos que pide el programa como son densidades, concentraciones y dentro de los segmentos el usuario proporcionará la información de la geometría del cauce; como profundidad, longitud, ancho, etc. Y finalmente se completará la información siguiendo todas las ventanas que presenta el software para hacerlo correr y obtener como resultados las siguientes gráficas.

En estas graficas se muestra la simulación para el mes de enero en su primera semana, como la contaminación es estable a los largo del años se ha tomado como muestras estos resultados.

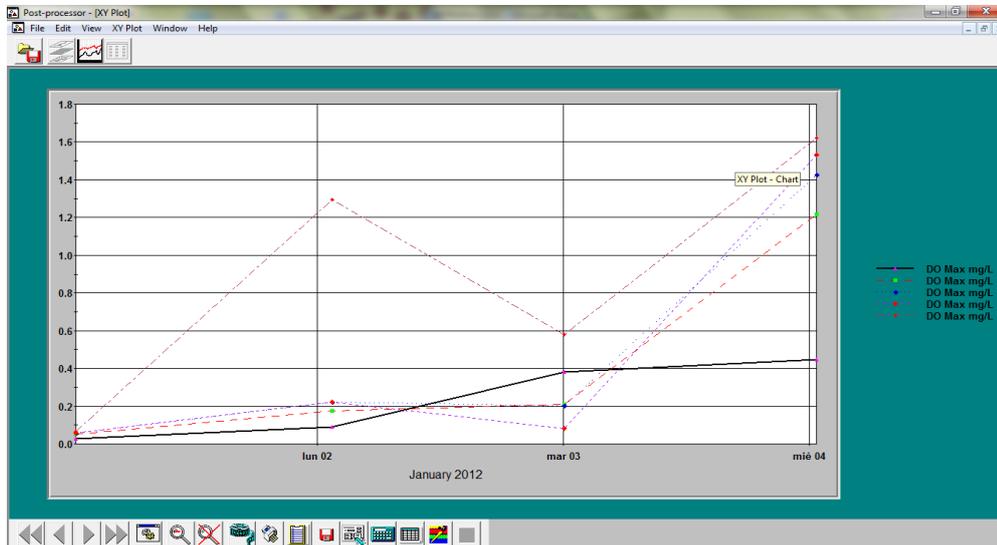
**Gráfico 4.11. Simulación del OD mínimo vs el tiempo en el software WASP 7.4**



Fuente: Autora

Como se muestra en la gráfica la variación de la concentración mínima del OD varía entre 0.04 mg/l hasta 0.45 mg/l a mitad de semana

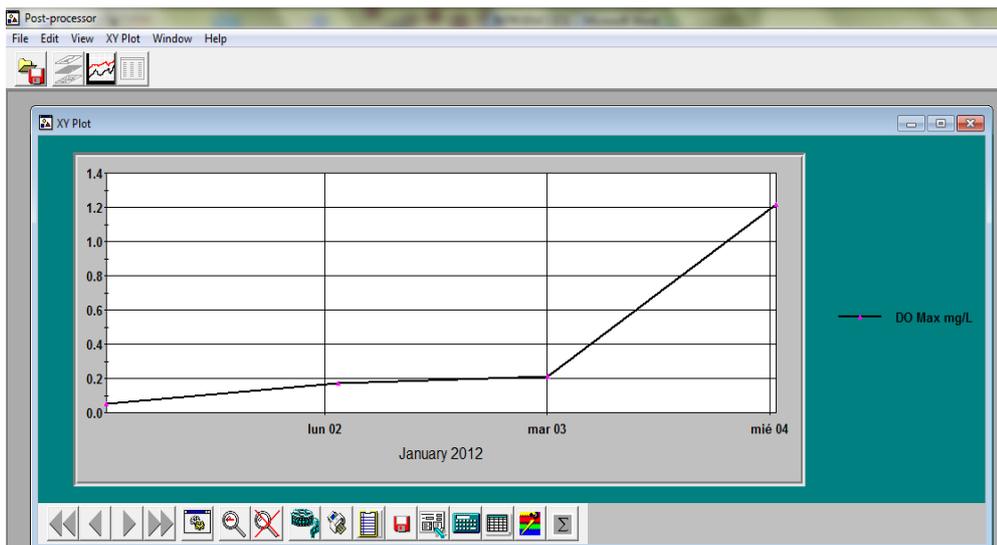
**Gráfico 4.12. Simulación de OD máximo vs el tiempo**



**Fuente: Autora**

La simulación de la concentración máxima de OD en el software WASP 7.4 muestra que las concentraciones no tiene mucha variación durante el día con una concentración inicial de 0.05 mg/l, pero estas aumentan considerablemente a mitad se semana con una concentración de 1.2 mg/l

**Gráfico 4.13. Simulación del OD a lo largo de todo el cauce de estudio**



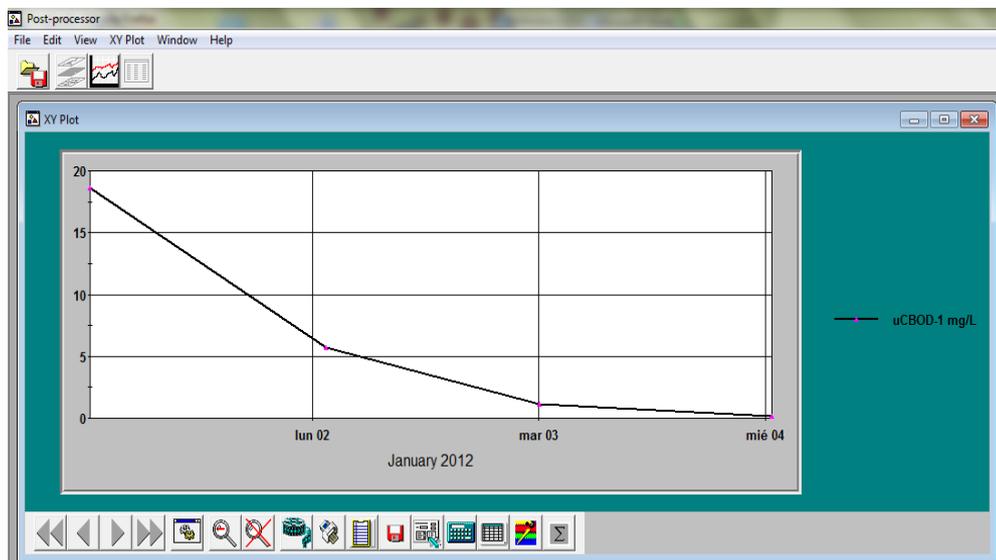
**Fuente: Autora**

En el gráfico 4.13 se muestra la variación de las concentraciones de OD en los diferentes tramos, y durante la primera semana del mes de enero. Además en

esta figura se indica que no existe gran variación de contaminación durante los primeros días de la semana en los tramos 1,2, 3 y 5 las mismas que inician con concentraciones de 0,05 mg/l en casi los cuatro tramos y a mitad se semana las concentraciones aumentan a 1.55 mg/l a excepción del tramo 1 que se mantiene prácticamente constante con una concentración de 0.45 mg/l.

Pero el tramo 4 si posee irregularidades en la concentración de OD a diferencia de los demás tramos ya que este tramo inicia con una concentración de 0.08 mg/l, el día martes disminuye a 0.6 mg/l y el día miércoles incrementa la concentración a 1.42 mg/l.

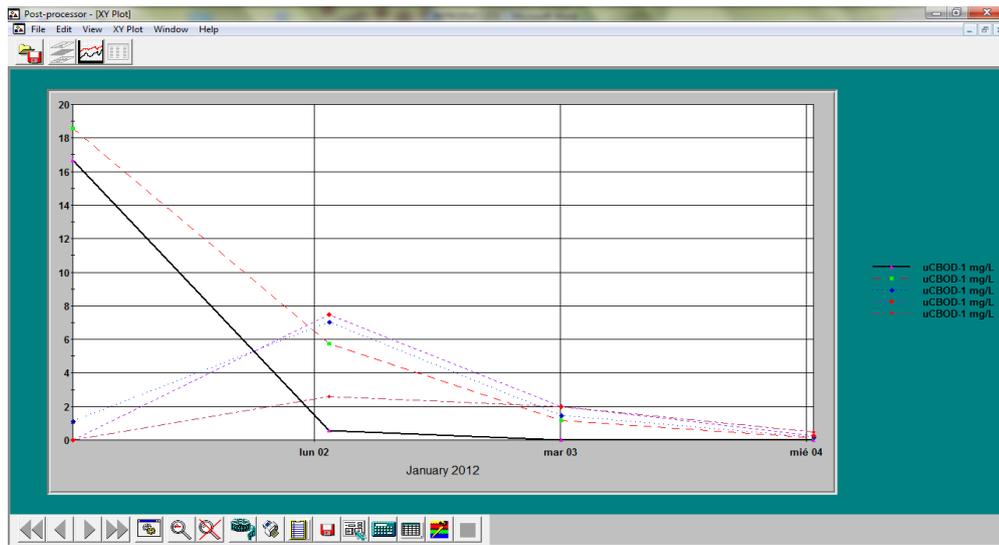
**Gráfico 4.14. Simulación de la DBO vs el tiempo en el software**



**Fuente: Autora**

A diferencia del OD que tiende a crecer el DBO disminuye paulatinamente durante el inicio de la primera semana de enero iniciado con una concentración de 18 mg/l y terminando hasta el día miércoles con una concentración de 0.02 mg/l.

**Gráfico 4.15 Simulación de la DBO a lo largo de todo el cauce de estudio**



**Fuente: Autora**

En el gráfico 4.15 se indica las concentraciones de la DBO en los 5 diferentes tramos que se analizaron en la cuenca del río Yacuambi. En esta simulación se muestra que los tramos 1 y 2 decrecen gradualmente durante la semana de simulación con concentraciones iniciales de 16.8 mg/l y 18.8 mg/l respectivamente y culminan con concentraciones de 0.1 mg/l ambos tramos analizados.

Mientras que los tramos 3, 4 y 5 inician con una concentración baja de 1.2 mg/l y de 0.1 mg/l para los dos últimos tramos restantes, estos tres tramos tienen a crecer durante el primer día y finalmente decrecen hasta el día miércoles con una concentración de 0.01 mg/l.

## CAPITULO V

### ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

#### 5.1 Análisis de la Modelación

El aumento poblacional y el desarrollo de una comunidad ha provocado que las exigencias de la humanidad aumenten y tomen los recursos que poseen a su alcance en este caso el agua. Este desarrollo progresivo ha provocado cambios ambientales que modifican los sistemas acuáticos, y por esta razón se ha generado una preocupación, que se ha traducido en estudiar los sistemas hídricos, desde una perspectiva holística del manejo de cuencas hidrográficas, dando una especial significación a la dimensión ambiental, en particular en los aspectos de calidad del agua. Esto significa conocer, en el caso de condiciones existentes, y prever la alteración de la calidad del agua de un cuerpo de agua dulce, que ocurriría posterior a cualquier cambio en la cuenca. Por esta razón surge la necesidad de utilizar modelos de calidad de agua

Los modelos de calidad de aguas tienen por finalidad determinar las nuevas concentraciones de contaminantes del cuerpo de agua en cada punto y a lo largo del lapso de interés, cuando las condiciones de modificación y el estado primitivo son conocidos (Vargas, 1993). Sin embargo, hay que tener en consideración, que para que un modelo de calidad de aguas pueda ser aplicado confiablemente, para la predicción de las condiciones de los diversos parámetros, tiene que cumplir con la condición básica de reproducir aceptablemente las condiciones actuales (Loucks et al 1982).

En el mundo existen una gran cantidad de modelos de calidad de agua existentes, de los cuales se destacan el modelo de Dilución Probabilística (PMD) y el Streeter-Phelps, principalmente. Las principales diferencias entre ellos, radican en el hecho de que el PMD, es un modelo probabilístico, donde solo ve frecuencias y variabilidades de las concentraciones dadas en un cuerpo de agua. Y el modelo de Streeter-Phelps, permite la modelación de oxígeno

disuelto y demanda bioquímica de oxígeno, bajo condiciones de estado estacionario, permitiendo predecir en el caso de las descargas de material orgánico biodegradable su efecto sobre la concentración de oxígeno disuelto (Streeter & Phelps, 1925). La decisión de trabajar con Streeter-Phelps, se halla principalmente, en la necesidad de predecir condiciones futuras a lo largo de un río, más que ver solo la relación actual.

Los parámetros de OD (Oxígeno Disuelto) y de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) son las variables más importantes para evaluar la calidad de agua. La DBO tiene un aspecto amplio de aplicaciones en ingeniería ambiental. Es la única prueba aplicable que permite obtener una medida de la cantidad de materia orgánica oxidable biológicamente que puede ser usada para evaluar las tasas a las cuales se efectúa la oxidación o la DBO ejercida en los cuerpos receptores de aguas (CEPIS, 1997). Esta razón justifica, el estudio de la calidad de agua, mediante estas principales variables. De esta forma, el modelo de Streeter-Phelps, que permite predecir en el caso de las descargas de material orgánico biodegradable su efecto sobre la concentración de oxígeno disuelto, es una estrategia adecuada para evaluar la calidad del agua en un cuerpo fluvial.

En la primera modelación se consideró el río como un reactor flujo pistón, donde las concentraciones de salida de cada tramo, sirvieron como condición límite para el próximo trecho. Luego en el punto de vertimiento se realizó un balance de masa, para considerar la carga de efluente llegada al río.

Además se utilizó una cinética de primer orden, para la estimación de la DBO, es decir, que la tasa de la reacción es proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable por parte de los organismos activos biológicamente, en cualquier tiempo (UCLM, 2003).

Para la estimación de las constantes cinéticas de primer orden, que se utilizaron en el modelo, se realizó una calibración a priori, usando los valores de literatura (teóricos y experimentales), que corresponden con la situación específica del sistema en estudio.

Tanto para  $k_a$ , como para  $k_d$ , se consideró el efecto de la temperatura, con la finalidad de corregir cada una de las constantes a la temperatura del medio. En cada una de las simulaciones se obtuvieron diferentes constantes que representaban el escenario actual.

De estas modelaciones se analizó los datos de campo de oxígeno disuelto de las estaciones muestreadas y se observó que los tramos 3, 4 y 5 poseen concentraciones similares con resultados de 8.99, 8.98 y 8.88 mg/l respectivamente, mientras que las estaciones que poseen la mayor y menor concentración de OD a lo largo del río son los tramos 1 y 2 con concentraciones de 9.33 y 7.89 mg/l en cada una de estas. De los 5 tramos analizados a lo largo de la cuenca del río Yacuambi se determinó que el promedio de concentración de OD es de 8.81 mg/l.

Dentro del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno se determinó en campo que las concentraciones varían en los tramos, siendo la concentración más baja en el tramo 2 con un resultado de 15.99 mg/l y la más alta en el tramo 5 con una concentración de 24.89 mg/l. En los tramos 3, 4 y 5 las concentraciones son relativamente parecidas con resultados de 22.69, 19.50 y 24.89 mg/l.

Con la estimación del modelo de Streeter-Phelps, se comprobó las condiciones actuales en las que se encuentran cada estación de muestreo, y se realizó la estimación de las concentraciones tanto como OD como de DBO. Como se muestra en las figuras de calibración la estación 5 presenta el mayor error porcentual en las dos variables con un 12.24 % para OD y 4.9% para DBO, es decir, que en este tramo existe una gran remoción de contaminación debido a la gran sección del cauce que presenta este tramo del río Yacuambi.

Dentro de la modelación también se estimó las condiciones críticas para cada uno de los 5 tramos que se analizaron. Para estas estimaciones se debe tener en consideración que la existencia de parámetros como la temperatura y la velocidad, son determinantes de esta condición. Es así que la temperatura constituye otro tipo de contaminación de las aguas, denominada contaminación térmica, esta en aguas superficiales está influenciada por la latitud, altitud, variaciones climáticas, hora del día, circulación del aire, nubosidad, profundidad

del cuerpo de agua y también de la concentración de muchas variables (Seonez, 1995).

Además la baja solubilidad del oxígeno es uno de los factores limitantes en la capacidad de autopurificación de las aguas naturales, de allí se presenta la necesidad de efectuar tratamiento de las aguas residuales domésticas, antes de descargarlas a las corrientes receptoras. Asimismo, la velocidad un cuerpo de agua puede afectar significativamente su capacidad para asimilar y transportar contaminantes (UCLM, 2003). Y al existir una mayor velocidad del flujo de agua la dispersión del contaminante sería mayor. Por lo tanto se puede señalar que la capacidad de autodepuración del río Yacuambi es elevada ya que posee una gran masa de caudal y velocidades que permiten disminuir el grado de contaminación que presenta el cauce.

Finalmente con el modelo de Streeter-Phelps, los resultados son favorables ya que al compararse con los valores medidos en campo la concentración disminuye en cada uno de los tramos.

Pero para bajar la contaminación se recomienda realizar nuevas campañas de muestreo, en distintas épocas del año, con la finalidad de obtener datos de campo lo más representativo posible. Y en el caso de las poblaciones que se encuentran en la ribera del río realizar sistemas de tratamiento de las descargas.

## 5.2 Conclusiones

- Con los resultados obtenidos al final de la modelación se concluye que el modelo de Streeter-Phelps es útil para simular el comportamiento del Río Yacuambi, debido a que permite realizar una evaluación de la calidad del agua, y controlar los niveles de contaminación.
- Del análisis realizado a los cinco tramos del río se observa que todos presentan contaminación, sin embargo en el tramo 1 se detectó que la contaminación no tiende a disminuir puesto que el error es de 1.11% para OD y de 0.82% para DBO, es decir que los datos entrada son similares a los de salida.
- En el tramo 2 (El Puerto – Napurak) el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto medido en campo es de 106.9%, lo que indica que existe una buena calidad de agua. Este resultado se pudo verificar con el modelo matemático debido a que se obtuvo un error de 7.88% en OD, lo que corresponde a una diferencia de concentraciones tanto las medidas en campo como las estimadas por el modelo, cuyos valores son: 7.89 mg/l y 7.27 mg/l respectivamente. Mientras que el error para DBO es de 6.14% lo que corresponde a una concentración de 15.99 mg/l medida en campo y de 15 mg/l estimada por el modelo.
- La mayor disminución de contaminación se produjo en el tramo 5 que corresponde a San Antonio – La Saquea con un error de 12.24% para OD, lo que en concentraciones representaría un 8.88 mg/l medidas en campo y 7.79 mg/l estimada por el modelo. El error existente en la DBO es de 4.91%, es decir una concentración medida en campo de 24.89 mg/l y simulada por el modelo de 13.67%.
- El trabajar la modelación con el software WASP 7.4 permite a los usuarios tener una mayor interpretación de los datos y con esto predecir el comportamiento de los diferentes tramos que se analizan en el río.

- Los resultados obtenidos de la simulación en el software muestran que en el primer mes del año, las concentraciones de contaminación no son elevadas, pues estas varían de 0.05 mg/l a 1.2 mg/l en OD y en DBO estas varían de 16.8 mg/l a 18.8 mg/l.
- Con los datos de los muestreos obtenidos en campo y los resultados de la modelación se concluye que el mayor grado de contaminación es producto de las descargas directas de las aguas residuales de las poblaciones que se asientan en la ribera del Río Yacuambi.
- Existe una autodepuración en cada uno de los tramos que se analizaron debido a la sección geométrica de los tramos y a la gran masa de caudal.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. CEPIS. "Seminario Internacional. Lagunas de estabilización". 1997.  
Disponible:  
<<http://www.cepis.opsoms.org/eswww/fulltext/repind57/sil/sildecai.html>>.
2. CHAPRA, S. (1997) "Surface Water – Quality Modeling". McGraw-Hill. Boston. 835pp.
3. Fondo de las Naciones Unidas para Actividades en materia de Población. El estado de la población mundial 2001. New York: FNUAP; 2001.
4. GOLDBERG, D.E. (1989) "Genetic Algorithms in search, optimisation and machine learning". Addison-Wesley publishing co. Reading. Massachussets.
5. LICHTINGER VÍCTOR, CÁRDENAS ALBERTO. (2003), Dirección General de Estadística e Información Ambiental, Mexico.
6. LOUCKS, D.P. et al. (1982) "Water resource systems planning and analysis". Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
7. METCALF & HEDI. (1995) "Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales". 3ª Edición. Mc. Graw Hill. México, 1485 pp.
8. Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Anexo I

9. Norma técnica ecuatoriana del Instituto Nacional de Normalización. NTE INEN 2169:98 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de las muestras.
10. Norma técnica ecuatoriana del Instituto Nacional de Normalización. NTE INEN 2176: 98 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.
11. ONU. "Decenio Internacional para la acción El Agua Fuente de Vida. 2005-2015. Disponible:  
< <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>>
12. ONU-Agua, Marzo (2011), Policy Brief on Water Quality.
13. PERALTA EVER. (2008), "Temas de Ciencia y Tecnología". España. 18 pp
14. PNUMA, ERCE, UNESCO. (2008), Water Quality for Ecosystems and Human Health. 2ª edición.
15. SENAGUA. (2011). "Calidad de Agua en el Ecuador"
16. SEOANEZ, M. (1995). "Ecología Industrial: Ingeniería medio ambiental aplicada a la industria y a la empresa". Ediciones Mundi – Prensa. España. 522pp.
17. SIERRA, C. (2011). "Calidad de Agua, Evaluación y Diagnóstico"
18. STREETER, H.W. & PHELPS, E.B. (1925) "A study of the pollution and natural purification of the Ohio river". Vol III, Public Health Bulletin, Nº 146, U.S. Public Health Service.
19. THOMANN V., MUELLER J., New York (1987). "Principles of Surface Water Quality Modeling and Control". Harper & Row.

20. UCLM. "Físico-química de las aguas naturales". 2003. Disponible en:  
<<http://www.uclm.es/users/higueras/mam/MAM3.htm>>.
21. UNESCO. "Agua y Seguridad Alimentaria". 2012. Disponible:  
<http://www.unesco.org>
22. VARGAS, J. (1993) "Calidad del agua en espacios naturales", Impacto y Modelación. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción. Concepción. 9pp.
23. Water Resources Institute. WRI. (2000).
24. WWAP, (2009), 3er Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo "El agua en un mundo en constante cambio".

## 7. ANEXOS

### Anexo 1. Aforos en las estaciones de muestreo

#### AFORO EN LA ESTACIÓN EL PUERTO

##### CALCULO DE AFORO

RIO: YACUAMBI.

ESTACIÓN:

EL PUERTO

FECHA: 25 ENERO 2012

ALTURA LIMNIMETRICA INICIAL: 0.000 M. HORA: 9:00

ALTURA LIMNIMETRICA FINAL: 0.000 M. HORA: 10:50

MOLINETE: SEBA UNIVERSAL CON ESCANDALO 25 KG

HELICE # 1.2768

NUMERO DE VUELTAS POR INTERVALO: 1

##### ECUACIONES DE CALIBRACIÓN :

$$V = 0.2915 N + 0.138 \quad \text{PARA N MENOR QUE 0.40}$$

$$V = 0.3203 N + 0.024 \quad \text{PARA N MENOR QUE 16.00}$$

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA 0.000	CAUDAL UNITARIO 0.000
0.00	0.00												
2.00	0.83	0.0000	0.00	0.83	0.8	0.8	16.0	30.0	0.533	0.0	0.173		
					0.74	0.74	21.0	30.0	0.700	0.0	0.227		
					0.58	0.58	34.0	30.0	1.133	0.0	0.365		
					0.26	0.26	39.0	30.0	1.300	0.0	0.419		
					0.08	0.08	29.0	30.0	0.967	0.0	0.312	0.374	0.310

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
5.00	1.87	0.0000	0.00	1.87	1.67	1.67	27	30.0	0.900	0.0	0.291	0.610	2.471
					1.21	1.21	43	30.0	1.433	0.0	0.461		
					0.88	0.88	48	30.0	1.600	0.0	0.515		
					0.52	0.52	52	30.0	1.733	0.0	0.558		
					0.08	0.08	50	30.0	1.667	0.0	0.536		
8.00	2.05	0.0000	0.00	2.05	2	2	43	30.0	1.433	0.0	0.432	0.627	3.684
					1.73	1.73	55	30.0	1.833	0.0	0.549		
					1.15	1.15	92	30.0	3.067	0.0	0.985		
					0.64	0.64	86	30.0	2.867	0.0	0.921		
					0.31	0.31	97	30.0	3.233	0.0	1.038		
					0.08	0.08	77	30.0	2.567	0.0	0.762		
13.00	2.89	0.0000	0.00	2.89	2.78	2.78	62	30.0	2.067	0.0	0.664	1.022	12.617
					2.36	2.36	117	30.0	3.900	0.0	1.252		
					1.74	1.74	135	30.0	4.500	0.0	1.444		
					1.13	1.13	140	30.0	4.667	0.0	1.497		
					0.76	0.76	144	30.0	4.800	0.0	1.540		
					0.31	0.31	124	30.0	4.133	0.0	1.326		
					0.08	0.08	113	30.0	3.767	0.0	1.113		
18.00	3.1	0.0000	0.00	3.1	2.95	2.95	40	30.0	1.333	0.0	0.429	1.213	18.169
					2.24	2.24	106	30.0	3.533	0.0	1.134		
					1.68	1.68	110	30.0	3.667	0.0	1.177		
					0.84	0.84	125	30.0	4.167	0.0	1.337		
					0.37	0.37	137	30.0	4.567	0.0	1.465		
					0.08	0.08	135	30.0	4.500	0.0	1.444		
23.00	3.34	0.0000	0.00	3.34	3	3	89	30.0	2.967	0.0	0.953	1.252	
					2.67	2.67	117	30.0	3.900	0.0	1.252		

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					2.04	2.04	124	30.0	4.133	0.0	1.326		
					1.53	1.53	145	30.0	4.833	0.0	1.551		
					0.45	0.45	137	30.0	4.567	0.0	1.465		
					0.08	0.08	132	30.0	4.400	0.0	1.412	1.245	20.050
28.00	3.27	0.0000	0.00	3.27	3.12	3.12	95	30.0	3.167	0.0	1.017		
					2.75	2.75	116	30.0	3.867	0.0	1.241		
					1.41	1.41	136	30.0	4.533	0.0	1.454		
					0.82	0.82	159	30.0	5.300	0.0	1.700		
					0.43	0.43	142	30.0	4.733	0.0	1.518		
					0.08	0.08	132	30.0	4.400	0.0	1.412	1.358	22.447
33.00	3.06	0.0000	0.00	3.06	2.84	2.84	74	30.0	2.467	0.0	0.792		
					2.32	2.32	110	30.0	3.667	0.0	1.177		
					1.48	1.48	116	30.0	3.867	0.0	1.241		
					0.63	0.63	127	30.0	4.233	0.0	1.358		
					0.32	0.32	148	30.0	4.933	0.0	1.583		
					0.08	0.08	135	30.0	4.500	0.0	1.444	1.328	21.017
37.00	2.75	0.0000	0.00	2.75	2.34	2.34	64	30.0	2.133	0.0	0.686		
					2.07	2.07	98	30.0	3.267	0.0	1.049		
					1.73	1.73	109	30.0	3.633	0.0	1.166		
					0.97	0.97	117	30.0	3.900	0.0	1.252		
					0.36	0.36	113	30.0	3.767	0.0	1.209		
					0.08	0.08	104	30.0	3.467	0.0	1.113	1.172	13.623
39.00	2.13	0.0000	0.00	2.13	1.98	1.98	40	30.0	1.333	0.0	0.429		
					1.67	1.67	57	30.0	1.900	0.0	0.611		
					1.26	1.26	65	30.0	2.167	0.0	0.696		
					0.62	0.62	82	30.0	2.733	0.0	0.878		
					0.31	0.31	91	30.0	3.033	0.0	0.974		

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					0.08	0.08	86	30.0	2.867	0.0	0.921	0.915	4.466
41.00	1.47	0.0000	0.00	1.47	1.02	1.02	18	30.0	0.600	0.0	0.195		
					0.84	0.84	27	30.0	0.900	0.0	0.291		
					0.61	0.61	32	30.0	1.067	0.0	0.344		
					0.52	0.52	38	30.0	1.267	0.0	0.408		
					0.27	0.27	38	30.0	1.267	0.0	0.408		
					0.08	0.08	42	30.0	1.400	0.0	0.451	0.550	1.982
43.00	0.55	0.0000	0.00	0.55	0.5	0.5	15	30.0	0.500	0.0	0.163		
					0.46	0.46	14	30.0	0.467	0.0	0.152		
					0.32	0.32	14	30.0	0.467	0.0	0.152		
					0.2	0.2	23	30.0	0.767	0.0	0.248		
					0.13	0.13	31	30.0	1.033	0.0	0.333		
					0.08	0.08	42	30.0	1.400	0.0	0.451	0.300	0.605
L. LIMN.	CAUDAL M <sup>3</sup> /SG	AREA (MTS <sup>2</sup> .)	VEL. MED. (M/SG)	PER. MOJADO	ANCHO (MTS)	MAX. PROF. (MTS)							
0	97.02	108.66	0.89	87.39	43.00	3.34							

OBSERVACIONES: TIEMPO SOLEADO, AGUA LODOSA.

HIDROMENSOR: SR LUIS MONGE

INGRESADO POR: BERENICE ZÚÑIGA

## AFORO EN LA ESTACIÓN NAPURAKA

### CALCULO DE AFORO

RIO: YACUAMBI.

ESTACIÓN:

NAPURAKA

FECHA: 25 ENERO 2012

ALTURA LIMNIMETRICA INICIAL: 0.000 M. HORA: 12:30

ALTURA LIMNIMETRICA FINAL: 0.000 M. HORA: 13:45

MOLINETE: SEBA UNIVERSAL CON ESCANDALO 25 KG

HELICE # 1.2768

NUMERO DE VUELTAS POR INTERVALO: 1

### ECUACIONES DE CALIBRACIÓN :

$$V = 0.2915 N + 0.138 \quad \text{PARA } N \text{ MENOR QUE } 0.40$$

$$V = 0.3203 N + 0.024 \quad \text{PARA } N \text{ MENOR QUE } 16.00$$

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC. VELOC.	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
0.00	0.00											0.000	0.000
	1.00	0.30	0.0000	0.00	0.3	0.17	0.17	3.0	30.0	0.100	0.0	0.043	
						0.08	0.08	6.0	30.0	0.200	0.0	0.072	0.029
	2.50	1.1	0.0000	0.00	1.1	1.02	1.02	2.5	30.0	0.083	0.0	0.038	
						0.9	0.9	2.5	30.0	0.083	0.0	0.038	
						0.65	0.65	3	30.0	0.100	0.0	0.043	

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					0.19	0.19	3	30.0	0.100	0.0	0.043		
					0.05	0.05	3.5	30.0	0.117	0.0	0.048	0.050	0.052
4.00	1.25	0.0000	0.00	1.25	1.08	1.08	9	30.0	0.300	0.0	0.101		
					1	1	10	30.0	0.333	0.0	0.111		
					0.87	0.87	25	30.0	0.833	0.0	0.269		
					0.64	0.64	28	30.0	0.933	0.0	0.301		
					0.35	0.35	22	30.0	0.733	0.0	0.237		
					0.08	0.08	8	30.0	0.267	0.0	0.092	0.114	0.200
6.00	1.68	0.0000	0.00	1.68	1.59	1.59	20	30.0	0.667	0.0	0.216		
					1.43	1.43	27	30.0	0.900	0.0	0.291		
					1.12	1.12	38	30.0	1.267	0.0	0.408		
					0.87	0.87	59	30.0	1.967	0.0	0.632		
					0.55	0.55	48	30.0	1.600	0.0	0.515		
					0.32	0.32	27	30.0	0.900	0.0	0.291		
					0.08	0.08	16	30.0	0.533	0.0	0.169	0.273	0.799
9.00	1.76	0.0000	0.00	1.76	1.63	1.63	32	30.0	1.067	0.0	0.344		
					1.45	1.45	41	30.0	1.367	0.0	0.440		
					0.97	0.97	49	30.0	1.633	0.0	0.526		
					0.65	0.65	58	30.0	1.933	0.0	0.622		
					0.34	0.34	77	30.0	2.567	0.0	0.825		
					0.08	0.08	86	30.0	2.867	0.0	0.921	0.487	2.510
14.00	2.01	0.0000	0.00	2.01	1.92	1.92	55	30.0	1.833	0.0	0.590		
					1.67	1.67	75	30.0	2.500	0.0	0.803		
					1.31	1.31	84	30.0	2.800	0.0	0.899		
					0.76	0.76	97	30.0	3.233	0.0	1.038		
					0.37	0.37	114	30.0	3.800	0.0	1.220		
					0.08	0.08	134	30.0	4.467	0.0	1.433	0.805	7.586
18.00	2.25	0.0000	0.00	2.25	2.1	2.1	82	30.0	2.733	0.0	0.878		

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					1.86	1.86	112	30.0	3.733	0.0	1.198		
					1.41	1.41	123	30.0	4.100	0.0	1.316		
					0.82	0.82	145	30.0	4.833	0.0	1.551		
					0.45	0.45	132	30.0	4.400	0.0	1.412		
					0.08	0.08	125	30.0	4.167	0.0	1.337	1.139	9.708
22.00	2.48	0.0000	0.00	2.48	2.42	2.42	98	30.0	3.267	0.0	1.049		
					2.32	2.32	111	30.0	3.700	0.0	1.188		
					1.69	1.69	125	30.0	4.167	0.0	1.337		
					0.96	0.96	150	30.0	5.000	0.0	1.604		
					0.23	0.23	148	30.0	4.933	0.0	1.583		
					0.08	0.08	132	30.0	4.400	0.0	1.412	1.322	12.505
24.00	2.64	0.0000	0.00	2.64	2.52	2.52	142	30.0	4.733	0.0	1.518		
					2.16	2.16	127	30.0	4.233	0.0	1.358		
					1.86	1.86	155	30.0	5.167	0.0	1.657		
					1.15	1.15	180	30.0	6.000	0.0	1.924		
					0.56	0.56	188	30.0	6.267	0.0	2.010		
					0.08	0.08	195	30.0	6.500	0.0	2.084	1.520	22.302
26.00	2.97	0.0000	0.00	2.97	2.52	2.52	128	30.0	4.267	0.0	1.369		
					2.16	2.16	145	30.0	4.833	0.0	1.551		
					1.86	1.86	163	30.0	5.433	0.0	1.743		
					1.15	1.15	158	30.0	5.267	0.0	1.689		
					0.56	0.56	184	30.0	6.133	0.0	1.967		
					0.08	0.08	170	30.0	5.667	0.0	1.817	1.526	16.629
28.00	2.56	0.0000	0.00	2.56	2.52	2.52	136	30.0	4.533	0.0	1.454		
					2.16	2.16	140	30.0	4.667	0.0	1.497		
					1.86	1.86	157	30.0	5.233	0.0	1.679		
					1.15	1.15	164	30.0	5.467	0.0	1.753		
					0.56	0.56	186	30.0	6.200	0.0	1.988		
					0.08	0.08	177	30.0	5.900	0.0	1.892	1.735	18.041

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
30.00	2.39	0.0000	0.00	2.39	2.28	2.28	95	30.0	3.167	0.0	1.017		
					2.07	2.07	115	30.0	3.833	0.0	1.230		
					1.75	1.75	130	30.0	4.333	0.0	1.390		
					1.34	1.34	156	30.0	5.200	0.0	1.668		
					0.67	0.67	148	30.0	4.933	0.0	1.583		
					0.08	0.08	123	30.0	4.100	0.0	1.316	1.528	16.383
32.00	2.23	0.0000	0.00	2.23	2.12	2.12	89	30.0	2.967	0.0	0.953		
					1.87	1.87	93	30.0	3.100	0.0	0.995		
					1.64	1.64	127	30.0	4.233	0.0	1.358		
					0.67	0.67	148	30.0	4.933	0.0	1.583		
					0.27	0.27	149	30.0	4.967	0.0	1.593		
					0.08	0.08	176	30.0	5.867	0.0	1.881	1.381	6.378
34.00	2.07	0.0000	0.00	2.07	2.12	2.12	62	30.0	2.067	0.0	0.664		
					1.87	1.87	91	30.0	3.033	0.0	0.974		
					1.64	1.64	128	30.0	4.267	0.0	1.369		
					0.67	0.67	166	30.0	5.533	0.0	1.775		
					0.27	0.27	154	30.0	5.133	0.0	1.647		
					0.08	0.08	176	30.0	5.867	0.0	1.881	1.389	5.975
36.00	1.97	0.0000	0.00	1.97	1.93	1.93	66	30.0	2.200	0.0	0.707		
					1.78	1.78	96	30.0	3.200	0.0	1.027		
					1.57	1.57	167	30.0	5.567	0.0	1.785		
					0.61	0.61	175	30.0	5.833	0.0	1.871		
					0.32	0.32	184	30.0	6.133	0.0	1.967		
					0.08	0.08	195	30.0	6.500	0.0	2.084	1.484	12.464
39.00	1.3	0.0000	0.00	1.3	1.21	1.21	14	30.0	0.467	0.0	0.152		
					0.98	0.98	27	30.0	0.900	0.0	0.291		
					0.74	0.74	48	30.0	1.600	0.0	0.515		
					0.32	0.32	34	30.0	1.133	0.0	0.365		
					0.2	0.2	45	30.0	1.500	0.0	0.483		

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					0.08	0.08	37	30.0	1.233	0.0	0.397	0.970	4.760
41.00	0.76	0.0000	0.00	0.76	0.69	0.69	9	30.0	0.300	0.0	0.101		
					0.32	0.32	4	30.0	0.133	0.0	0.053		
					0.08	0.08	2	30.0	0.067	0.0	0.033	0.199	0.410
L. LIMN.	Caudal (M <sup>3</sup> /SG)	AREA (MTS <sup>2</sup> .)	VEL. MED. (M/SG)	PER. MOJADO	ANCHO (MTS)	MAX. PROF. (MTS)							
0	74.89	79.82	0.94	83.50	41.00	2.97							

OBSERVACIONES: TIEMPO SOLEADO, AGUA LODOSA.

HIDROMENSOR: SR LUIS MONGE  
INGRESADO POR: BERENICE ZUÑIGA

## AFORO EN LA ESTACIÓN CURINTZA

### CALCULO DE AFORO

RIO: YACUAMBI.

ESTACIÓN: CURINTZA

FECHA: 15 DICIEMBRE 2011

ALTURA LIMNIMETRICA INICIAL: 0.000 M.

HORA: 11:30

MEDICIONES RESPECTO A LA SUPERFICIE

ALTURA LIMNIMETRICA FINAL: 0.000 M.

HORA: 13:30

DISTANCIA AL FONDO .15 M

MOLINETE: SEBA UNIVERSAL CON ESCANDALO 25 KG

HELICE # 1.2768

NUMERO DE VUELTAS POR INTERVALO: 1

### ECUACIONES DE CALIBRACIÓN :

$$V = 0.2915 N + 0.138 \quad \text{PARA } N \text{ MENOR QUE } 0.40$$

$$V = 0.3203 N + 0.024 \quad \text{PARA } N \text{ MENOR QUE } 16.00$$

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC. VELOC.	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
0.00	0.00											0.000	0.000
1.00	0.35	0.000	0.00	0.35	0.20	0.20	2.0	30.0	0.067	0.0	0.033		
					0.08	0.08	4.0	30.0	0.133	0.0	0.053	0.036	0.012
3.00	1.19	0.000	0.00	1.19	1.04	1.04	3.0	30.0	0.100	0.0	0.043		
					0.95	0.95	3.0	30.0	0.100	0.0	0.043		
					0.71	0.71	4.0	30.0	0.133	0.0	0.043		

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					0.48	0.48	3.0	30.0	0.100	0.0	0.043		
					0.24	0.24	3.0	30.0	0.100	0.0	0.043		
					0.08	0.08	5.0	30.0	0.167	0.0	0.062	0.046	0.054
4.00	1.31	0.000	0.00	1.31	1.16	1.16	8.0	30.0	0.267	0.0	0.092		
					1.05	1.05	6.0	30.0	0.200	0.0	0.072		
					0.79	0.79	21.0	30.0	0.700	0.0	0.227		
					0.52	0.52	24.0	30.0	0.800	0.0	0.259		
					0.26	0.26	16.0	30.0	0.533	0.0	0.173		
					0.08	0.08	6.0	30.0	0.200	0.0	0.072	0.156	0.205
6.00	1.83	0.000	0.00	1.83	1.68	1.68	24.0	30.0	0.800	0.0	0.259		
					1.46	1.46	35.0	30.0	1.167	0.0	0.376		
					1.10	1.10	46.0	30.0	1.533	0.0	0.494		
					0.73	0.73	53.0	30.0	1.767	0.0	0.568		
					0.37	0.37	40.0	30.0	1.333	0.0	0.429		
					0.08	0.08	24.0	30.0	0.800	0.0	0.259	0.408	0.746
8.00	1.83	0.000	0.00	1.83	1.68	1.68	57.0	30.0	1.600	0.0	0.515		
					1.46	1.46	75.0	30.0	1.867	0.0	0.600		
					1.10	1.10	85.0	30.0	2.267	0.0	0.728		
					0.73	0.73	83.0	30.0	2.067	0.0	0.664		
					0.37	0.37	86.0	30.0	2.067	0.0	0.664		
					0.08	0.08	82.0	30.0	2.000	0.0	0.643	0.630	1.153
12.00	2.02	0.000	0.00	2.02	1.87	1.87	48.0	30.0	1.900	0.0	0.611		

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					1.62	1.62	56.0	30.0	2.500	0.0	0.803		
					1.21	1.21	68.0	30.0	2.833	0.0	0.910		
					0.81	0.81	62.0	30.0	2.767	0.0	0.889		
					0.40	0.40	62.0	30.0	2.867	0.0	0.921		
					0.08	0.08	60.0	30.0	2.733	0.0	0.878	0.830	1.677
16.00	2.35	0.000	0.00	2.35	2.20	2.20	113.0	30.0	3.767	0.0	1.209		
					1.88	1.88	121.0	30.0	4.033	0.0	1.294		
					1.41	1.41	134.0	30.0	4.467	0.0	1.433		
					0.94	0.94	119.0	30.0	3.967	0.0	1.273		
					0.47	0.47	118.0	30.0	3.933	0.0	1.262		
					0.08	0.08	124.0	30.0	4.133	5.0	1.321	1.282	3.012
20.00	2.76	0.000	0.00	2.76	2.61	2.61	93.0	30.0	3.100	0.0	0.995		
					2.21	2.21	107.0	30.0	3.567	0.0	1.145		
					1.66	1.66	119.0	30.0	3.967	0.0	1.273		
					1.10	1.10	131.0	30.0	4.367	0.0	1.401		
					0.55	0.55	132.0	30.0	4.400	0.0	1.412		
					0.08	0.08	127.0	30.0	4.233	0.0	1.358	1.260	3.479
24.00	3.20	0.000	0.00	3.20	3.05	3.05	85.0	30.0	2.833	0.0	0.910		
					2.56	2.56	117.0	30.0	3.900	0.0	1.252		
					1.92	1.92	147.0	30.0	4.900	0.0	1.572		
					1.28	1.28	149.0	30.0	4.967	0.0	1.593		
					0.64	0.64	152.0	30.0	5.067	0.0	1625.000		
					0.08	0.08	158.0	30.0	5.267	0.0	1.689	1.447	4.631

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
28.00	2.61	0.000	0.00	2.61	2.64	2.64	135.0	30.0	4.500	0.0	1.444		
					2.09	2.09	112.0	30.0	3.733	0.0	1.198		
					1.57	1.57	155.0	30.0	5.167	0.0	1.657		
					1.04	1.04	169.0	30.0	5.633	0.0	1.807		
					0.52	0.52	182.0	30.0	6.067	0.0	1.946		
					0.08	0.08	182.0	30.0	6.067	0.0	1.946	1.637	4.273
32.00	2.66	0.000	0.00	2.66	2.51	2.51	27.0	30.0	0.900	0.0	0.291		
					2.13	2.13	81.0	30.0	2.700	0.0	0.867		
					1.60	1.60	128.0	30.0	4.267	0.0	1.369		
					1.06	1.06	148.0	30.0	4.933	0.0	1.583		
					0.53	0.53	148.0	30.0	4.933	0.0	1.583		
					0.08	0.08	180.0	30.0	6.000	0.0	1.924	1.282	3.410
36.00	2.53	0.000	0.00	2.53	2.38	2.38	36.0	30.0	1.200	0.0	0.387		
					2.02	2.02	82.0	30.0	2.733	0.0	0.878		
					1.52	1.52	158.0	30.0	5.267	0.0	1.689		
					1.01	1.01	166.0	30.0	5.533	0.0	1.775		
					0.51	0.51	183.0	30.0	6.100	0.0	1.956		
					0.08	0.08	193.0	30.0	6.433	0.0	2.063	1.479	3.743
38.00	2.14	0.000	0.00	2.14	1.99	1.99	12.0	30.0	0.400	0.0	0.130		
					1.71	1.71	25.0	30.0	0.833	0.0	0.269		
					1.28	1.28	47.0	30.0	1.567	0.0	0.504		
					0.86	0.86	36.0	30.0	1.200	0.0	0.387		
					0.43	0.43	46.0	30.0	1.533	0.0	0.494		

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					0.08	0.08	38.0	30.0	1.267	0.0	0.408	0.373	0.799
40.00	0.86	0.000	0.00	0.86	0.71	0.71	56.0	30.0	1.867	0.0	0.600		
					0.69	0.69	57.0	30.0	1.900	0.0	0.611		
					0.46	0.46	60.0	30.0	2.000	0.0	0.643		
					0.23	0.23	51.0	30.0	1.700	0.0	0.547		
					0.08	0.08	52.0	30.0	1.733	0.0	0.558	0.562	0.483
42.00	1.26	0.000	0.00	1.26	1.11	1.11	10.0	30.0	0.333	0.0	0.111		
					1.00	1.00	16.0	30.0	0.533	0.0	0.173		
					0.75	0.75	21.0	30.0	0.700	0.0	0.227		
					0.50	0.50	9.0	30.0	0.300	0.0	0.101		
					0.25	0.25	8.0	30.0	0.267	0.0	0.092		
					0.08	0.08	15.0	30.0	0.500	0.0	0.163	0.139	0.175
42.60	0.80											0.070	0.056
L. LIMN.	CAUDAL M <sup>3</sup> /SG	AREA (MTS <sup>2</sup> .)	VEL. MED. (M/SG)	PER. MOJAD	ANCHO (MTS)	MAX. PROF. (MTS)							
0	101.32	91.29	1.11	44.42	42.60	3.20							

OBSERVACIONES: TIEMPO SOLEADO, AGUA LODOSA.

HIDROMENSOR: SR LUIS MONGE

INGRESADO POR: BERENICE ZÚÑIGA

## AFORO EN LA ESTACIÓN SAN ANTONIO

### CALCULO DE AFORO

RIO: YACUAMBI.

ESTACIÓN: SAN ANTONIO

FECHA: 16 DICIEMBRE 2011

ALTURA LIMNIMETRICA INICIAL: 0.000 M.

HORA: 11:10

MEDICIONES RESPECTO A LA SUPERFICIE

ALTURA LIMNIMETRICA FINAL: 0.000 M.

HORA: 12:20

DISTANCIA AL FONDO .15 M

MOLINETE: SEBA UNIVERSAL

CON ESCANDALO 25 KG

HELICE # 1.2768

NUMERO DE VUELTAS POR INTERVALO: 1

### ECUACIONES DE CALIBRACIÓN :

$$V = 0.2915 N + 0.138 \quad \text{PARA N MENOR QUE 0.40}$$

$$V = 0.3203 N + 0.024 \quad \text{PARA N MENOR QUE 16.00}$$

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC. VELOC.	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
0.00	0.00											0.000	0.000
1.00	0.29	0.000	0.00	0.29	0.14	0.14	20.0	30.0	0.667	0.0	0.216		
					0.08	0.08	29.0	30.0	0.967	0.0	0.312	0.205	0.060

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
2.50	0.40	0.000	0.00	0.40	0.25	0.25	59.0	30.0	1.967	0.0	0.632				
					0.17	0.17	86.0	30.0	2.867	0.0	0.921	0.771	0.309		
3.50	0.50	0.000	0.00	0.50	0.35	0.35	77.0	30.0	2.567	0.0	0.825				
					0.20	0.20	79.0	30.0	2.633	0.0	0.846				
					0.08	0.08	99.0	30.0	3.300	0.0	1.059	0.834	0.417		
5.00	0.69	0.000	0.00	0.69	0.54	0.54	35.0	30.0	1.167	0.0	0.376				
					0.41	0.41	67.0	30.0	2.233	0.0	0.718				
					0.28	0.28	82.0	30.0	2.733	0.0	0.878				
					0.08	0.08	96.0	30.0	3.200	0.0	1.027	0.686	0.473		
7.00	0.88	0.000	0.00	0.88	0.73	0.73	7.0	30.0	0.233	0.0	0.082				
					0.53	0.53	20.0	30.0	0.667	0.0	0.216				
					0.35	0.35	22.0	30.0	0.733	0.0	0.237				
					0.18	0.18	20.0	30.0	0.667	0.0	0.216				
					0.08	0.08	28.0	30.0	0.933	0.0	0.301	0.189	0.166		
10.00	1.27	0.000	0.00	1.27	1.12	1.12	81.0	30.0	2.700	0.0	0.867				
					1.02	1.02	93.0	30.0	3.100	0.0	0.995				
					0.76	0.76	100.0	30.0	3.333	0.0	1.070				
					0.50	0.50	125.0	30.0	4.167	0.0	1.337				
					0.25	0.25	167.0	30.0	5.567	0.0	1.785				
					0.08	0.08	161.0	30.0	5.367	0.0	1.721	1.246	1.583		
13.00	2.01	0.000	0.00	2.01	1.86	1.86	98.0	30.0	3.267	0.0	1.049				

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					1.61	1.61	154.0	30.0	5.133	0.0	1.647		
					1.21	1.21	201.0	30.0	6.700	0.0	2.148		
					0.80	0.80	217.0	30.0	7.233	0.0	2.319		
					0.40	0.40	232.0	30.0	7.733	0.0	2.479		
					0.08	0.08	234.0	30.0	7.800	0.0	2.501	2.021	4.063
16.00	2.38	0.000	0.00	2.38	2.33	2.33	113.0	30.0	3.767	0.0	1.209		
					1.90	1.90	178.0	30.0	5.933	0.0	1.903		
					1.43	1.43	225.0	30.0	7.500	0.0	2.405		
					0.95	0.95	227.0	30.0	7.567	0.0	2.426		
					0.48	0.48	245.0	30.0	8.167	0.0	2.618		
					0.08	0.08	250.0	30.0	8.333	0.0	2.672	2.208	5.256
19.00	2.48	0.000	0.00	2.48	2.33	2.33	71.0	30.0	2.367	0.0	0.760		
					1.98	1.98	151.0	30.0	5.933	0.0	1.615		
					1.49	1.49	182.0	30.0	6.067	0.0	1.946		
					0.99	0.99	201.0	30.0	6.700	0.0	2.148		
					0.50	0.50	234.0	30.0	7.800	0.0	2.501		
					0.08	0.08	249.0	30.0	8.300	0.0	2.661	1.939	4.809
22.00	2.53	0.000	0.00	2.53	2.38	2.38	96.0	30.0	3.200	0.0	1.027		
					2.02	2.02	156.0	30.0	5.200	0.0	1.668		
					1.52	1.52	180.0	30.0	6.000	0.0	1.924		
					1.01	1.01	207.0	30.0	6.900	0.0	2.212		
					0.50	0.50	214.0	30.0	7.133	0.0	2.287		
					0.08	0.08	224.0	30.0	7.467	0.0	2.394	1.920	4.857

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
25.00	2.65	0.000	0.00	2.65	2.50	2.50	133.0	30.0	4.433	0.0	1.422		
					2.12	2.12	151.0	30.0	5.033	0.0	1.615		
					1.59	1.59	173.0	30.0	5.767	0.0	1.849		
					1.06	1.06	164.0	30.0	5.467	0.0	1.753		
					0.53	0.53	159.0	30.0	5.300	0.0	1.700		
					0.08	0.08	163.0	30.0	5.433	0.0	1.743	1.761	4.429
28.00	2.41	0.000	0.00	2.41	2.26	2.26	86.0	30.0	2.867	0.0	0.921		
					1.93	1.93	99.0	30.0	3.300	0.0	1.059		
					1.45	1.45	131.0	30.0	4.367	0.0	1.401		
					0.96	0.96	150.0	30.0	5.000	0.0	1.604		
					0.48	0.48	156.0	30.0	5.200	0.0	1.668		
					0.08	0.08	164.0	30.0	5.467	0.0	1.753	1.393	3.358
31.00	2.08	0.000	0.00	2.08	1.93	1.93	81.0	30.0	2.700	0.0	0.867		
					1.66	1.66	112.0	30.0	3.733	0.0	1.198		
					1.25	1.25	127.0	30.0	4.233	0.0	1.358		
					0.83	0.83	140.0	30.0	4.667	0.0	1.497		
					0.42	0.42	142.0	30.0	4.733	0.0	1.518		
					0.08	0.08	135.0	30.0	4.500	0.0	1.444	1.310	2.724
34.00	1.97	0.000	0.00	1.97	1.82	1.82	6.0	30.0	0.200	0.0	0.072		
					1.58	1.58	9.0	30.0	0.300	0.0	0.101		
					1.18	1.18	7.0	30.0	0.233	0.0	0.082		
					0.79	0.79	5.0	30.0	0.167	0.0	0.062		
					0.39	0.39	12.0	30.0	0.400	0.0	0.130		

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					0.08	0.08	8.0	30.0	0.267	0.0	0.092	0.088	0.173
37.00	1.53	0.000	0.00	1.53	1.38	1.38	4.0	30.0	0.133	0.0	0.053		
					1.22	1.22	12.0	30.0	0.400	0.0	0.130		
					0.92	0.92	10.0	30.0	0.333	0.0	0.111		
					0.61	0.61	9.0	30.0	0.300	0.0	0.101		
					0.31	0.31	8.0	30.0	0.267	0.0	0.092		
					0.08	0.08	7.0	30.0	0.233	0.0	0.082	0.093	0.142
38.00	1.50	0.000	0.00	1.50	1.35	1.35	12.0	30.0	0.400	0.0	0.130		
					1.20	1.20	16.0	30.0	0.533	0.0	0.173		
					0.90	0.90	19.0	30.0	0.633	0.0	0.205		
					0.60	0.60	33.0	30.0	1.100	0.0	0.355		
					0.30	0.30	48.0	30.0	1.600	0.0	0.515		
					0.08	0.08	43.0	30.0	1.433	0.0	0.461	0.299	0.449
41.00	1.34	0.000	0.00	1.34	1.19	1.19	16.0	30.0	0.533	0.0	0.173		
					1.07	1.07	18.0	30.0	0.600	0.0	1.950		
					0.80	0.80	29.0	30.0	0.967	0.0	0.312		
					0.54	0.54	36.0	30.0	1.200	0.0	0.387		
					0.27	0.27	39.0	30.0	1.300	0.0	0.419		
					0.08	0.08	41.0	30.0	1.367	0.0	0.440	0.316	0.424
44.00	0.69	0.000	0.00	0.69	0.54	0.54	14.0	30.0	0.467	0.0	0.152		
					0.41	0.41	12.0	30.0	0.400	0.0	0.130		
					0.28	0.28	17.0	30.0	0.567	0.0	0.184		

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					0.08	0.08	18.0	30.0	0.600	0.0	1.950	0.155	0.107
47.50	0.00											0.000	0.000

L. LIMN.	CAUDAL M <sup>3</sup> /SG	AREA (MTS <sup>2</sup> .)	VEL. MED. (M/SG)	PER. MOJAD	ANCHO (MTS)	MAX. PROF. (MTS)
0	98.78	76.557	1.290	47.917	47.50	2.650

OBSERVACIONES: TIEMPO NUBLADO, AGUA SUCIA.

HIDROMENSOR: SR LUIS MONGE

INGRESADO POR: BERENICE ZÚÑIGA

## AFORO EN LA ESTACIÓN LA SAQUEA

### CALCULO DE AFORO

RIO: YACUAMBI.

ESTACIÓN: LA SAQUEA

FECHA: 16 DICIEMBRE 2011

ALTURA LIMNIMETRICA INICIAL: 0.000 M. HORA: 15:00 MEDICIONES RESPECTO A LA SUPERFICIE

ALTURA LIMNIMETRICA FINAL: 0.000 M. HORA: 16:50 DISTANCIA AL FONDO .15 M

MOLINETE: SEBA UNIVERSAL CON ESCANDALO 25 KG

HELICE # 1.2768

NUMERO DE VUELTAS POR INTERVALO: 1

### ECUACIONES DE CALIBRACIÓN :

$$V = 0.2915 N + 0.138 \quad \text{PARA N MENOR QUE 0.40}$$

$$V = 0.3203 N + 0.024 \quad \text{PARA N MENOR QUE 16.00}$$

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC. VELOC.	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
0.00	0.00											0.000	0.000
4.00	1.79	0.000	0.00	1.79	1.64	1.64	18.0	30.0	0.600	0.0	0.195		
					1.44	1.44	23.0	30.0	0.767	0.0	0.248		
					1.08	1.08	32.0	30.0	1.067	0.0	0.344		
					0.72	0.72	36.0	30.0	1.200	0.0	0.387		
					0.36	0.36	34.0	30.0	1.133	0.0	0.365		
					0.08	0.08	37.0	30.0	1.233	0.0	0.397	0.321	0.575

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
6.00	2.01	0.000	0.00	2.01	1.86	1.86	29.0	30.0	0.967	0.0	0.312		
					1.60	1.60	40.0	30.0	1.333	0.0	0.429		
					1.20	1.20	45.0	30.0	1.500	0.0	0.483		
					0.80	0.80	50.0	30.0	1.667	0.0	0.536		
					0.40	0.40	50.0	30.0	1.667	0.0	0.536		
					0.08	0.08	58.0	30.0	1.933	0.0	0.622	0.479	0.963
10.00	2.76	0.000	0.00	2.76	2.61	2.61	42.0	30.0	1.400	0.0	0.451		
					2.20	2.20	58.0	30.0	1.933	0.0	0.622		
					1.65	1.65	91.0	30.0	3.033	0.0	0.974		
					1.10	1.10	85.0	30.0	2.833	0.0	0.910		
					0.55	0.55	99.0	30.0	3.300	0.0	1.059		
					0.08	0.08	80.0	30.0	2.667	10.0	0.844	0.825	2.277
14.00	2.84	0.000	0.00	2.84	2.69	2.69	60.0	30.0	2.000	0.0	0.643		
					2.26	2.26	116.0	30.0	3.867	0.0	1.241		
					1.69	1.69	131.0	30.0	4.367	0.0	1.401		
					1.13	1.13	132.0	30.0	4.400	0.0	1.412		
					0.56	0.56	131.0	30.0	4.367	0.0	1.401		
					0.08	0.08	117.0	30.0	3.900	10.0	1.233	1.245	3.536
18.00	3.00	0.000	0.00	3.00	2.85	2.85	60.0	30.0	1.267	0.0	0.408		
					2.26	2.26	116.0	30.0	3.333	0.0	1.070		
					1.69	1.69	131.0	30.0	3.733	0.0	1.198		
					1.13	1.13	132.0	30.0	4.300	0.0	1.380		
					0.56	0.56	131.0	30.0	4.633	0.0	1.486		

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					0.08	0.08	117.0	30.0	4.633	15.0	1.436	1.184	3.553
22.00	3.26	0.000	0.00	3.26	3.11	3.11	75.0	30.0	2.500	0.0	0.803		
					2.60	2.60	100.0	30.0	3.333	0.0	1.070		
					1.95	1.95	111.0	30.0	3.700	0.0	1.188		
					1.30	1.30	118.0	30.0	3.933	0.0	1.262		
					0.65	0.65	123.0	30.0	4.100	0.0	1.316		
					0.08	0.08	131.0	30.0	4.367	15.0	1.353	1.165	3.796
26.00	3.30	0.000	0.00	3.30	3.15	3.15	76.0	30.0	2.533	0.0	0.814		
					2.64	2.64	81.0	30.0	2.700	0.0	0.867		
					1.98	1.98	116.0	30.0	3.867	0.0	1.241		
					1.32	1.32	117.0	30.0	3.900	0.0	1.252		
					0.66	0.66	137.0	30.0	4.567	0.0	1.465		
					0.08	0.08	137.0	30.0	4.567	10.0	1.443	1.178	3.887
30.00	3.48	0.000	0.00	3.48	3.33	3.33	71.0	30.0	2.367	0.0	0.760		
					2.80	2.80	105.0	30.0	3.500	0.0	1.123		
					2.10	2.10	111.0	30.0	3.700	0.0	1.188		
					1.40	1.40	125.0	30.0	4.167	0.0	1.337		
					0.70	0.70	142.0	30.0	4.733	0.0	1.518		
					0.08	0.08	139.0	30.0	4.633	10.0	1.464	1.238	4.308
34.00	3.29	0.000	0.00	3.29	3.33	3.33	70.0	30.0	2.333	0.0	0.750		
					2.80	2.80	103.0	30.0	3.433	0.0	1.102		
					2.10	2.10	108.0	30.0	3.600	0.0	1.255		

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					1.40	1.40	117.0	30.0	3.900	0.0	1.252		
					0.70	0.70	113.0	30.0	3.767	0.0	1.209		
					0.08	0.08	124.0	30.0	4.133	10.0	1.306	1.132	3.724
38.00	3.25	0.000	0.00	3.25	3.10	3.10	65.0	30.0	2.167	0.0	0.696		
					2.60	2.60	93.0	30.0	3.100	0.0	0.995		
					1.95	1.95	98.0	30.0	3.267	0.0	1.049		
					1.30	1.30	102.0	30.0	3.400	0.0	1.091		
					0.65	0.65	110.0	30.0	3.667	0.0	1.177		
					0.08	0.08	108.0	30.0	3.600	15.0	1.116	1.026	3.333
42.00	3.08	0.000	0.00	3.08	2.93	2.93	41.0	30.0	1.367	0.0	0.440		
					2.48	2.48	59.0	30.0	1.967	0.0	0.632		
					1.86	1.86	62.0	30.0	2.067	0.0	0.664		
					1.24	1.24	80.0	30.0	2.667	0.0	0.857		
					0.62	0.62	90.0	30.0	3.000	0.0	0.963		
					0.08	0.08	89.0	30.0	2.967	15.0	0.920	0.748	2.304
46.00	2.94	0.000	0.00	2.94	2.79	2.79	19.0	30.0	0.633	0.0	0.205		
					2.36	2.36	30.0	30.0	1.000	0.0	0.323		
					1.77	1.77	36.0	30.0	1.200	0.0	0.387		
					1.18	1.18	45.0	30.0	1.500	0.0	0.483		
					0.59	0.59	45.0	30.0	1.500	0.0	0.483		
					0.08	0.08	44.0	30.0	1.467	20.0	0.444	0.393	1.156
50.00	2.56	0.000	0.00	2.56	1.45	1.45	13.0	30.0	0.433	0.0	0.141		

ABSCISA	FONDO MEDIDO	TAN. ANG ALFA	CABLE AL AGUA	FONDO REAL	PROF. OBSERV	PROF. CORREG	NUMERO INTERV	TIEMPO	VUELTAS POR SEG.	DESVIO BETA	VELOC	VELOC. MEDIA	CAUDAL UNITARIO
					1.04	1.04	13.0	30.0	0.433	0.0	0.141		
					1.53	1.53	22.0	30.0	0.733	0.0	0.237		
					1.02	1.02	17.0	30.0	0.533	0.0	0.173		
					0.51	0.51	19.0	30.0	0.633	0.0	0.205		
					0.08	0.08	45.0	30.0	1.500	15.0	0.466	0.214	0.548
54.00	1.45	0.000	0.00	1.45	1.30	1.30	3.0	30.0	0.100	0.0	0.043		
					1.16	1.16	5.0	30.0	0.167	0.0	0.062		
					0.87	0.87	5.0	30.0	0.167	0.0	0.062		
					0.58	0.58	13.0	30.0	0.433	0.0	0.141		
					0.29	0.29	14.0	30.0	0.467	0.0	0.152		
					0.08	0.08	6.0	30.0	0.200	45.0	0.051	0.086	0.125
56.00	0.00											0.000	0.000
L. LIMN.	CAUDAL M <sup>3</sup> /SG	AREA (MTS <sup>2</sup> .)	VEL. MED. (M/SG)	PER. MOJAD	ANCHO (MTS)	MAX. PROF. (MTS)							
0	134.68	150.79	0.893	57.131	56.00	3.48							

OBSERVACIONES: TIEMPO SOLEADO, AGUA LODOSA.

HIDROMENSOR: SR LUIS MONGE  
INGRESADO POR: BERENICE ZÚÑIGA

## Anexo 2 Ejemplo de cálculo del modelo de Streeter-Phepls.

### Tramo 1. Tutupali – El Puerto

#### 1. Datos iniciales para el modelo

DATOS DEL TRAMO									
Q <sub>R</sub>	Q <sub>D</sub>	OD <sub>R</sub>	OD <sub>D</sub>	DBO <sub>R</sub>	DBO <sub>D</sub>	T <sub>agua</sub>	T <sub>ambiente</sub>	Velocidad	Profundidad
m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	°C	°C	m/s	m
112.84	0.0026	9.34	4.1	17.20	78	15.76	22.20	4.68	2.6

#### 6 Balances de materia

Usando la tabla 3.3

<b>Q<sub>o</sub></b>	112.84	m <sup>3</sup> /s
<b>OD<sub>o</sub></b>	9.34	mg/l
<b>DBO<sub>o</sub></b>	17.20	mg/l
<b>T<sub>o</sub></b>	16	°C

#### 7 Déficit inicial de oxígeno disuelto. (Do)

Usando la ecuación 3.3 y la tabla 3.7

OS	9.9
<b>Do =</b>	0.6

#### 8 Longitud del tramo

13522.851 m

#### 9 Déficit de OD al final del tramo.

Usando la ecuación 3.11.

D = 0.664002 mg/l

10 Concentración de OD al final del tramo.

Usando la ecuación 3.19.

$$\text{OD} = 9.235998 \text{ mg/l}$$

11 Decaimiento de la DBO al final del tramo.

Usando la ecuación 3.10

$$\text{DBO} = 17.059941 \text{ mg/l}$$

## CONDICIONES CRÍTICAS

12 Tiempo crítico

Usando la ecuación 3.20.

$$t_c = 1.11551330 \text{ días}$$

13 Distancia crítica ( $m > 13522.851m$ )

Usando la ecuación 3.21.

$$X_c = 451060.034 \text{ m}$$

14 Déficit crítico

Usando la ecuación 3.22.

$$D_c = 1.7583551 \text{ mg/l}$$

15 Oxígeno Disuelto crítico

Usando la ecuación 3.23.

$$\text{OD}_c = 8.14164482 \text{ mg/l}$$

## 16 Decaimiento de la DBO crítica

Usando la ecuación 3.24.

$$\text{DBO}_c = 13.0599492 \text{ mg/l}$$

Para los siguientes tramos el cálculo es similar su única diferencia se presenta en el ingreso de datos y su respectivo balance de masa.

**Anexo 3** Resultado de cálculo del modelo en el Tramo 1. Tutupali – El Puerto

Longitud del tramo es de 13522.851m.

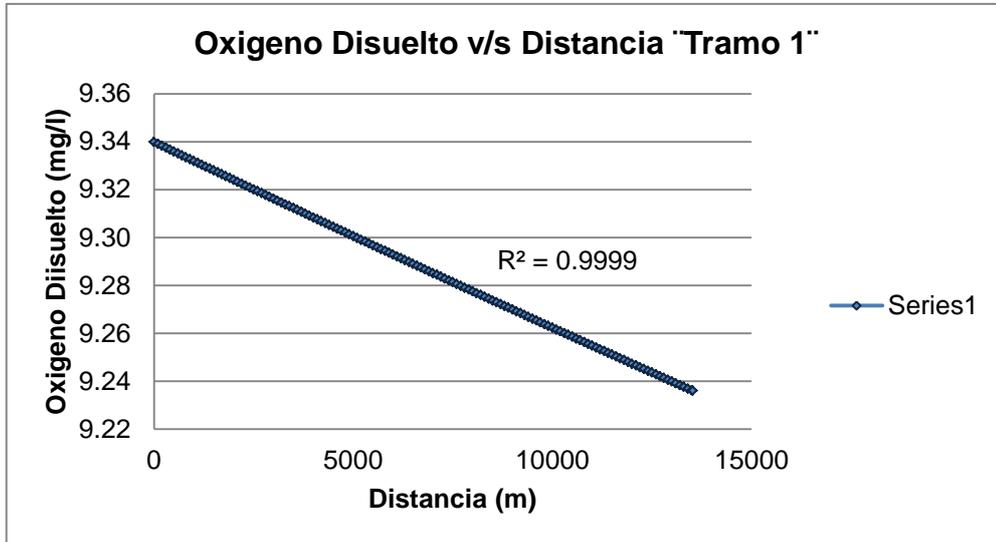
MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
0	0.00	0.560121	9.339879	17.201401	0.00	0.00
100	0.00	0.560917	9.339083	17.200351	0.01	0.01
200	0.00	0.561713	9.338287	17.199300	0.02	0.01
300	0.00	0.562508	9.337492	17.198250	0.03	0.02
400	0.00	0.563303	9.336697	17.197200	0.03	0.02
500	0.00	0.564097	9.335903	17.196150	0.04	0.03
600	0.00	0.564891	9.335109	17.195100	0.05	0.04
700	0.00	0.565685	9.334315	17.194050	0.06	0.04
800	0.00	0.566478	9.333522	17.193000	0.07	0.05
900	0.00	0.567271	9.332729	17.191950	0.08	0.05
1000	0.00	0.568063	9.331937	17.190900	0.09	0.06
1100	0.00	0.568855	9.331145	17.189850	0.09	0.07
1200	0.00	0.569647	9.330353	17.188801	0.10	0.07
1300	0.00	0.570438	9.329562	17.187751	0.11	0.08
1400	0.00	0.571228	9.328772	17.186701	0.12	0.09
1500	0.00	0.572018	9.327982	17.185652	0.13	0.09
1600	0.00	0.572808	9.327192	17.184603	0.14	0.10
1700	0.00	0.573598	9.326402	17.183553	0.14	0.10
1800	0.00	0.574387	9.325613	17.182504	0.15	0.11
1900	0.00	0.575175	9.324825	17.181455	0.16	0.12
2000	0.00	0.575963	9.324037	17.180406	0.17	0.12
2100	0.01	0.576751	9.323249	17.179356	0.18	0.13
2200	0.01	0.577538	9.322462	17.178307	0.19	0.13
2300	0.01	0.578325	9.321675	17.177258	0.19	0.14
2400	0.01	0.579111	9.320889	17.176210	0.20	0.15
2500	0.01	0.579897	9.320103	17.175161	0.21	0.15
2600	0.01	0.580683	9.319317	17.174112	0.22	0.16
2700	0.01	0.581468	9.318532	17.173063	0.23	0.16
2800	0.01	0.582253	9.317747	17.172015	0.24	0.17
2900	0.01	0.583037	9.316963	17.170966	0.25	0.18
3000	0.01	0.583821	9.316179	17.169918	0.25	0.18
3100	0.01	0.584605	9.315395	17.168869	0.26	0.19
3200	0.01	0.585388	9.314612	17.167821	0.27	0.20
3300	0.01	0.586170	9.313830	17.166772	0.28	0.20
3400	0.01	0.586952	9.313048	17.165724	0.29	0.21
3500	0.01	0.587734	9.312266	17.164676	0.30	0.21
3600	0.01	0.588516	9.311484	17.163628	0.30	0.22
3700	0.01	0.589297	9.310703	17.162580	0.31	0.23

MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
3800	0.01	0.590077	9.309923	17.161532	0.32	0.23
3900	0.01	0.590857	9.309143	17.160484	0.33	0.24
4000	0.01	0.591637	9.308363	17.159436	0.34	0.24
4100	0.01	0.592416	9.307584	17.158388	0.35	0.25
4200	0.01	0.593195	9.306805	17.157340	0.35	0.26
4300	0.01	0.593974	9.306026	17.156293	0.36	0.26
4400	0.01	0.594752	9.305248	17.155245	0.37	0.27
4500	0.01	0.595529	9.304471	17.154197	0.38	0.27
4600	0.01	0.596307	9.303693	17.153150	0.39	0.28
4700	0.01	0.597083	9.302917	17.152103	0.40	0.29
4800	0.01	0.597860	9.302140	17.151055	0.40	0.29
4900	0.01	0.598636	9.301364	17.150008	0.41	0.30
5000	0.01	0.599411	9.300589	17.148961	0.42	0.30
5100	0.01	0.600186	9.299814	17.147913	0.43	0.31
5200	0.01	0.600961	9.299039	17.146866	0.44	0.32
5300	0.01	0.601735	9.298265	17.145819	0.45	0.32
5400	0.01	0.602509	9.297491	17.144772	0.45	0.33
5500	0.01	0.603283	9.296717	17.143725	0.46	0.34
5600	0.01	0.604056	9.295944	17.142679	0.47	0.34
5700	0.01	0.604828	9.295172	17.141632	0.48	0.35
5800	0.01	0.605601	9.294399	17.140585	0.49	0.35
5900	0.01	0.606372	9.293628	17.139538	0.50	0.36
6000	0.01	0.607144	9.292856	17.138492	0.50	0.37
6100	0.02	0.607915	9.292085	17.137445	0.51	0.37
6200	0.02	0.608685	9.291315	17.136399	0.52	0.38
6300	0.02	0.609456	9.290544	17.135352	0.53	0.38
6400	0.02	0.610225	9.289775	17.134306	0.54	0.39
6500	0.02	0.610995	9.289005	17.133260	0.54	0.40
6600	0.02	0.611764	9.288236	17.132214	0.55	0.40
6700	0.02	0.612532	9.287468	17.131167	0.56	0.41
6800	0.02	0.613300	9.286700	17.130121	0.57	0.41
6900	0.02	0.614068	9.285932	17.129075	0.58	0.42
7000	0.02	0.614835	9.285165	17.128029	0.59	0.43
7100	0.02	0.615602	9.284398	17.126983	0.59	0.43
7200	0.02	0.616368	9.283632	17.125938	0.60	0.44
7300	0.02	0.617134	9.282866	17.124892	0.61	0.44
7400	0.02	0.617900	9.282100	17.123846	0.62	0.45
7500	0.02	0.618665	9.281335	17.122801	0.63	0.46
7600	0.02	0.619430	9.280570	17.121755	0.64	0.46
7700	0.02	0.620195	9.279805	17.120709	0.64	0.47
7800	0.02	0.620959	9.279041	17.119664	0.65	0.48
7900	0.02	0.621722	9.278278	17.118619	0.66	0.48

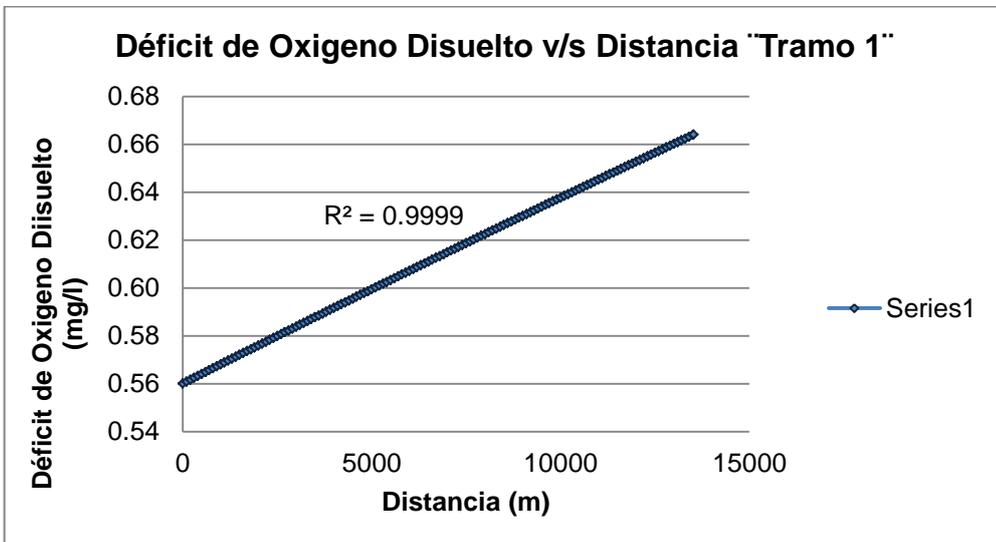
MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
8000	0.02	0.622485	9.277515	17.117573	0.67	0.49
8100	0.02	0.623248	9.276752	17.116528	0.68	0.49
8200	0.02	0.624010	9.275990	17.115483	0.68	0.50
8300	0.02	0.624772	9.275228	17.114438	0.69	0.51
8400	0.02	0.625534	9.274466	17.113393	0.70	0.51
8500	0.02	0.626295	9.273705	17.112348	0.71	0.52
8600	0.02	0.627056	9.272944	17.111303	0.72	0.52
8700	0.02	0.627816	9.272184	17.110258	0.72	0.53
8800	0.02	0.628576	9.271424	17.109213	0.73	0.54
8900	0.02	0.629335	9.270665	17.108168	0.74	0.54
9000	0.02	0.630094	9.269906	17.107124	0.75	0.55
9100	0.02	0.630853	9.269147	17.106079	0.76	0.55
9200	0.02	0.631611	9.268389	17.105034	0.77	0.56
9300	0.02	0.632369	9.267631	17.103990	0.77	0.57
9400	0.02	0.633127	9.266873	17.102946	0.78	0.57
9500	0.02	0.633884	9.266116	17.101901	0.79	0.58
9600	0.02	0.634640	9.265360	17.100857	0.80	0.58
9700	0.02	0.635396	9.264604	17.099813	0.81	0.59
9800	0.02	0.636152	9.263848	17.098768	0.81	0.60
9900	0.02	0.636908	9.263092	17.097724	0.82	0.60
10000	0.02	0.637663	9.262337	17.096680	0.83	0.61
10100	0.02	0.638417	9.261583	17.095636	0.84	0.61
10200	0.03	0.639171	9.260829	17.094592	0.85	0.62
10300	0.03	0.639925	9.260075	17.093549	0.85	0.63
10400	0.03	0.640679	9.259321	17.092505	0.86	0.63
10500	0.03	0.641432	9.258568	17.091461	0.87	0.64
10600	0.03	0.642184	9.257816	17.090417	0.88	0.65
10700	0.03	0.642936	9.257064	17.089374	0.89	0.65
10800	0.03	0.643688	9.256312	17.088330	0.89	0.66
10900	0.03	0.644439	9.255561	17.087287	0.90	0.66
11000	0.03	0.645190	9.254810	17.086243	0.91	0.67
11100	0.03	0.645941	9.254059	17.085200	0.92	0.68
11200	0.03	0.646691	9.253309	17.084157	0.93	0.68
11300	0.03	0.647441	9.252559	17.083114	0.93	0.69
11400	0.03	0.648190	9.251810	17.082070	0.94	0.69
11500	0.03	0.648939	9.251061	17.081027	0.95	0.70
11600	0.03	0.649688	9.250312	17.079984	0.96	0.71
11700	0.03	0.650436	9.249564	17.078941	0.97	0.71
11800	0.03	0.651183	9.248817	17.077898	0.97	0.72
11900	0.03	0.651931	9.248069	17.076856	0.98	0.72
12000	0.03	0.652678	9.247322	17.075813	0.99	0.73
12100	0.03	0.653424	9.246576	17.074770	1.00	0.74

MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
12200	0.03	0.654170	9.245830	17.073727	1.01	0.74
12300	0.03	0.654916	9.245084	17.072685	1.01	0.75
12400	0.03	0.655661	9.244339	17.071642	1.02	0.75
12500	0.03	0.656406	9.243594	17.070600	1.03	0.76
12600	0.03	0.657151	9.242849	17.069558	1.04	0.77
12700	0.03	0.657895	9.242105	17.068515	1.05	0.77
12800	0.03	0.658639	9.241361	17.067473	1.05	0.78
12900	0.03	0.659382	9.240618	17.066431	1.06	0.78
13000	0.03	0.660125	9.239875	17.065389	1.07	0.79
13100	0.03	0.660867	9.239133	17.064347	1.08	0.80
13200	0.03	0.661609	9.238391	17.063305	1.09	0.80
13300	0.03	0.662351	9.237649	17.062263	1.09	0.81
13400	0.03	0.663092	9.236908	17.061221	1.10	0.81
13500	0.03	0.663833	9.236167	17.060179	1.11	0.82
13522.851	0.03	0.664002	9.235998	17.059941	1.11	0.82

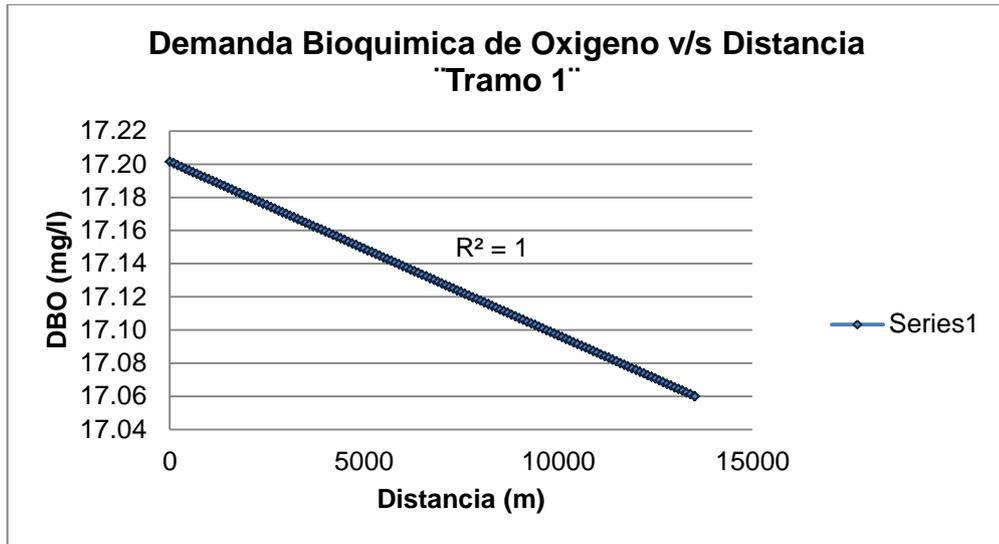
**Anexo 3A** Validación en el Tramo 1. Tutupali – El Puerto



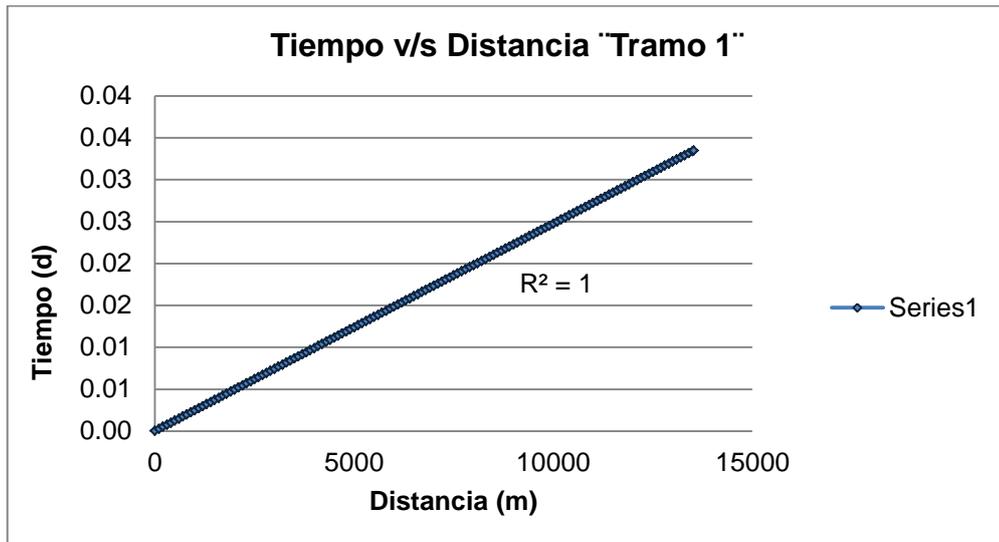
Fuente: Autora



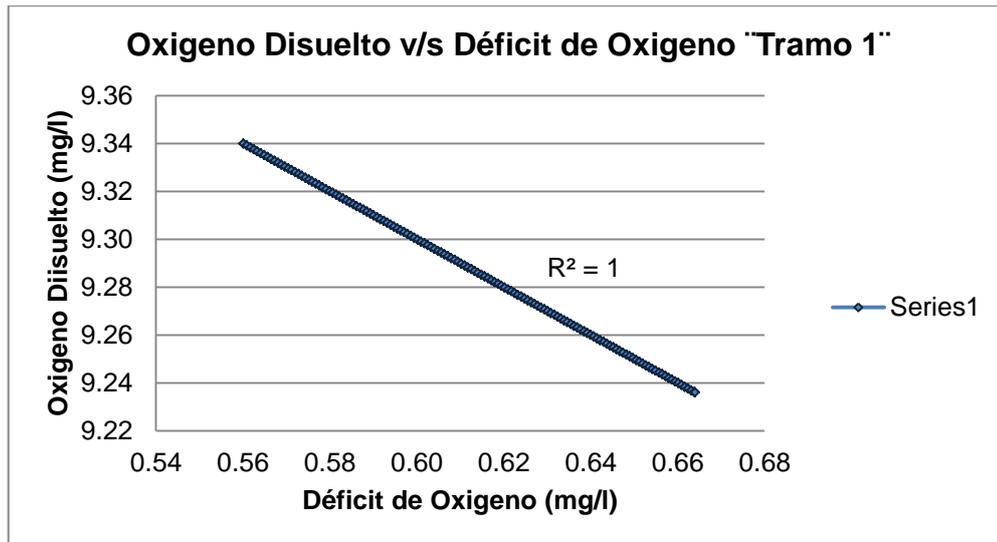
Fuente: Autora



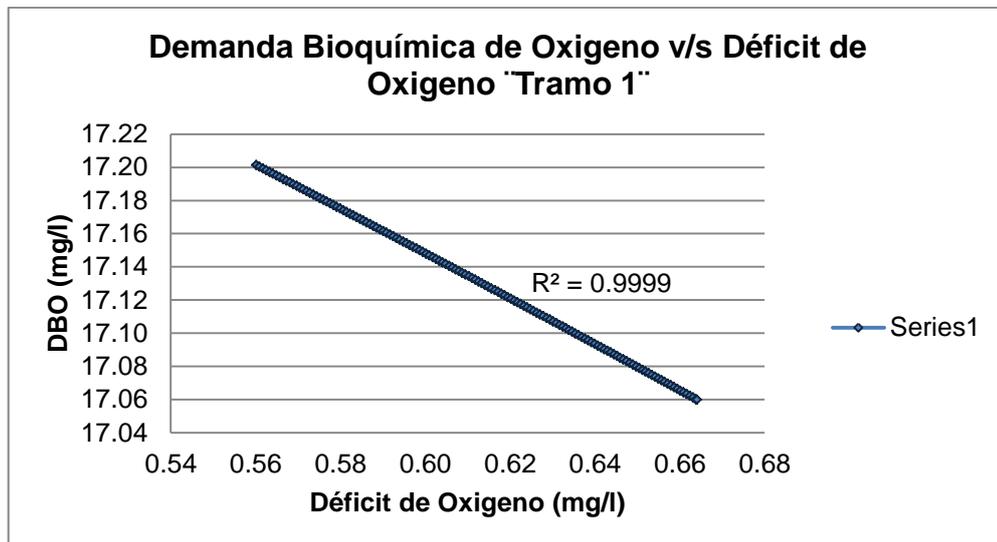
Fuente: Autora



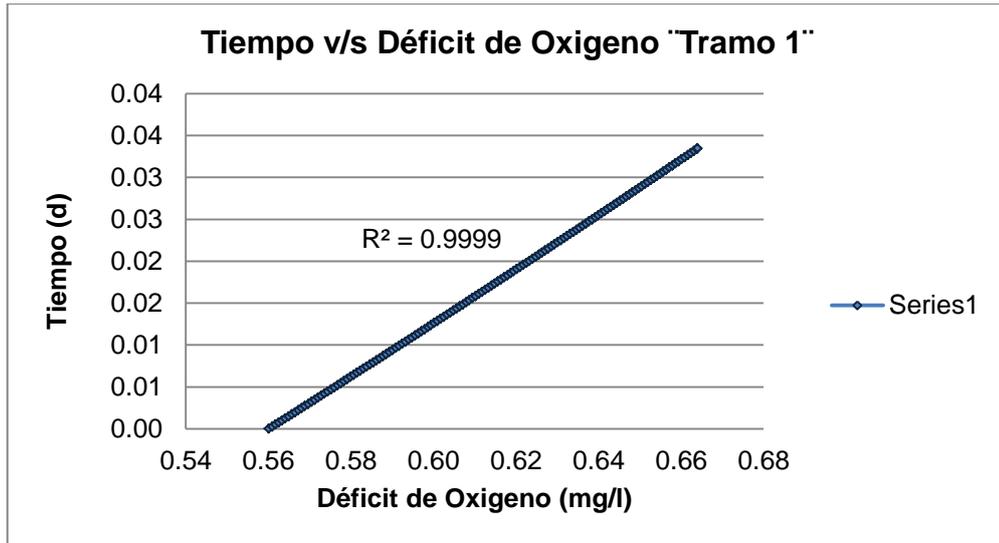
Fuente: Autora



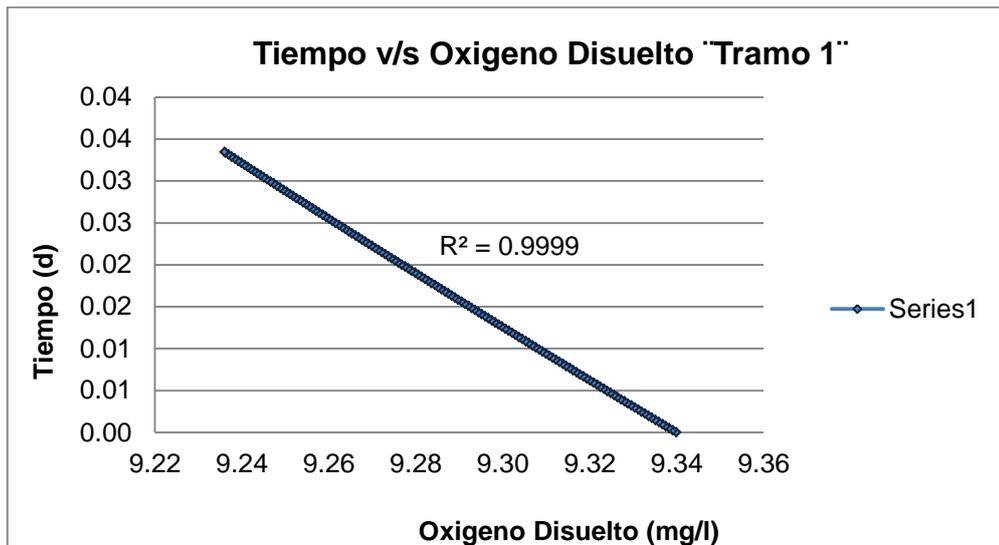
Fuente: Autora



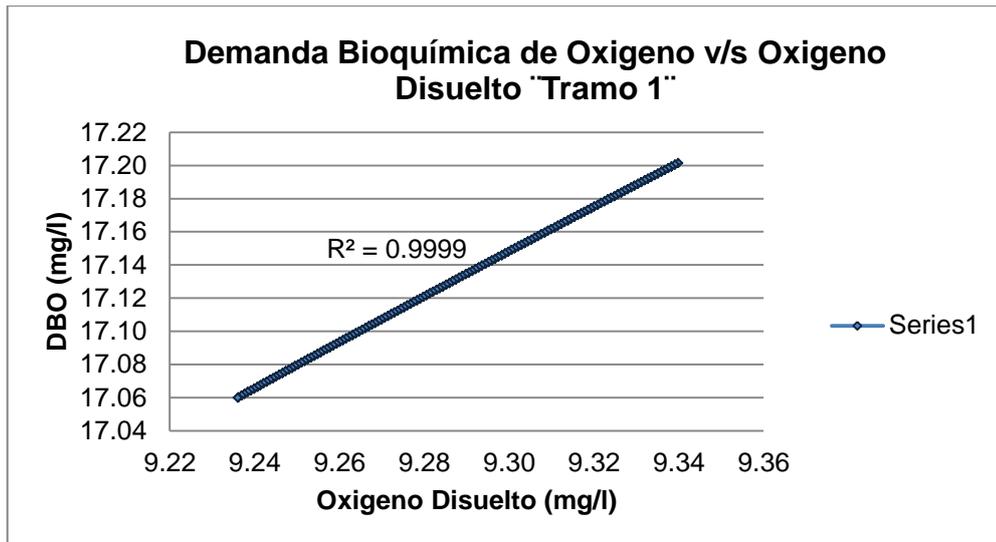
Fuente: Autora



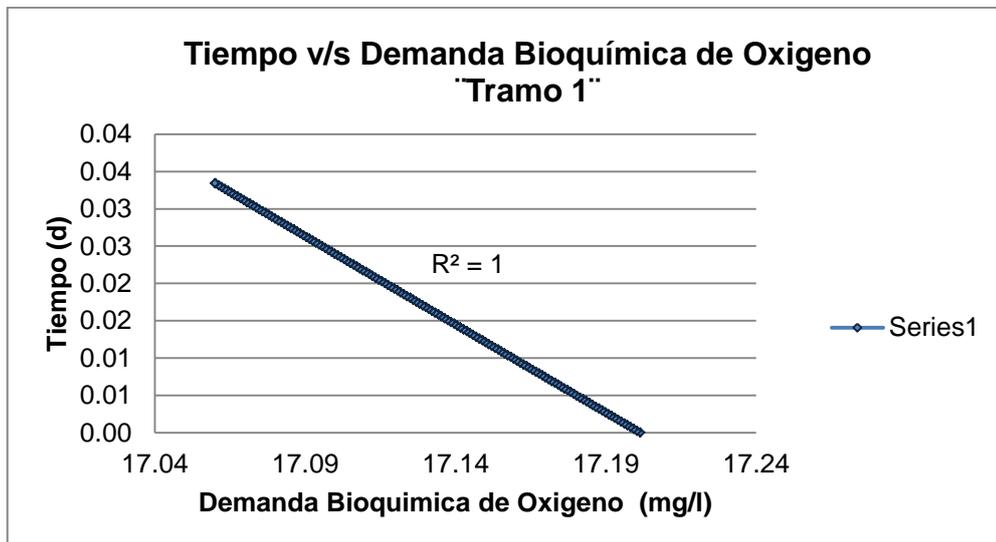
Fuente: Autora



Fuente: Autora



Fuente: Autora



Fuente: Autora

**Anexo 4** Resultado de cálculo del modelo en el Tramo 2. El Puerto - Napurak

Longitud del tramo es de 20187.37m.

MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
0	0.00	2.200144	7.899856	15.992308	0.00	0.00
100	0.00	2.203613	7.896387	15.987284	0.04	0.03
200	0.00	2.207077	7.892923	15.982261	0.09	0.06
300	0.00	2.210538	7.889462	15.977240	0.13	0.09
400	0.01	2.213995	7.886005	15.972221	0.18	0.13
500	0.01	2.217448	7.882552	15.967203	0.22	0.16
600	0.01	2.220896	7.879104	15.962187	0.26	0.19
700	0.01	2.224341	7.875659	15.957172	0.31	0.22
800	0.01	2.227782	7.872218	15.952159	0.35	0.25
900	0.01	2.231218	7.868782	15.947147	0.39	0.28
1000	0.01	2.234651	7.865349	15.942137	0.44	0.31
1100	0.01	2.238080	7.861920	15.937129	0.48	0.35
1200	0.02	2.241504	7.858496	15.932122	0.52	0.38
1300	0.02	2.244925	7.855075	15.927117	0.57	0.41
1400	0.02	2.248342	7.851658	15.922113	0.61	0.44
1500	0.02	2.251755	7.848245	15.917111	0.65	0.47
1600	0.02	2.255163	7.844837	15.912111	0.70	0.50
1700	0.02	2.258568	7.841432	15.907112	0.74	0.53
1800	0.02	2.261969	7.838031	15.902115	0.78	0.56
1900	0.02	2.265366	7.834634	15.897119	0.83	0.60
2000	0.03	2.268759	7.831241	15.892125	0.87	0.63
2100	0.03	2.272147	7.827853	15.887132	0.91	0.66
2200	0.03	2.275532	7.824468	15.882141	0.95	0.69
2300	0.03	2.278913	7.821087	15.877151	1.00	0.72
2400	0.03	2.282290	7.817710	15.872163	1.04	0.75
2500	0.03	2.285663	7.814337	15.867177	1.08	0.78
2600	0.03	2.289033	7.810967	15.862192	1.13	0.81
2700	0.04	2.292398	7.807602	15.857209	1.17	0.84
2800	0.04	2.295759	7.804241	15.852227	1.21	0.88
2900	0.04	2.299116	7.800884	15.847247	1.25	0.91
3000	0.04	2.302470	7.797530	15.842269	1.30	0.94
3100	0.04	2.305819	7.794181	15.837292	1.34	0.97
3200	0.04	2.309165	7.790835	15.832316	1.38	1.00
3300	0.04	2.312506	7.787494	15.827342	1.42	1.03
3400	0.04	2.315844	7.784156	15.822370	1.46	1.06
3500	0.05	2.319178	7.780822	15.817399	1.51	1.09
3600	0.05	2.322507	7.777493	15.812430	1.55	1.12
3700	0.05	2.325833	7.774167	15.807463	1.59	1.16

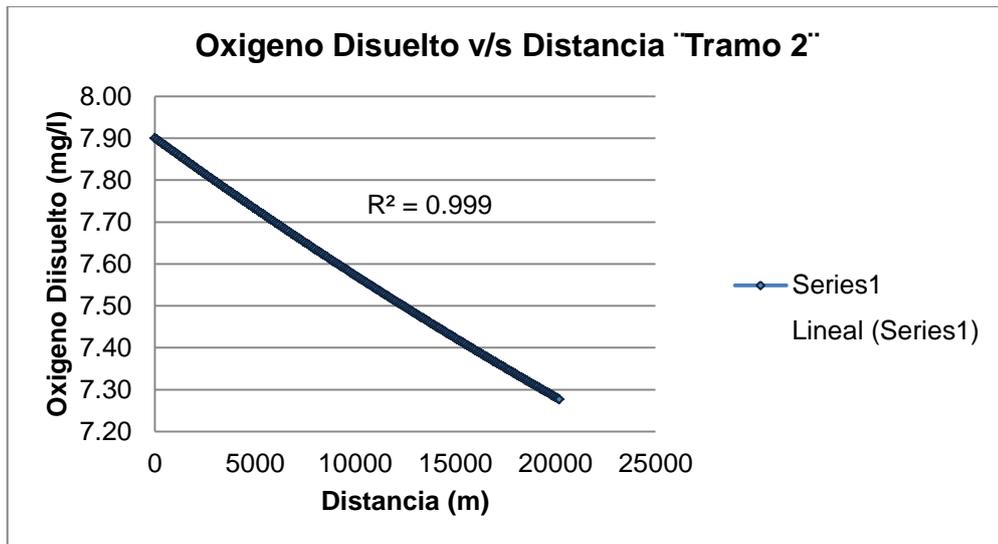
MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
3800	0.05	2.329155	7.770845	15.802497	1.63	1.19
3900	0.05	2.332473	7.767527	15.797532	1.68	1.22
4000	0.05	2.335788	7.764212	15.792569	1.72	1.25
4100	0.05	2.339098	7.760902	15.787608	1.76	1.28
4200	0.05	2.342404	7.757596	15.782648	1.80	1.31
4300	0.06	2.345707	7.754293	15.777690	1.84	1.34
4400	0.06	2.349005	7.750995	15.772733	1.88	1.37
4500	0.06	2.352300	7.747700	15.767778	1.93	1.40
4600	0.06	2.355591	7.744409	15.762824	1.97	1.43
4700	0.06	2.358878	7.741122	15.757872	2.01	1.47
4800	0.06	2.362161	7.737839	15.752922	2.05	1.50
4900	0.06	2.365440	7.734560	15.747973	2.09	1.53
5000	0.07	2.368716	7.731284	15.743026	2.13	1.56
5100	0.07	2.371987	7.728013	15.738080	2.18	1.59
5200	0.07	2.375255	7.724745	15.733135	2.22	1.62
5300	0.07	2.378518	7.721482	15.728193	2.26	1.65
5400	0.07	2.381778	7.718222	15.723252	2.30	1.68
5500	0.07	2.385034	7.714966	15.718312	2.34	1.71
5600	0.07	2.388287	7.711713	15.713374	2.38	1.74
5700	0.07	2.391535	7.708465	15.708437	2.42	1.78
5800	0.08	2.394779	7.705221	15.703503	2.46	1.81
5900	0.08	2.398020	7.701980	15.698569	2.50	1.84
6000	0.08	2.401257	7.698743	15.693637	2.55	1.87
6100	0.08	2.404490	7.695510	15.688707	2.59	1.90
6200	0.08	2.407719	7.692281	15.683778	2.63	1.93
6300	0.08	2.410944	7.689056	15.678851	2.67	1.96
6400	0.08	2.414166	7.685834	15.673925	2.71	1.99
6500	0.08	2.417384	7.682616	15.669001	2.75	2.02
6600	0.09	2.420598	7.679402	15.664079	2.79	2.05
6700	0.09	2.423808	7.676192	15.659158	2.83	2.08
6800	0.09	2.427014	7.672986	15.654238	2.87	2.11
6900	0.09	2.430216	7.669784	15.649320	2.91	2.14
7000	0.09	2.433415	7.666585	15.644404	2.95	2.18
7100	0.09	2.436610	7.663390	15.639489	2.99	2.21
7200	0.09	2.439801	7.660199	15.634576	3.03	2.24
7300	0.09	2.442988	7.657012	15.629664	3.07	2.27
7400	0.10	2.446171	7.653829	15.624754	3.11	2.30
7500	0.10	2.449351	7.650649	15.619845	3.15	2.33
7600	0.10	2.452527	7.647473	15.614938	3.19	2.36
7700	0.10	2.455699	7.644301	15.610033	3.23	2.39
7800	0.10	2.458867	7.641133	15.605129	3.28	2.42
7900	0.10	2.462032	7.637968	15.600226	3.32	2.45

MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
8000	0.10	2.465193	7.634807	15.595325	3.36	2.48
8100	0.11	2.468350	7.631650	15.590426	3.40	2.51
8200	0.11	2.471503	7.628497	15.585528	3.43	2.54
8300	0.11	2.474652	7.625348	15.580632	3.47	2.57
8400	0.11	2.477798	7.622202	15.575737	3.51	2.60
8500	0.11	2.480940	7.619060	15.570844	3.55	2.64
8600	0.11	2.484078	7.615922	15.565952	3.59	2.67
8700	0.11	2.487212	7.612788	15.561062	3.63	2.70
8800	0.11	2.490343	7.609657	15.556173	3.67	2.73
8900	0.12	2.493470	7.606530	15.551286	3.71	2.76
9000	0.12	2.496593	7.603407	15.546400	3.75	2.79
9100	0.12	2.499713	7.600287	15.541516	3.79	2.82
9200	0.12	2.502828	7.597172	15.536634	3.83	2.85
9300	0.12	2.505940	7.594060	15.531753	3.87	2.88
9400	0.12	2.509049	7.590951	15.526873	3.91	2.91
9500	0.12	2.512153	7.587847	15.521996	3.95	2.94
9600	0.12	2.515254	7.584746	15.517119	3.99	2.97
9700	0.13	2.518351	7.581649	15.512244	4.03	3.00
9800	0.13	2.521444	7.578556	15.507371	4.07	3.03
9900	0.13	2.524534	7.575466	15.502499	4.11	3.06
10000	0.13	2.527620	7.572380	15.497629	4.15	3.09
10100	0.13	2.530702	7.569298	15.492760	4.18	3.12
10200	0.13	2.533780	7.566220	15.487893	4.22	3.15
10300	0.13	2.536855	7.563145	15.483028	4.26	3.18
10400	0.14	2.539926	7.560074	15.478163	4.30	3.21
10500	0.14	2.542994	7.557006	15.473301	4.34	3.25
10600	0.14	2.546058	7.553942	15.468440	4.38	3.28
10700	0.14	2.549118	7.550882	15.463580	4.42	3.31
10800	0.14	2.552174	7.547826	15.458722	4.46	3.34
10900	0.14	2.555227	7.544773	15.453866	4.49	3.37
11000	0.14	2.558276	7.541724	15.449011	4.53	3.40
11100	0.14	2.561321	7.538679	15.444157	4.57	3.43
11200	0.15	2.564362	7.535638	15.439305	4.61	3.46
11300	0.15	2.567400	7.532600	15.434455	4.65	3.49
11400	0.15	2.570435	7.529565	15.429606	4.69	3.52
11500	0.15	2.573465	7.526535	15.424759	4.73	3.55
11600	0.15	2.576492	7.523508	15.419913	4.76	3.58
11700	0.15	2.579516	7.520484	15.415069	4.80	3.61
11800	0.15	2.582535	7.517465	15.410226	4.84	3.64
11900	0.15	2.585551	7.514449	15.405385	4.88	3.67
12000	0.16	2.588564	7.511436	15.400545	4.92	3.70
12100	0.16	2.591572	7.508428	15.395707	4.95	3.73

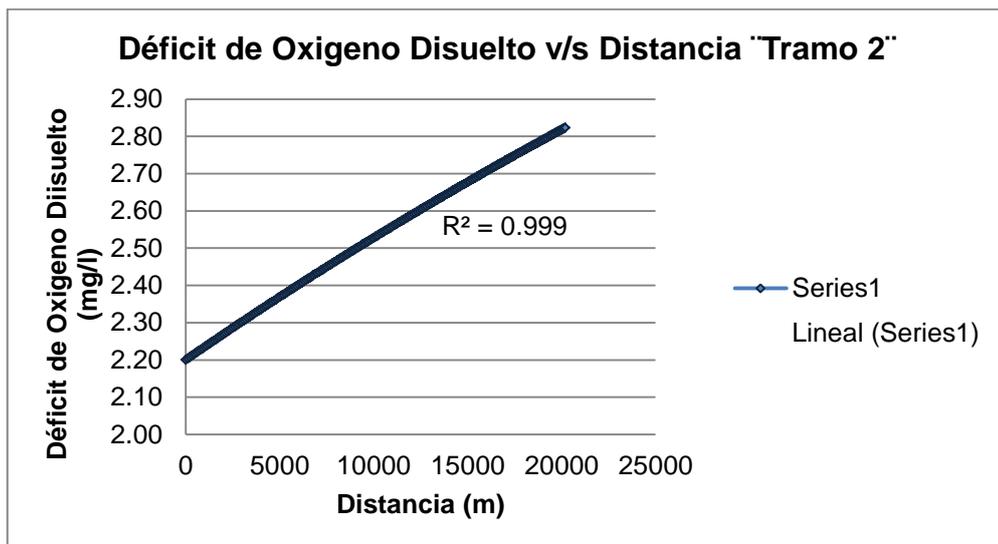
MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
12200	0.16	2.594577	7.505423	15.390870	4.99	3.76
12300	0.16	2.597579	7.502421	15.386035	5.03	3.79
12400	0.16	2.600576	7.499424	15.381201	5.07	3.82
12500	0.16	2.603571	7.496429	15.376369	5.11	3.85
12600	0.16	2.606561	7.493439	15.371538	5.14	3.88
12700	0.17	2.609548	7.490452	15.366709	5.18	3.91
12800	0.17	2.612531	7.487469	15.361882	5.22	3.94
12900	0.17	2.615511	7.484489	15.357056	5.26	3.97
13000	0.17	2.618487	7.481513	15.352231	5.30	4.00
13100	0.17	2.621459	7.478541	15.347408	5.33	4.03
13200	0.17	2.624428	7.475572	15.342587	5.37	4.06
13300	0.17	2.627393	7.472607	15.337767	5.41	4.09
13400	0.17	2.630355	7.469645	15.332948	5.45	4.12
13500	0.18	2.633313	7.466687	15.328131	5.48	4.15
13600	0.18	2.636267	7.463733	15.323316	5.52	4.18
13700	0.18	2.639218	7.460782	15.318502	5.56	4.21
13800	0.18	2.642165	7.457835	15.313689	5.60	4.24
13900	0.18	2.645109	7.454891	15.308878	5.63	4.27
14000	0.18	2.648049	7.451951	15.304069	5.67	4.30
14100	0.18	2.650985	7.449015	15.299261	5.71	4.33
14200	0.18	2.653918	7.446082	15.294455	5.74	4.36
14300	0.19	2.656847	7.443153	15.289650	5.78	4.39
14400	0.19	2.659773	7.440227	15.284846	5.82	4.42
14500	0.19	2.662695	7.437305	15.280044	5.86	4.45
14600	0.19	2.665613	7.434387	15.275244	5.89	4.48
14700	0.19	2.668528	7.431472	15.270445	5.93	4.51
14800	0.19	2.671439	7.428561	15.265648	5.97	4.54
14900	0.19	2.674347	7.425653	15.260852	6.00	4.57
15000	0.20	2.677252	7.422748	15.256058	6.04	4.60
15100	0.20	2.680152	7.419848	15.251265	6.08	4.63
15200	0.20	2.683049	7.416951	15.246474	6.11	4.66
15300	0.20	2.685943	7.414057	15.241684	6.15	4.69
15400	0.20	2.688833	7.411167	15.236895	6.19	4.72
15500	0.20	2.691719	7.408281	15.232109	6.22	4.75
15600	0.20	2.694602	7.405398	15.227323	6.26	4.78
15700	0.20	2.697482	7.402518	15.222540	6.30	4.81
15800	0.21	2.700358	7.399642	15.217757	6.33	4.84
15900	0.21	2.703230	7.396770	15.212977	6.37	4.87
16000	0.21	2.706099	7.393901	15.208197	6.40	4.90
16100	0.21	2.708964	7.391036	15.203419	6.44	4.93
16200	0.21	2.711826	7.388174	15.198643	6.48	4.96
16300	0.21	2.714684	7.385316	15.193868	6.51	4.99

MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
16400	0.21	2.717539	7.382461	15.189095	6.55	5.02
16500	0.21	2.720390	7.379610	15.184323	6.59	5.05
16600	0.22	2.723238	7.376762	15.179553	6.62	5.08
16700	0.22	2.726082	7.373918	15.174784	6.66	5.11
16800	0.22	2.728923	7.371077	15.170017	6.69	5.14
16900	0.22	2.731760	7.368240	15.165251	6.73	5.17
17000	0.22	2.734594	7.365406	15.160487	6.77	5.20
17100	0.22	2.737424	7.362576	15.155724	6.80	5.23
17200	0.22	2.740251	7.359749	15.150963	6.84	5.26
17300	0.22	2.743074	7.356926	15.146203	6.87	5.29
17400	0.23	2.745893	7.354107	15.141445	6.91	5.32
17500	0.23	2.748710	7.351290	15.136688	6.94	5.35
17600	0.23	2.751522	7.348478	15.131933	6.98	5.38
17700	0.23	2.754332	7.345668	15.127179	7.02	5.41
17800	0.23	2.757137	7.342863	15.122426	7.05	5.44
17900	0.23	2.759940	7.340060	15.117676	7.09	5.47
18000	0.23	2.762739	7.337261	15.112926	7.12	5.50
18100	0.24	2.765534	7.334466	15.108178	7.16	5.53
18200	0.24	2.768326	7.331674	15.103432	7.19	5.56
18300	0.24	2.771114	7.328886	15.098687	7.23	5.59
18400	0.24	2.773899	7.326101	15.093944	7.26	5.62
18500	0.24	2.776681	7.323319	15.089202	7.30	5.65
18600	0.24	2.779459	7.320541	15.084461	7.33	5.68
18700	0.24	2.782234	7.317766	15.079723	7.37	5.71
18800	0.24	2.785005	7.314995	15.074985	7.40	5.74
18900	0.25	2.787773	7.312227	15.070249	7.44	5.77
19000	0.25	2.790537	7.309463	15.065515	7.47	5.80
19100	0.25	2.793298	7.306702	15.060782	7.51	5.82
19200	0.25	2.796055	7.303945	15.056050	7.54	5.85
19300	0.25	2.798809	7.301191	15.051320	7.58	5.88
19400	0.25	2.801560	7.298440	15.046592	7.61	5.91
19500	0.25	2.804307	7.295693	15.041865	7.65	5.94
19600	0.25	2.807051	7.292949	15.037139	7.68	5.97
19700	0.26	2.809791	7.290209	15.032415	7.72	6.00
19800	0.26	2.812528	7.287472	15.027693	7.75	6.03
19900	0.26	2.815261	7.284739	15.022972	7.79	6.06
20000	0.26	2.817991	7.282009	15.018252	7.82	6.09
20100	0.26	2.820718	7.279282	15.013534	7.86	6.12
20187.37	0.26	2.823097	7.276903	15.009413	7.89	6.15

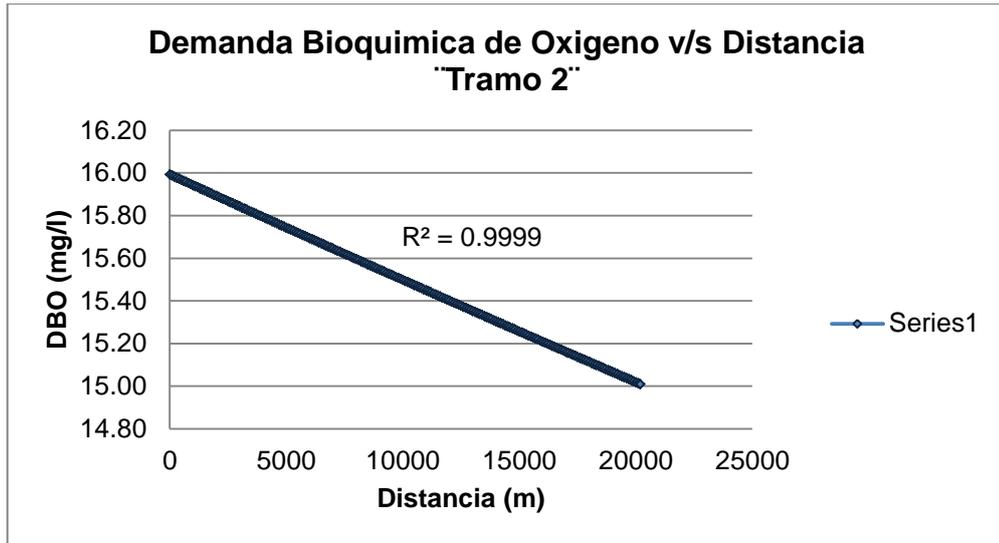
**Anexo 4A** Validación en el Tramo 2. El Puerto - Napurak



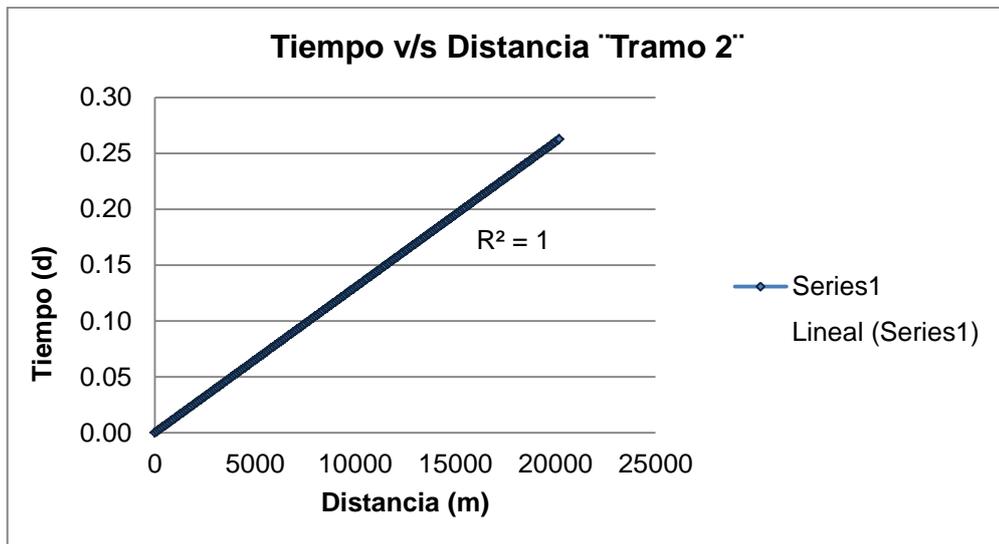
Fuente: Autora



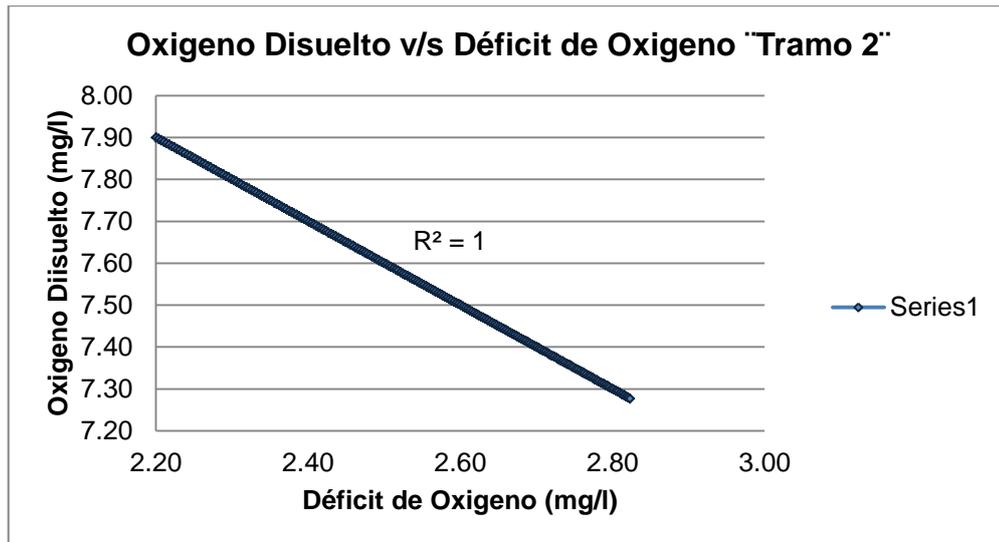
Fuente: Autora



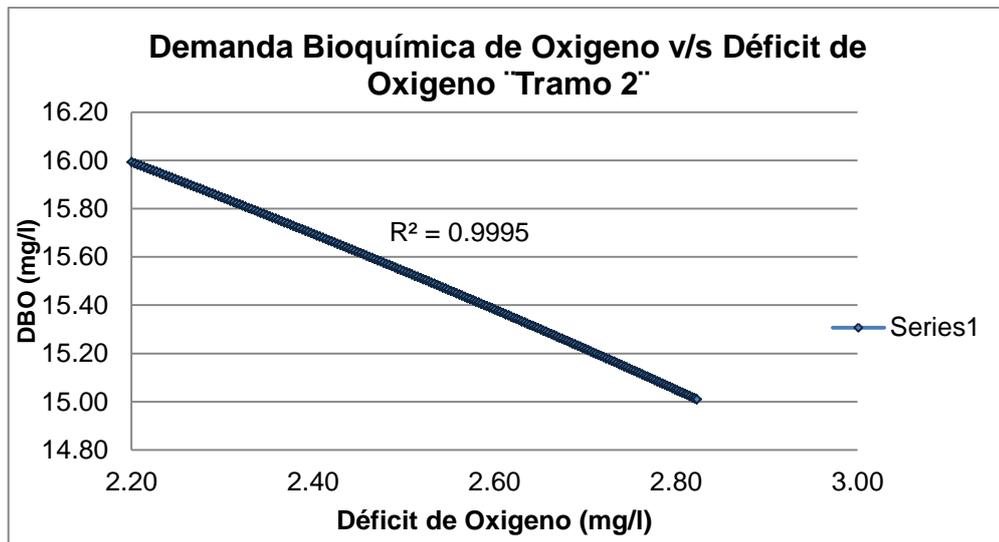
Fuente: Autora



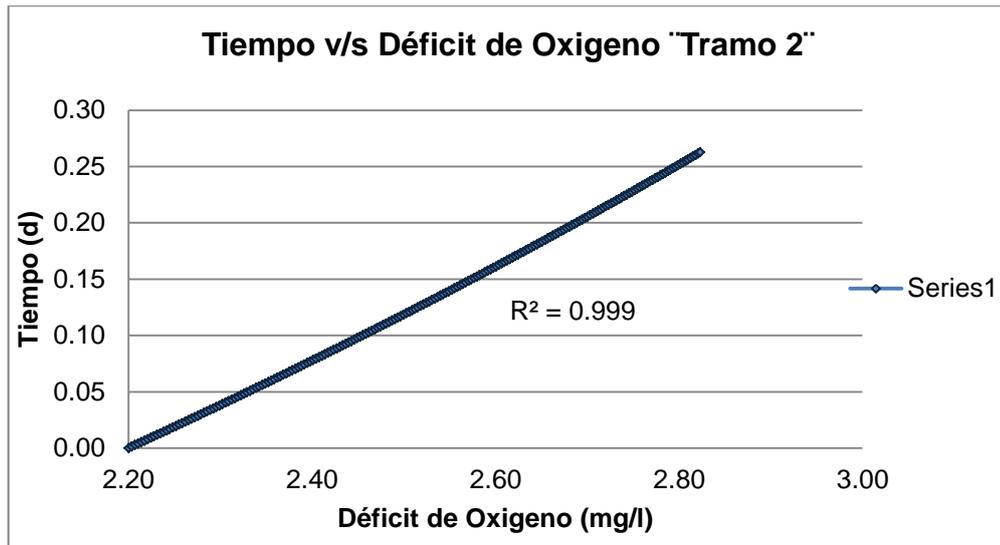
Fuente: Autora



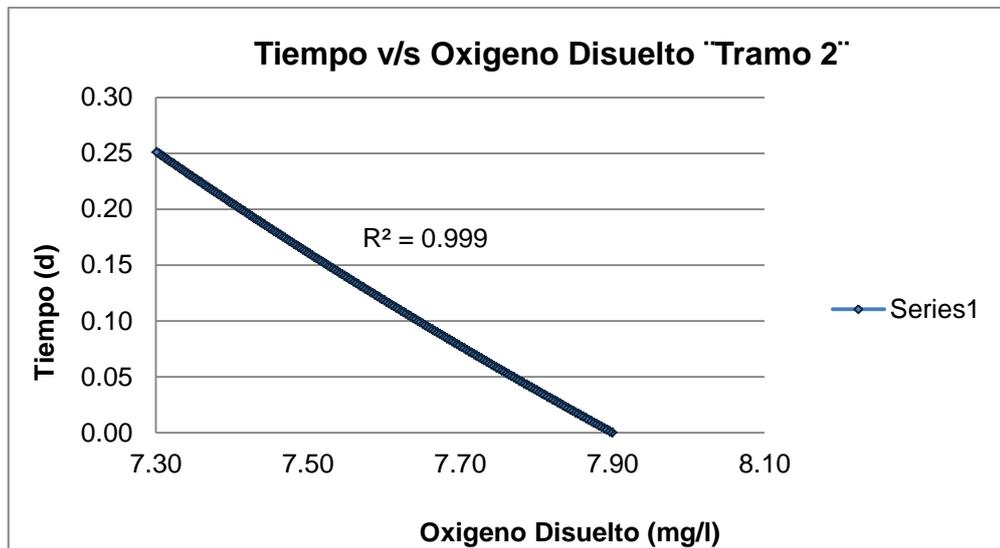
Fuente: Autora



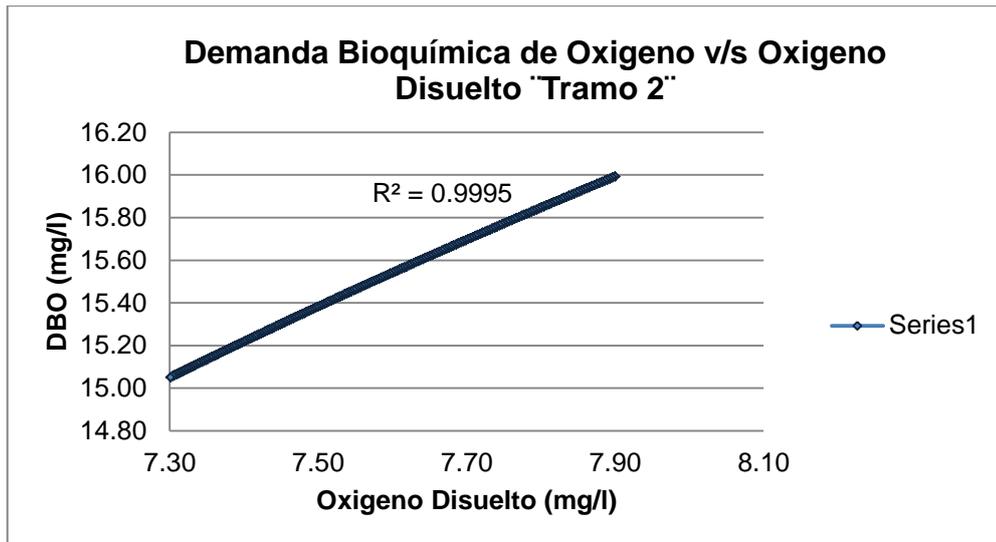
Fuente: Autora



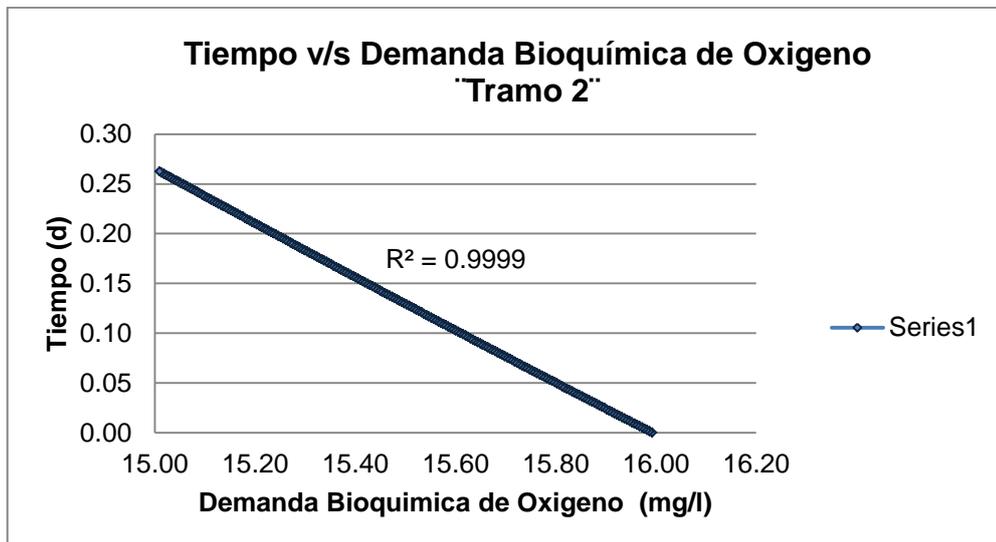
Fuente: Autora



Fuente: Autora



Fuente: Autora



Fuente: Autora

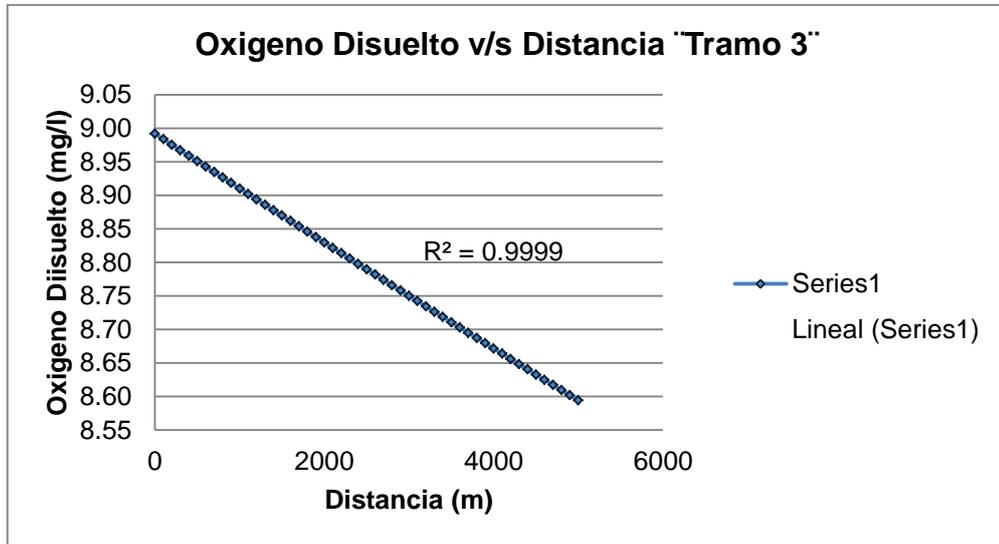
## Anexo 5 Resultado de cálculo del modelo en el Tramo 3. Napuraka – Curintza

Longitud del tramo es de 4997.65m

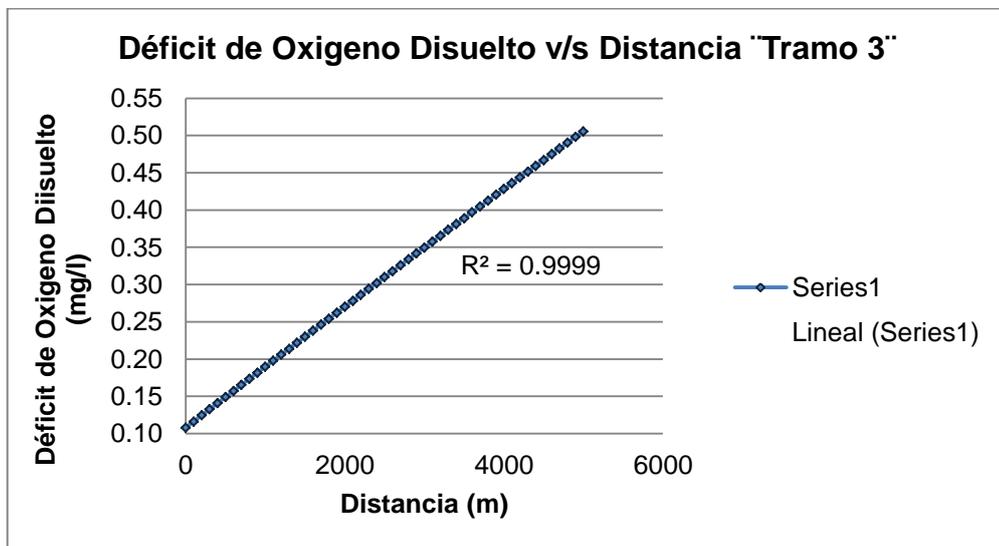
MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
0	0.00	0.108022	8.991978	22.699938	0.00	0.00
100	0.00	0.116232	8.983768	22.691626	0.09	0.04
200	0.00	0.124431	8.975569	22.683318	0.18	0.07
300	0.00	0.132619	8.967381	22.675012	0.27	0.11
400	0.00	0.140797	8.959203	22.666709	0.36	0.15
500	0.01	0.148965	8.951035	22.658410	0.46	0.18
600	0.01	0.157122	8.942878	22.650113	0.55	0.22
700	0.01	0.165268	8.934732	22.641819	0.64	0.26
800	0.01	0.173404	8.926596	22.633529	0.73	0.29
900	0.01	0.181530	8.918470	22.625241	0.82	0.33
1000	0.01	0.189645	8.910355	22.616957	0.91	0.37
1100	0.01	0.197750	8.902250	22.608675	1.00	0.40
1200	0.01	0.205844	8.894156	22.600397	1.09	0.44
1300	0.02	0.213928	8.886072	22.592122	1.18	0.47
1400	0.02	0.222002	8.877998	22.583849	1.27	0.51
1500	0.02	0.230065	8.869935	22.575580	1.36	0.55
1600	0.02	0.238117	8.861883	22.567314	1.45	0.58
1700	0.02	0.246160	8.853840	22.559050	1.54	0.62
1800	0.02	0.254192	8.845808	22.550790	1.63	0.66
1900	0.02	0.262213	8.837787	22.542533	1.71	0.69
2000	0.02	0.270225	8.829775	22.534279	1.80	0.73
2100	0.03	0.278226	8.821774	22.526027	1.89	0.77
2200	0.03	0.286216	8.813784	22.517779	1.98	0.80
2300	0.03	0.294197	8.805803	22.509534	2.07	0.84
2400	0.03	0.302167	8.797833	22.501292	2.16	0.88
2500	0.03	0.310127	8.789873	22.493053	2.25	0.91
2600	0.03	0.318076	8.781924	22.484817	2.34	0.95
2700	0.03	0.326015	8.773985	22.476584	2.42	0.98
2800	0.03	0.333944	8.766056	22.468354	2.51	1.02
2900	0.04	0.341863	8.758137	22.460127	2.60	1.06
3000	0.04	0.349771	8.750229	22.451903	2.69	1.09
3100	0.04	0.357670	8.742330	22.443682	2.78	1.13
3200	0.04	0.365558	8.734442	22.435464	2.86	1.17
3300	0.04	0.373436	8.726564	22.427249	2.95	1.20
3400	0.04	0.381303	8.718697	22.419037	3.04	1.24
3500	0.04	0.389161	8.710839	22.410828	3.13	1.27
3600	0.04	0.397008	8.702992	22.402622	3.21	1.31
3700	0.05	0.404845	8.695155	22.394419	3.30	1.35

MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
3800	0.05	0.412672	8.687328	22.386219	3.39	1.38
3900	0.05	0.420489	8.679511	22.378022	3.47	1.42
4000	0.05	0.428296	8.671704	22.369828	3.56	1.45
4100	0.05	0.436093	8.663907	22.361637	3.65	1.49
4200	0.05	0.443879	8.656121	22.353449	3.74	1.53
4300	0.05	0.451656	8.648344	22.345264	3.82	1.56
4400	0.05	0.459422	8.640578	22.337082	3.91	1.60
4500	0.06	0.467178	8.632822	22.328903	3.99	1.63
4600	0.06	0.474924	8.625076	22.320727	4.08	1.67
4700	0.06	0.482660	8.617340	22.312554	4.17	1.71
4800	0.06	0.490387	8.609613	22.304384	4.25	1.74
4900	0.06	0.498103	8.601897	22.296217	4.34	1.78
4997.65	0.06	0.505628	8.594372	22.288245	4.42	1.81

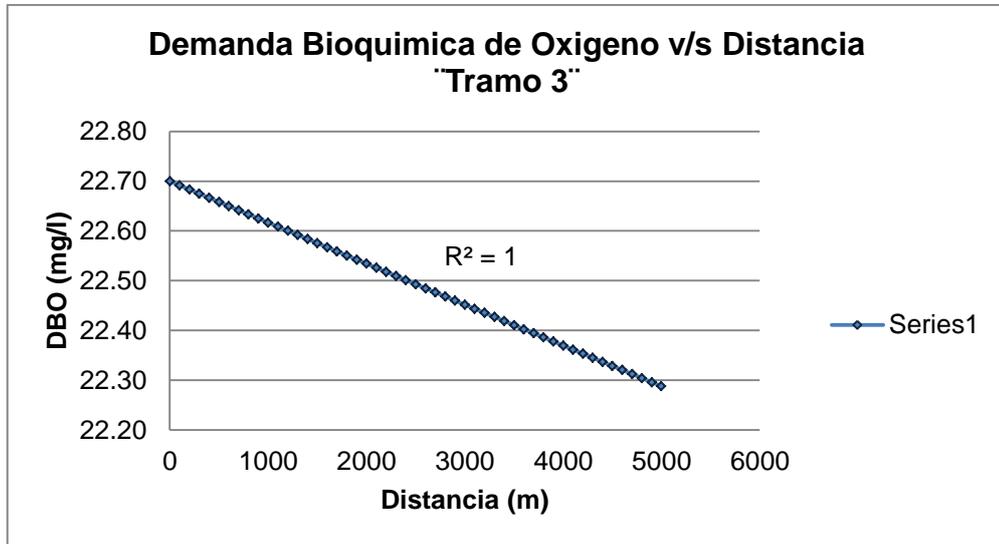
**Anexo 5A** Validación en el Tramo 3. Napuraka – Curintza



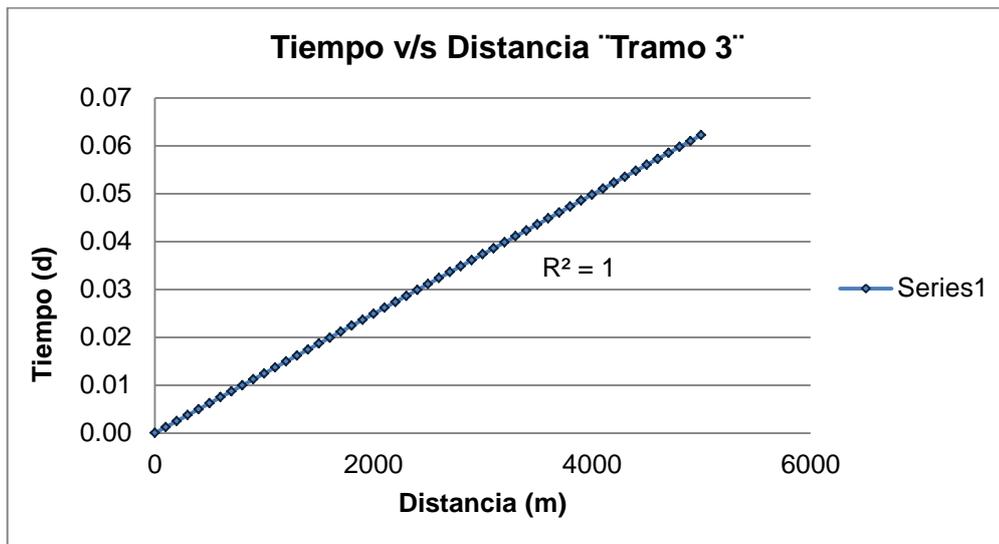
Fuente: Autora



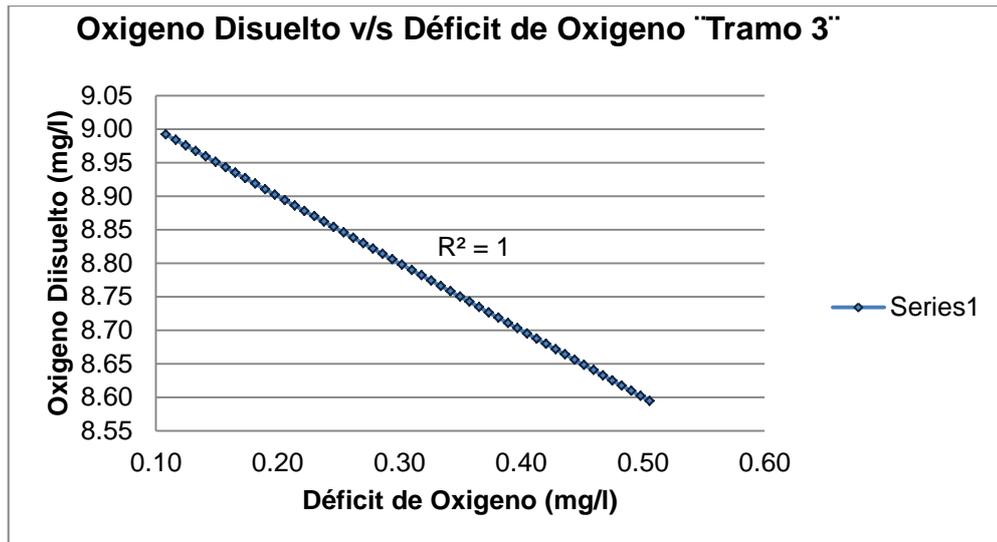
Fuente: Autora



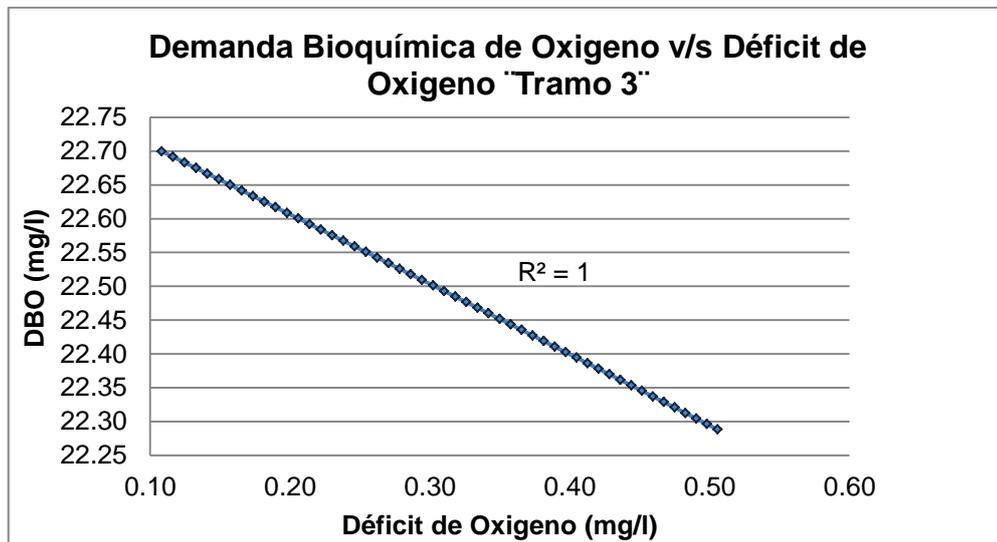
Fuente: Autora



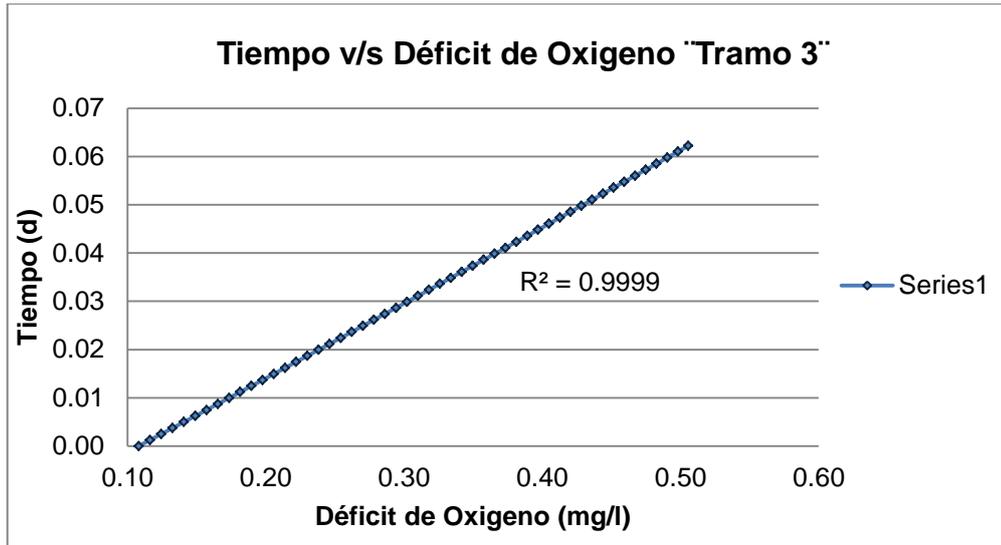
Fuente: Autora



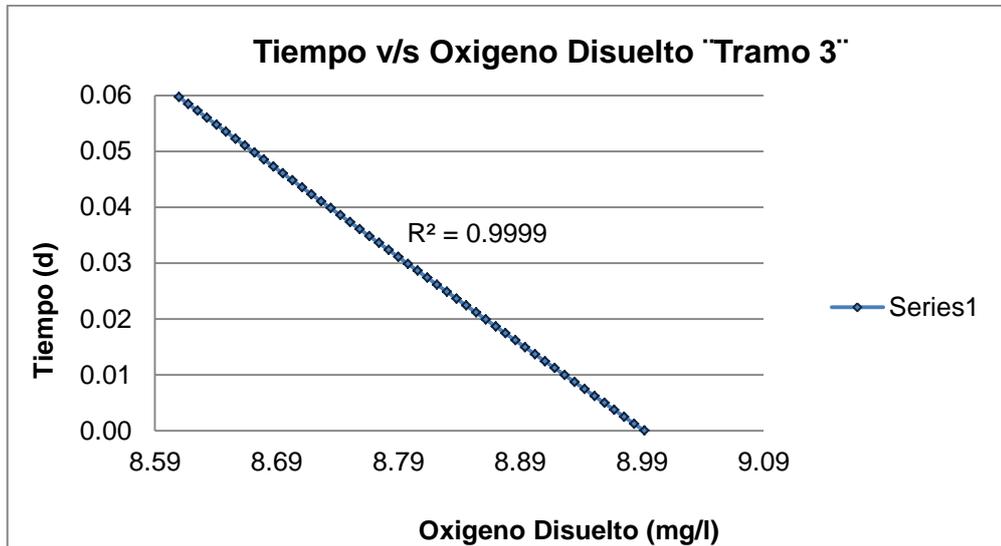
Fuente: Autora



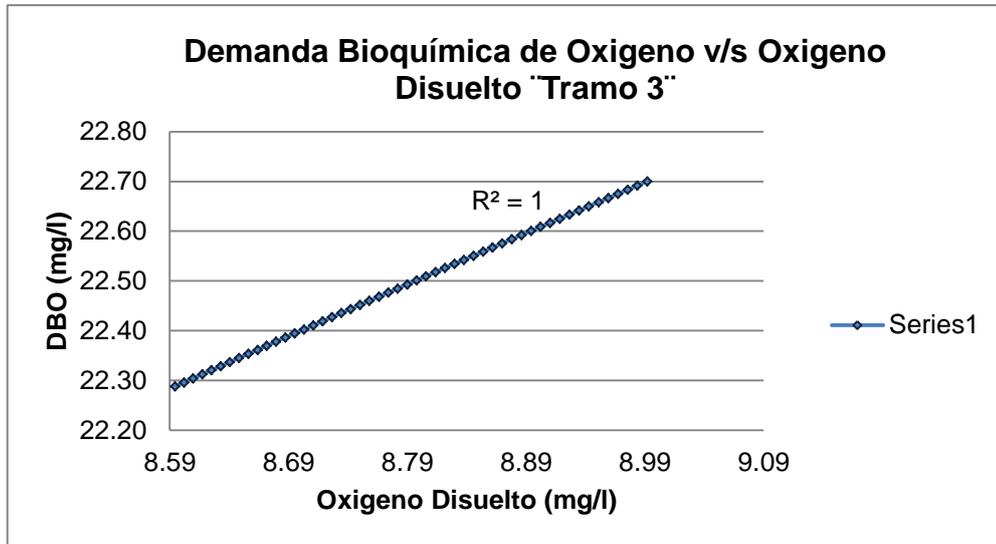
Fuente: Autora



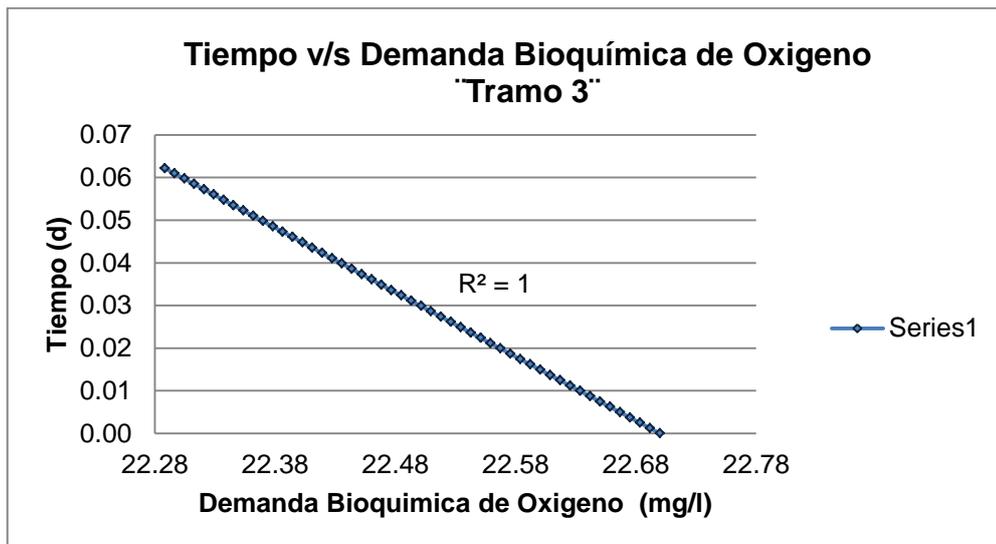
Fuente: Autora



Fuente: Autora



Fuente: Autora



Fuente: Autora

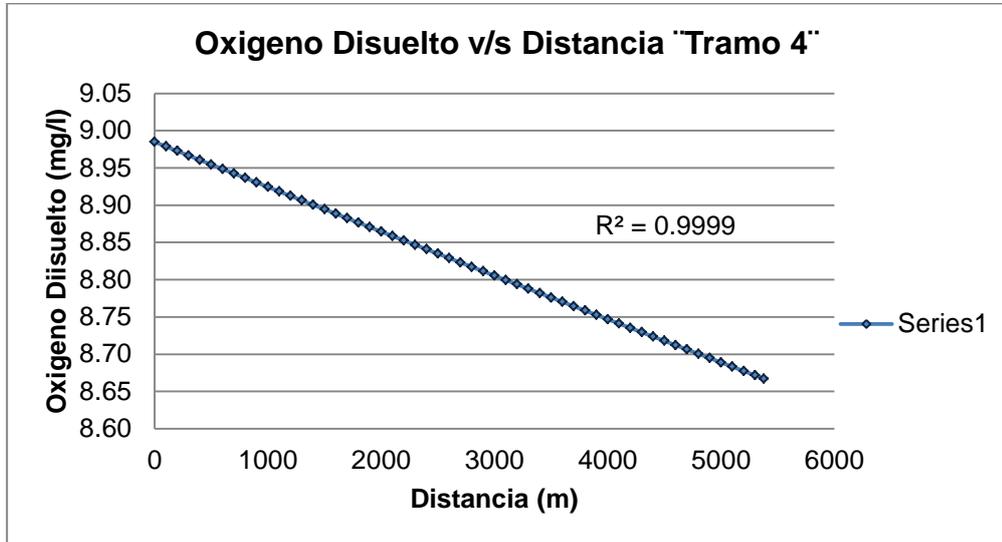
**Anexo 6** Resultado de cálculo del modelo en el Tramo 4 Curintza – San Antonio

Longitud del tramo es de 5377.79m

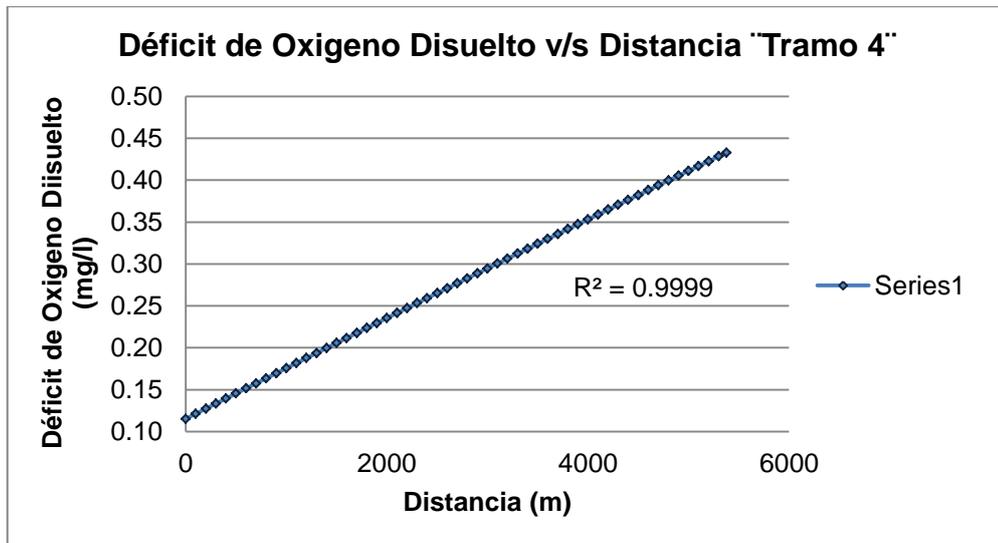
MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
0	0.00	0.115062	8.984938	19.502427	0.00	0.00
100	0.00	0.121141	8.978859	19.496259	0.07	0.03
200	0.00	0.127212	8.972788	19.490093	0.14	0.06
300	0.00	0.133278	8.966722	19.483929	0.20	0.09
400	0.00	0.139336	8.960664	19.477767	0.27	0.13
500	0.01	0.145389	8.954611	19.471606	0.34	0.16
600	0.01	0.151434	8.948566	19.465448	0.40	0.19
700	0.01	0.157473	8.942527	19.459292	0.47	0.22
800	0.01	0.163506	8.936494	19.453137	0.54	0.25
900	0.01	0.169532	8.930468	19.446985	0.61	0.28
1000	0.01	0.175552	8.924448	19.440835	0.67	0.32
1100	0.01	0.181565	8.918435	19.434686	0.74	0.35
1200	0.01	0.187571	8.912429	19.428540	0.81	0.38
1300	0.01	0.193571	8.906429	19.422395	0.87	0.41
1400	0.01	0.199565	8.900435	19.416252	0.94	0.44
1500	0.02	0.205552	8.894448	19.410112	1.01	0.47
1600	0.02	0.211533	8.888467	19.403973	1.07	0.50
1700	0.02	0.217507	8.882493	19.397836	1.14	0.54
1800	0.02	0.223474	8.876526	19.391701	1.21	0.57
1900	0.02	0.229436	8.870564	19.385568	1.27	0.60
2000	0.02	0.235390	8.864610	19.379437	1.34	0.63
2100	0.02	0.241339	8.858661	19.373308	1.41	0.66
2200	0.02	0.247280	8.852720	19.367181	1.47	0.69
2300	0.02	0.253216	8.846784	19.361056	1.54	0.72
2400	0.03	0.259145	8.840855	19.354932	1.60	0.76
2500	0.03	0.265067	8.834933	19.348811	1.67	0.79
2600	0.03	0.270983	8.829017	19.342691	1.74	0.82
2700	0.03	0.276893	8.823107	19.336574	1.80	0.85
2800	0.03	0.282796	8.817204	19.330458	1.87	0.88
2900	0.03	0.288693	8.811307	19.324345	1.93	0.91
3000	0.03	0.294584	8.805416	19.318233	2.00	0.94
3100	0.03	0.300468	8.799532	19.312123	2.06	0.98
3200	0.03	0.306345	8.793655	19.306016	2.13	1.01
3300	0.03	0.312216	8.787784	19.299910	2.19	1.04
3400	0.04	0.318081	8.781919	19.293806	2.26	1.07
3500	0.04	0.323940	8.776060	19.287704	2.32	1.10
3600	0.04	0.329792	8.770208	19.281604	2.39	1.13

MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
3700	0.04	0.335638	8.764362	19.275506	2.45	1.16
3800	0.04	0.341477	8.758523	19.269409	2.52	1.19
3900	0.04	0.347310	8.752690	19.263315	2.58	1.23
4000	0.04	0.353137	8.746863	19.257223	2.65	1.26
4100	0.04	0.358957	8.741043	19.251132	2.71	1.29
4200	0.04	0.364771	8.735229	19.245044	2.78	1.32
4300	0.04	0.370579	8.729421	19.238957	2.84	1.35
4400	0.05	0.376380	8.723620	19.232873	2.91	1.38
4500	0.05	0.382175	8.717825	19.226790	2.97	1.41
4600	0.05	0.387964	8.712036	19.220709	3.04	1.44
4700	0.05	0.393746	8.706254	19.214630	3.10	1.48
4800	0.05	0.399523	8.700477	19.208553	3.17	1.51
4900	0.05	0.405292	8.694708	19.202478	3.23	1.54
5000	0.05	0.411056	8.688944	19.196405	3.29	1.57
5100	0.05	0.416813	8.683187	19.190334	3.36	1.60
5200	0.05	0.422564	8.677436	19.184264	3.42	1.63
5300	0.06	0.428309	8.671691	19.178197	3.49	1.66
5377.79	0.06	0.432773	8.667227	19.173479	3.54	1.69

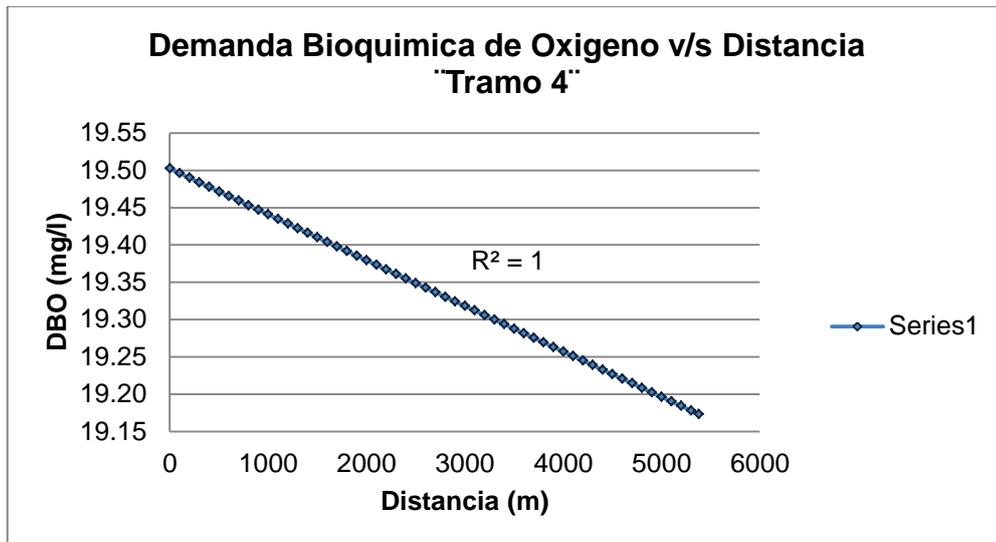
**Anexo 6A** Validación en el Tramo 4 Curintza – San Antonio



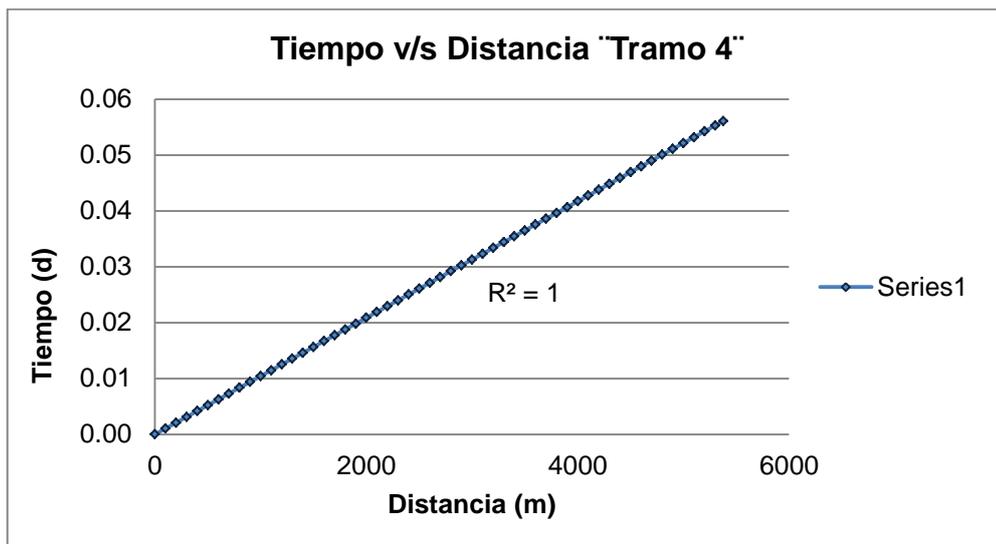
Fuente: Autora



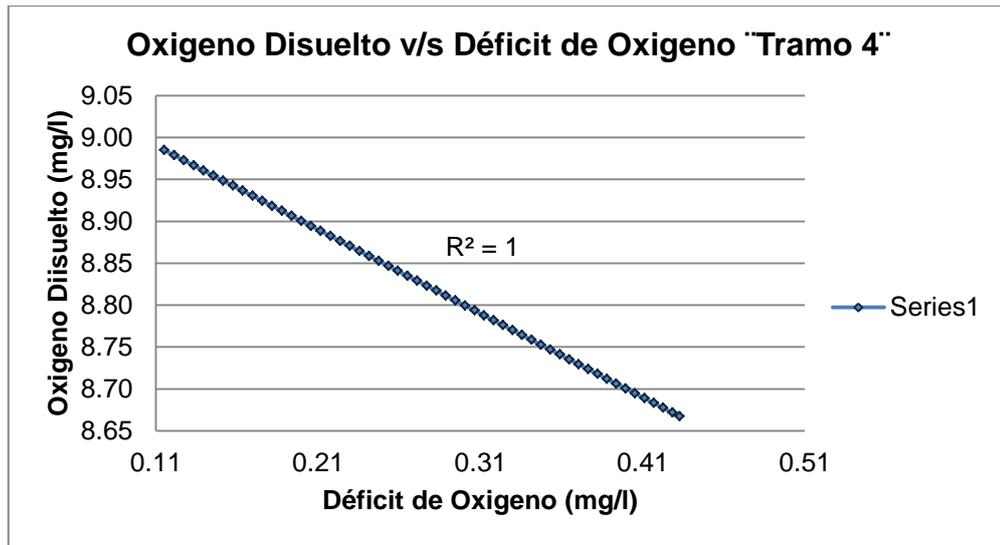
Fuente: Autora



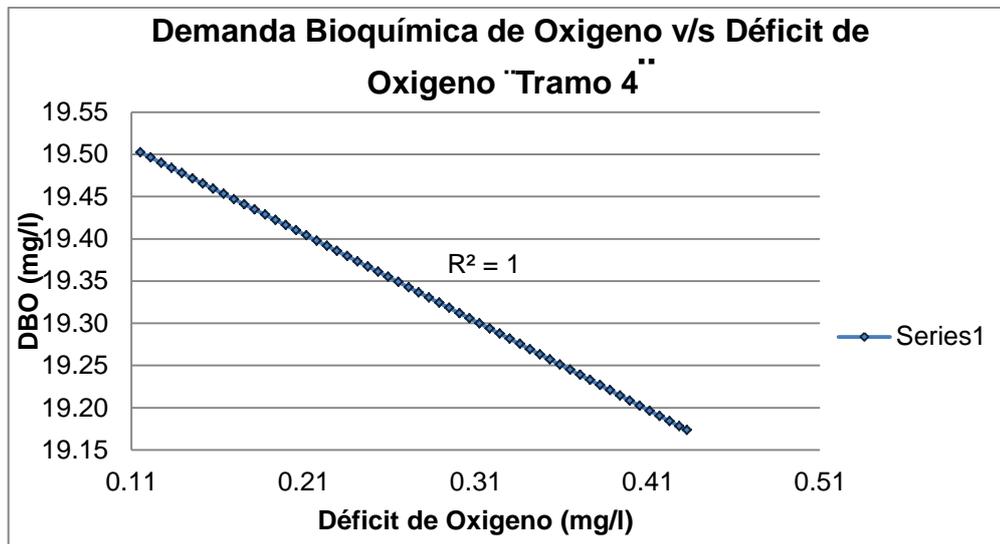
Fuente: Autora



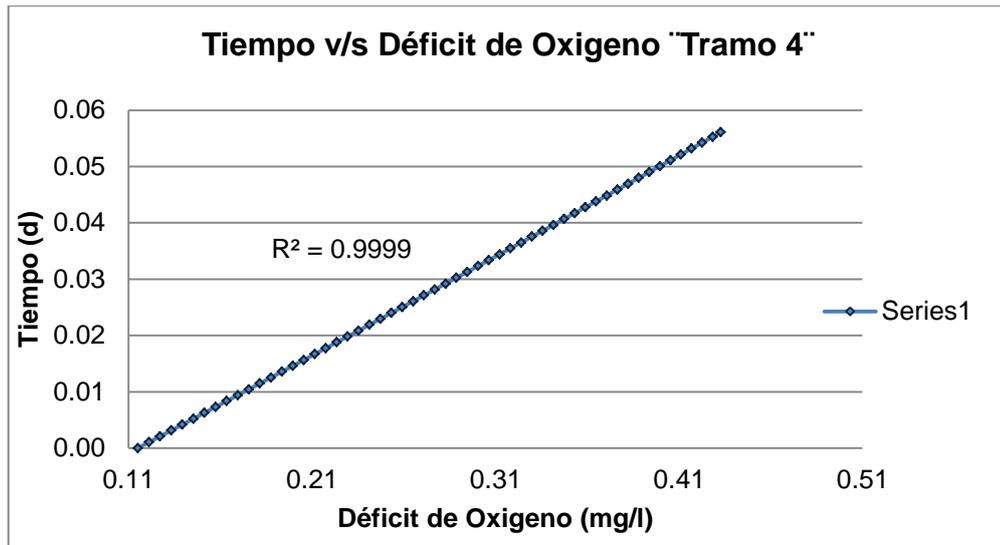
Fuente: Autora



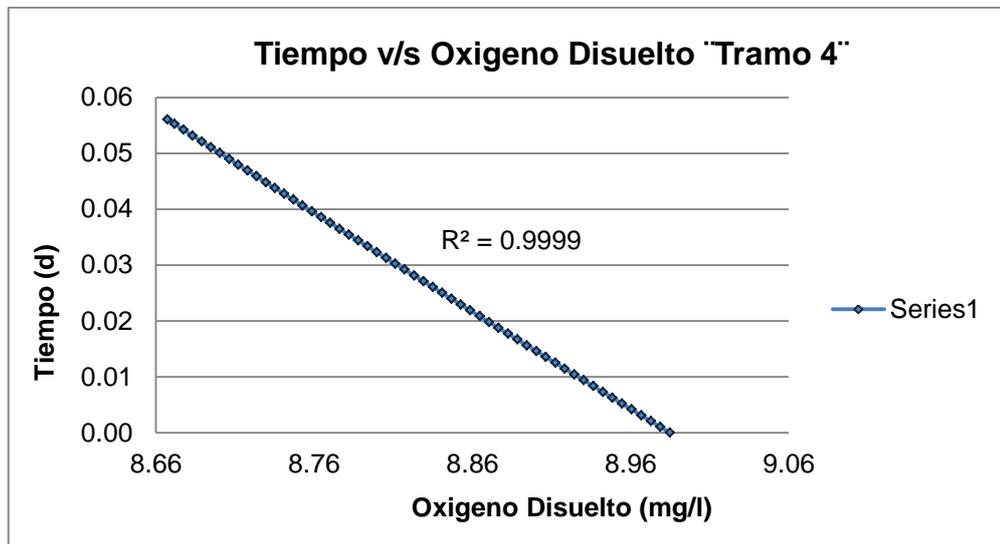
Fuente: Autora



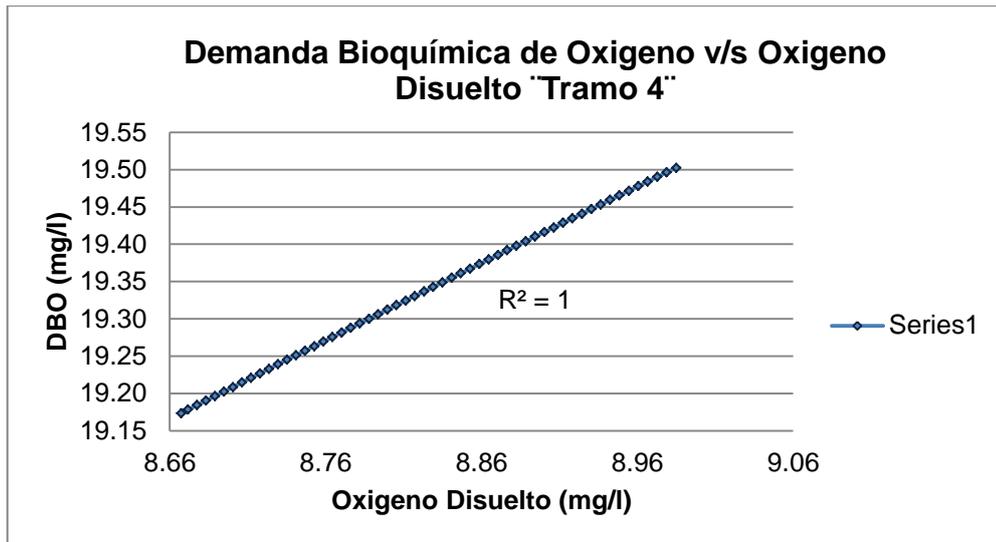
Fuente: Autora



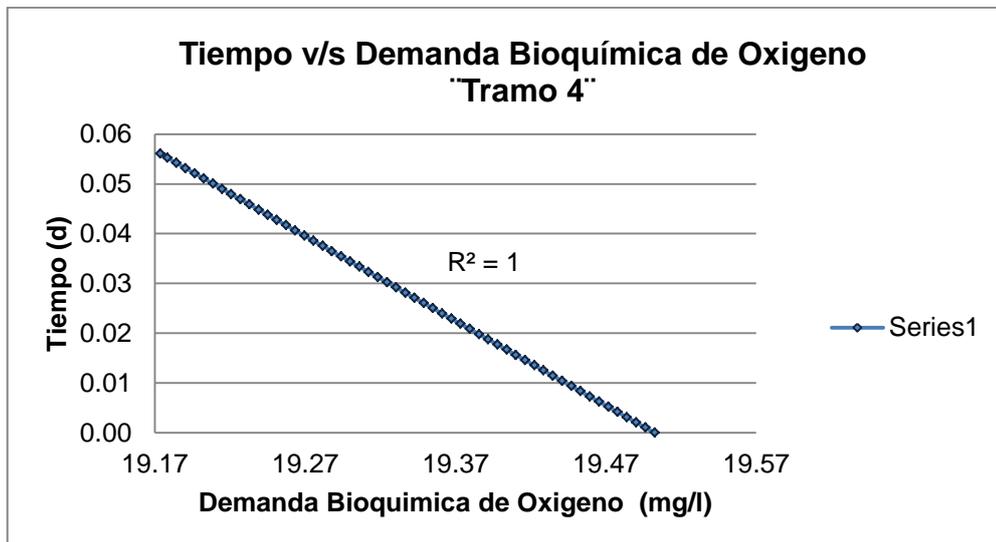
Fuente: Autora



Fuente: Autora



Fuente: Autora



Fuente: Autora

**Anexo 7** Resultado de cálculo del modelo en el Tramo 5 San Antonio – Unión del río Yacuambi con el río Zamora

Longitud del tramo es de 18285.13m

MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
0	0.00	0.218744	8.881256	24.899202	0.00	0.00
100	0.00	0.225386	8.874614	24.892351	0.07	0.03
200	0.00	0.232020	8.867980	24.885502	0.15	0.06
300	0.00	0.238646	8.861354	24.878655	0.22	0.08
400	0.00	0.245264	8.854736	24.871810	0.30	0.11
500	0.00	0.251874	8.848126	24.864966	0.37	0.14
600	0.01	0.258476	8.841524	24.858125	0.45	0.16
700	0.01	0.265070	8.834930	24.851286	0.52	0.19
800	0.01	0.271655	8.828345	24.844448	0.60	0.22
900	0.01	0.278233	8.821767	24.837612	0.67	0.25
1000	0.01	0.284802	8.815198	24.830778	0.74	0.27
1100	0.01	0.291364	8.808636	24.823946	0.82	0.30
1200	0.01	0.297917	8.802083	24.817116	0.89	0.33
1300	0.01	0.304463	8.795537	24.810288	0.97	0.36
1400	0.01	0.311000	8.789000	24.803462	1.04	0.38
1500	0.01	0.317529	8.782471	24.796637	1.11	0.41
1600	0.01	0.324051	8.775949	24.789815	1.19	0.44
1700	0.02	0.330564	8.769436	24.782994	1.26	0.47
1800	0.02	0.337070	8.762930	24.776175	1.33	0.49
1900	0.02	0.343567	8.756433	24.769358	1.41	0.52
2000	0.02	0.350056	8.749944	24.762543	1.48	0.55
2100	0.02	0.356538	8.743462	24.755730	1.55	0.58
2200	0.02	0.363011	8.736989	24.748918	1.62	0.60
2300	0.02	0.369477	8.730523	24.742109	1.70	0.63
2400	0.02	0.375935	8.724065	24.735301	1.77	0.66
2500	0.02	0.382384	8.717616	24.728496	1.84	0.69
2600	0.02	0.388826	8.711174	24.721692	1.92	0.71
2700	0.02	0.395260	8.704740	24.714890	1.99	0.74
2800	0.03	0.401686	8.698314	24.708090	2.06	0.77
2900	0.03	0.408104	8.691896	24.701291	2.13	0.79
3000	0.03	0.414514	8.685486	24.694495	2.20	0.82
3100	0.03	0.420916	8.679084	24.687701	2.28	0.85
3200	0.03	0.427311	8.672689	24.680908	2.35	0.88
3300	0.03	0.433697	8.666303	24.674117	2.42	0.90
3400	0.03	0.440076	8.659924	24.667328	2.49	0.93
3500	0.03	0.446447	8.653553	24.660541	2.56	0.96
3600	0.03	0.452809	8.647191	24.653756	2.64	0.99

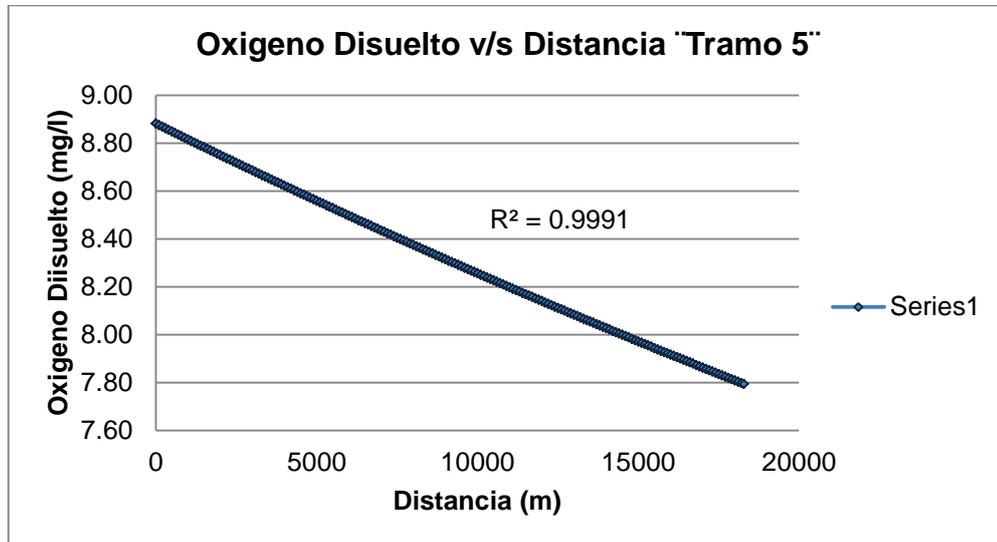
MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
3700	0.03	0.459165	8.640835	24.646973	2.71	1.01
3800	0.03	0.465512	8.634488	24.640191	2.78	1.04
3900	0.03	0.471851	8.628149	24.633412	2.85	1.07
4000	0.04	0.478183	8.621817	24.626634	2.92	1.09
4100	0.04	0.484507	8.615493	24.619858	2.99	1.12
4200	0.04	0.490823	8.609177	24.613084	3.06	1.15
4300	0.04	0.497131	8.602869	24.606312	3.13	1.18
4400	0.04	0.503431	8.596569	24.599542	3.21	1.20
4500	0.04	0.509724	8.590276	24.592774	3.28	1.23
4600	0.04	0.516009	8.583991	24.586007	3.35	1.26
4700	0.04	0.522286	8.577714	24.579243	3.42	1.29
4800	0.04	0.528556	8.571444	24.572480	3.49	1.31
4900	0.04	0.534817	8.565183	24.565719	3.56	1.34
5000	0.04	0.541071	8.558929	24.558960	3.63	1.37
5100	0.05	0.547317	8.552683	24.552203	3.70	1.39
5200	0.05	0.553556	8.546444	24.545447	3.77	1.42
5300	0.05	0.559787	8.540213	24.538694	3.84	1.45
5400	0.05	0.566010	8.533990	24.531942	3.91	1.47
5500	0.05	0.572225	8.527775	24.525192	3.98	1.50
5600	0.05	0.578433	8.521567	24.518444	4.05	1.53
5700	0.05	0.584633	8.515367	24.511698	4.12	1.56
5800	0.05	0.590825	8.509175	24.504954	4.19	1.58
5900	0.05	0.597010	8.502990	24.498212	4.26	1.61
6000	0.05	0.603187	8.496813	24.491471	4.33	1.64
6100	0.05	0.609356	8.490644	24.484733	4.40	1.66
6200	0.06	0.615518	8.484482	24.477996	4.47	1.69
6300	0.06	0.621672	8.478328	24.471261	4.54	1.72
6400	0.06	0.627818	8.472182	24.464528	4.61	1.75
6500	0.06	0.633957	8.466043	24.457797	4.68	1.77
6600	0.06	0.640088	8.459912	24.451067	4.74	1.80
6700	0.06	0.646212	8.453788	24.444340	4.81	1.83
6800	0.06	0.652328	8.447672	24.437614	4.88	1.85
6900	0.06	0.658436	8.441564	24.430890	4.95	1.88
7000	0.06	0.664537	8.435463	24.424168	5.02	1.91
7100	0.06	0.670630	8.429370	24.417448	5.09	1.93
7200	0.06	0.676716	8.423284	24.410730	5.16	1.96
7300	0.07	0.682794	8.417206	24.404014	5.23	1.99
7400	0.07	0.688865	8.411135	24.397299	5.29	2.02
7500	0.07	0.694928	8.405072	24.390586	5.36	2.04
7600	0.07	0.700983	8.399017	24.383875	5.43	2.07
7700	0.07	0.707031	8.392969	24.377166	5.50	2.10
7800	0.07	0.713071	8.386929	24.370459	5.57	2.12

MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
7900	0.07	0.719104	8.380896	24.363754	5.63	2.15
8000	0.07	0.725130	8.374870	24.357050	5.70	2.18
8100	0.07	0.731148	8.368852	24.350349	5.77	2.20
8200	0.07	0.737158	8.362842	24.343649	5.84	2.23
8300	0.07	0.743161	8.356839	24.336951	5.90	2.26
8400	0.08	0.749156	8.350844	24.330255	5.97	2.29
8500	0.08	0.755144	8.344856	24.323561	6.04	2.31
8600	0.08	0.761125	8.338875	24.316868	6.11	2.34
8700	0.08	0.767098	8.332902	24.310178	6.17	2.37
8800	0.08	0.773064	8.326936	24.303489	6.24	2.39
8900	0.08	0.779022	8.320978	24.296802	6.31	2.42
9000	0.08	0.784973	8.315027	24.290117	6.38	2.45
9100	0.08	0.790916	8.309084	24.283434	6.44	2.47
9200	0.08	0.796852	8.303148	24.276752	6.51	2.50
9300	0.08	0.802780	8.297220	24.270073	6.58	2.53
9400	0.08	0.808702	8.291298	24.263395	6.64	2.55
9500	0.09	0.814615	8.285385	24.256719	6.71	2.58
9600	0.09	0.820522	8.279478	24.250045	6.78	2.61
9700	0.09	0.826421	8.273579	24.243373	6.84	2.63
9800	0.09	0.832312	8.267688	24.236702	6.91	2.66
9900	0.09	0.838196	8.261804	24.230034	6.97	2.69
10000	0.09	0.844073	8.255927	24.223367	7.04	2.71
10100	0.09	0.849943	8.250057	24.216702	7.11	2.74
10200	0.09	0.855805	8.244195	24.210039	7.17	2.77
10300	0.09	0.861660	8.238340	24.203378	7.24	2.79
10400	0.09	0.867507	8.232493	24.196719	7.30	2.82
10500	0.09	0.873347	8.226653	24.190061	7.37	2.85
10600	0.10	0.879180	8.220820	24.183406	7.44	2.87
10700	0.10	0.885006	8.214994	24.176752	7.50	2.90
10800	0.10	0.890824	8.209176	24.170100	7.57	2.93
10900	0.10	0.896635	8.203365	24.163449	7.63	2.95
11000	0.10	0.902439	8.197561	24.156801	7.70	2.98
11100	0.10	0.908235	8.191765	24.150155	7.76	3.01
11200	0.10	0.914024	8.185976	24.143510	7.83	3.04
11300	0.10	0.919806	8.180194	24.136867	7.89	3.06
11400	0.10	0.925581	8.174419	24.130226	7.96	3.09
11500	0.10	0.931348	8.168652	24.123587	8.02	3.12
11600	0.10	0.937108	8.162892	24.116949	8.09	3.14
11700	0.10	0.942861	8.157139	24.110314	8.15	3.17
11800	0.11	0.948607	8.151393	24.103680	8.22	3.19
11900	0.11	0.954346	8.145654	24.097048	8.28	3.22
12000	0.11	0.960077	8.139923	24.090418	8.35	3.25

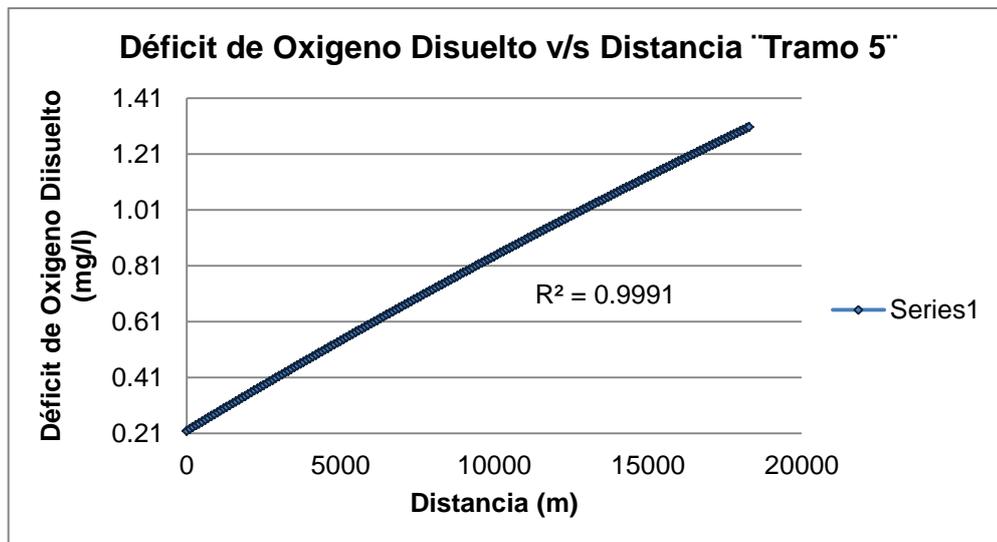
MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
12100	0.11	0.965801	8.134199	24.083790	8.41	3.27
12200	0.11	0.971518	8.128482	24.077163	8.48	3.30
12300	0.11	0.977227	8.122773	24.070538	8.54	3.33
12400	0.11	0.982930	8.117070	24.063916	8.60	3.35
12500	0.11	0.988625	8.111375	24.057295	8.67	3.38
12600	0.11	0.994313	8.105687	24.050675	8.73	3.41
12700	0.11	0.999994	8.100006	24.044058	8.80	3.43
12800	0.11	1.005668	8.094332	24.037443	8.86	3.46
12900	0.12	1.011335	8.088665	24.030829	8.92	3.49
13000	0.12	1.016995	8.083005	24.024217	8.99	3.51
13100	0.12	1.022647	8.077353	24.017607	9.05	3.54
13200	0.12	1.028292	8.071708	24.010999	9.12	3.57
13300	0.12	1.033931	8.066069	24.004392	9.18	3.59
13400	0.12	1.039562	8.060438	23.997788	9.24	3.62
13500	0.12	1.045186	8.054814	23.991185	9.31	3.65
13600	0.12	1.050803	8.049197	23.984584	9.37	3.67
13700	0.12	1.056412	8.043588	23.977985	9.43	3.70
13800	0.12	1.062015	8.037985	23.971387	9.49	3.73
13900	0.12	1.067611	8.032389	23.964792	9.56	3.75
14000	0.13	1.073199	8.026801	23.958198	9.62	3.78
14100	0.13	1.078781	8.021219	23.951606	9.68	3.81
14200	0.13	1.084355	8.015645	23.945016	9.75	3.83
14300	0.13	1.089923	8.010077	23.938428	9.81	3.86
14400	0.13	1.095483	8.004517	23.931841	9.87	3.89
14500	0.13	1.101037	7.998963	23.925257	9.93	3.91
14600	0.13	1.106583	7.993417	23.918674	10.00	3.94
14700	0.13	1.112122	7.987878	23.912093	10.06	3.96
14800	0.13	1.117655	7.982345	23.905514	10.12	3.99
14900	0.13	1.123180	7.976820	23.898936	10.18	4.02
15000	0.13	1.128698	7.971302	23.892361	10.25	4.04
15100	0.14	1.134210	7.965790	23.885787	10.31	4.07
15200	0.14	1.139714	7.960286	23.879215	10.37	4.10
15300	0.14	1.145211	7.954789	23.872645	10.43	4.12
15400	0.14	1.150702	7.949298	23.866076	10.49	4.15
15500	0.14	1.156185	7.943815	23.859510	10.56	4.18
15600	0.14	1.161662	7.938338	23.852945	10.62	4.20
15700	0.14	1.167131	7.932869	23.846382	10.68	4.23
15800	0.14	1.172594	7.927406	23.839821	10.74	4.25
15900	0.14	1.178050	7.921950	23.833261	10.80	4.28
16000	0.14	1.183498	7.916502	23.826704	10.86	4.31
16100	0.14	1.188940	7.911060	23.820148	10.92	4.33
16200	0.15	1.194375	7.905625	23.813594	10.99	4.36

MODELO					VALIDACIÓN	
X (m)	t (d)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Error OD %	Error DBO %
16300	0.15	1.199803	7.900197	23.807042	11.05	4.39
16400	0.15	1.205224	7.894776	23.800492	11.11	4.41
16500	0.15	1.210639	7.889361	23.793943	11.17	4.44
16600	0.15	1.216046	7.883954	23.787397	11.23	4.47
16700	0.15	1.221446	7.878554	23.780852	11.29	4.49
16800	0.15	1.226840	7.873160	23.774309	11.35	4.52
16900	0.15	1.232227	7.867773	23.767767	11.41	4.54
17000	0.15	1.237607	7.862393	23.761228	11.47	4.57
17100	0.15	1.242980	7.857020	23.754690	11.53	4.60
17200	0.15	1.248346	7.851654	23.748154	11.59	4.62
17300	0.16	1.253705	7.846295	23.741620	11.65	4.65
17400	0.16	1.259058	7.840942	23.735088	11.71	4.68
17500	0.16	1.264404	7.835596	23.728557	11.77	4.70
17600	0.16	1.269743	7.830257	23.722028	11.83	4.73
17700	0.16	1.275075	7.824925	23.715502	11.89	4.75
17800	0.16	1.280400	7.819600	23.708976	11.95	4.78
17900	0.16	1.285718	7.814282	23.702453	12.01	4.81
18000	0.16	1.291030	7.808970	23.695932	12.07	4.83
18100	0.16	1.296335	7.803665	23.689412	12.13	4.86
18200	0.16	1.301633	7.798367	23.682894	12.19	4.88
18285.13	0.16	1.306138	7.793862	23.677347	12.24	4.91

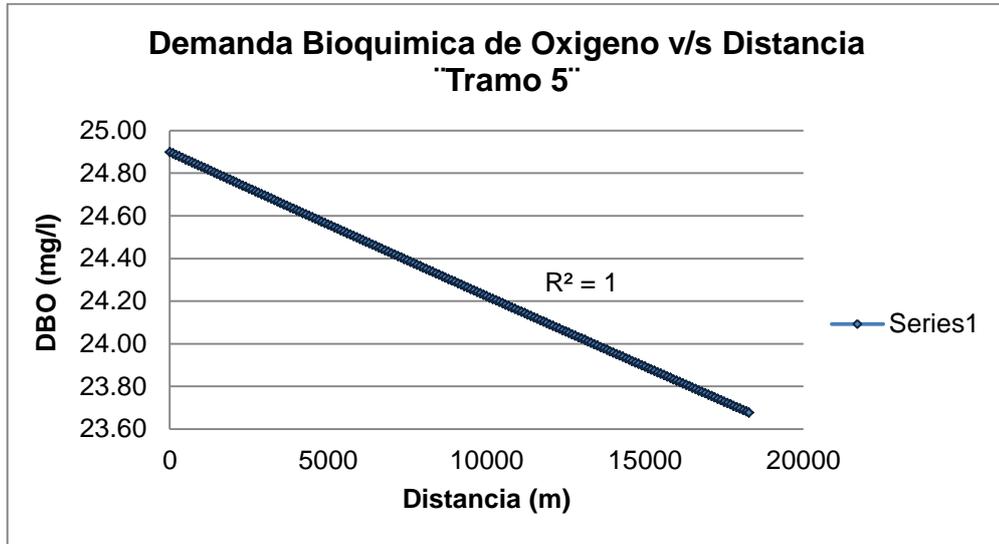
**Anexo 7A** Validación en el Tramo 5 San Antonio – Unión del río Yacuambi con el río Zamora



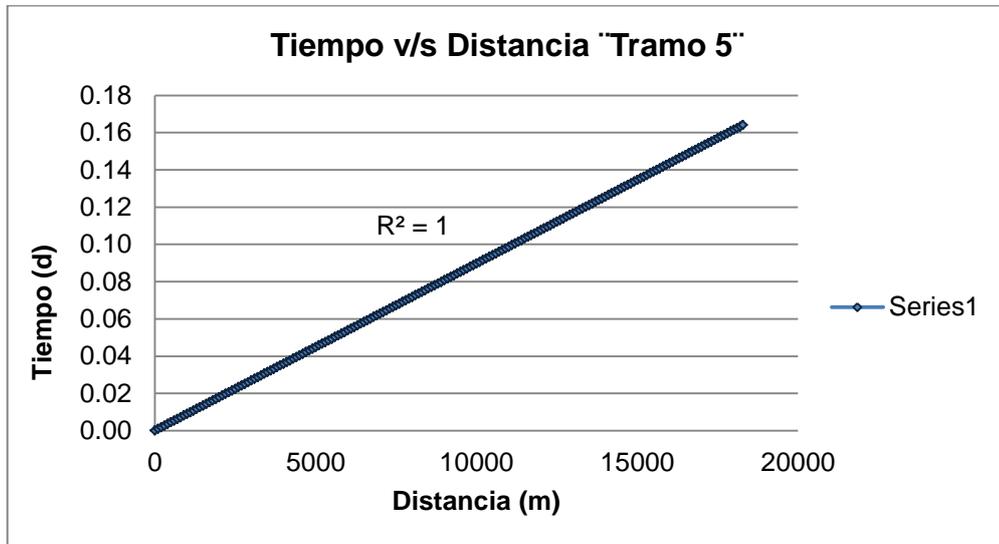
Fuente: Autora



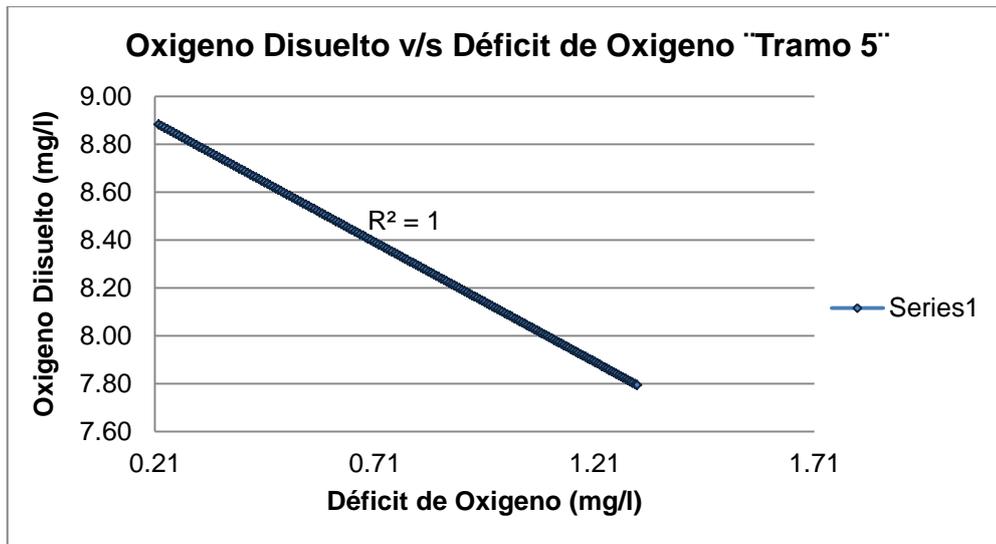
Fuente: Autora



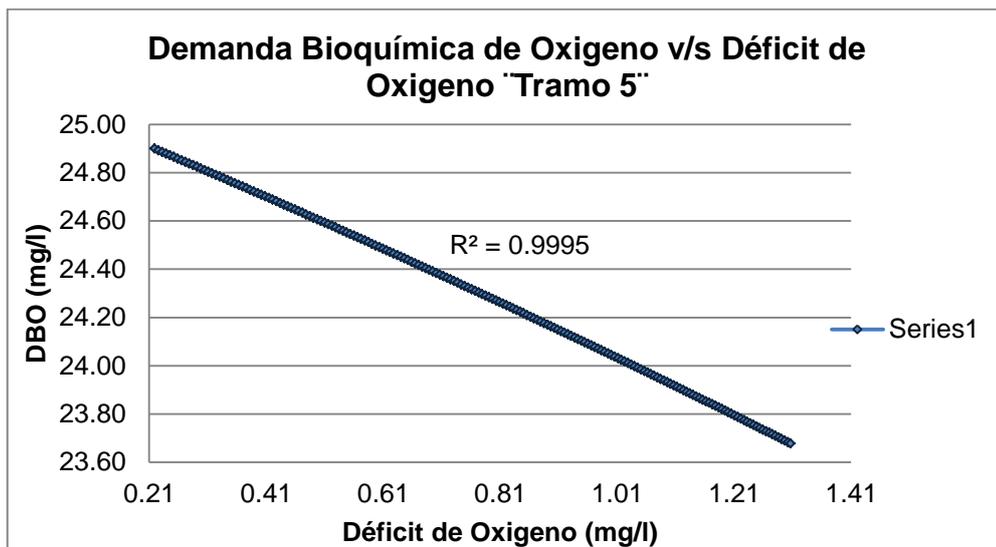
Fuente: Autora



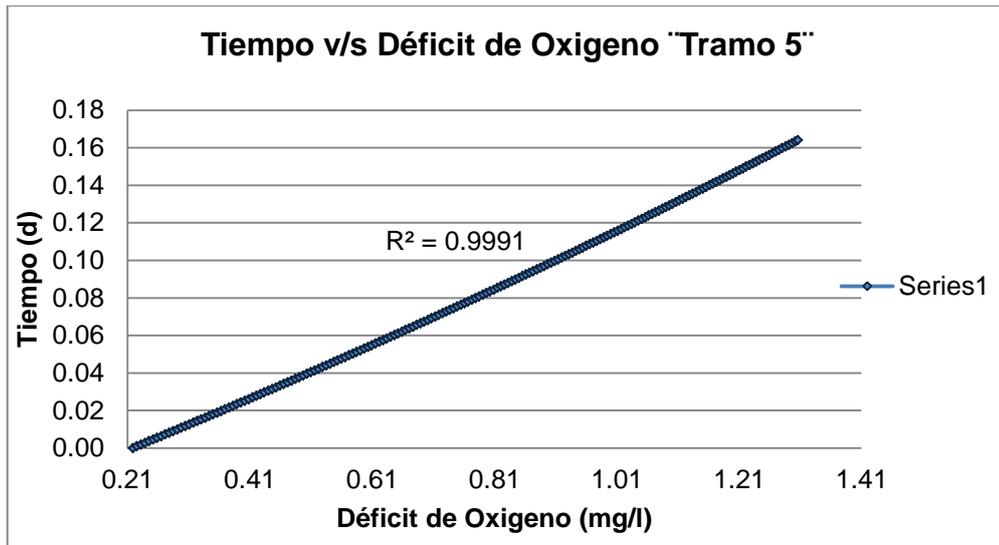
Fuente: Autora



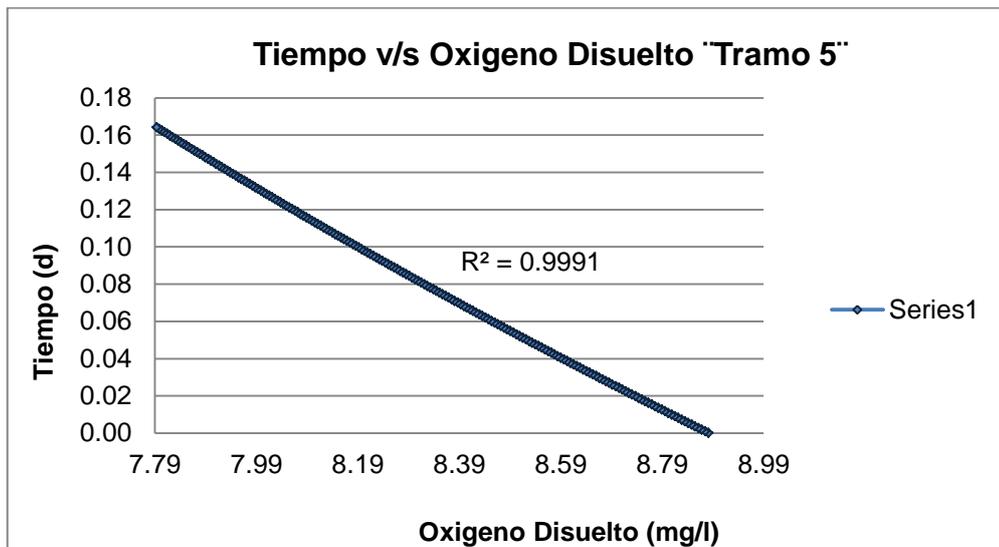
Fuente: Autora



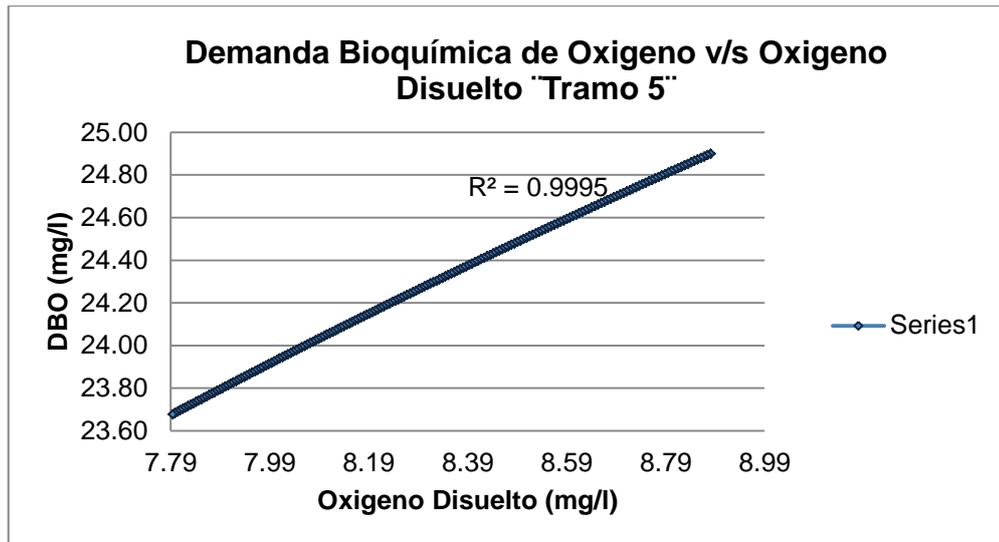
Fuente: Autora



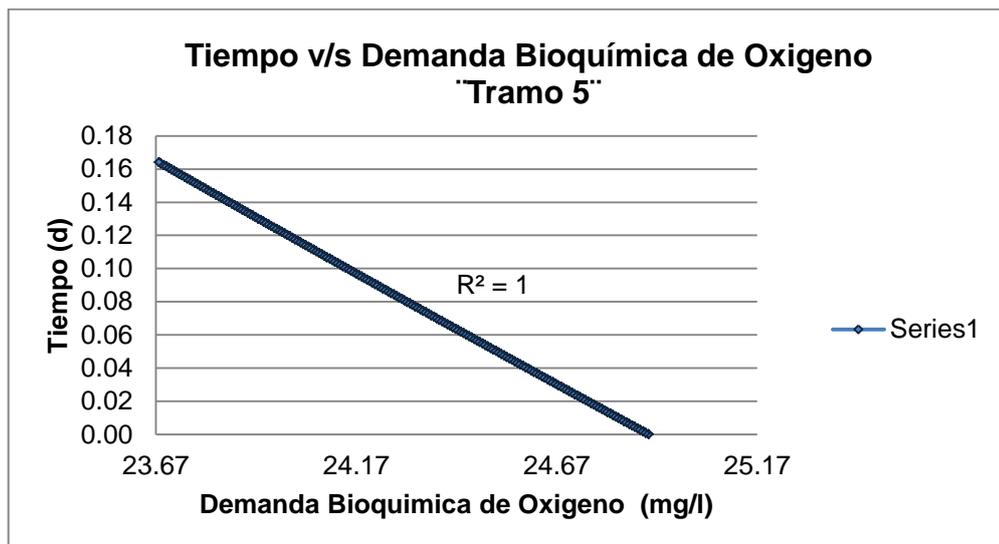
Fuente: Autora



Fuente: Autora



Fuente: Autora



Fuente: Autora

## Anexo 8. Ecuaciones Utilizadas

No	Nombre	Ecuaciones	Simbología	
Tabla 3.3	Caudal inicial en el balance de materia	$Q_o = Q_R + Q_D$	$Q_R$	Caudal del río
			$Q_D$	Caudal de descarga
	DBO inicial en el balance de materia	$DBO_o = (Q_R DBO_R + Q_D DBO_D) / Q_o$	$DBO_R$	DBO del río
			$DBO_D$	DBO de descarga
	Oxígeno disuelto inicial en el balance de materia	$OD_o = (Q_R OD_R + Q_D OD_D) / Q_o$	$OD_R$	OD del río
			$OD_D$	OD de descarga
3.3	Déficit inicial de oxígeno disuelto	$D_o = O_s - OD_o$	$O_s$	Saturación de oxígeno disuelto
3.10	Decaimiento de la DBO	$DBO = DBO_o e^{-\frac{k_d x}{V}}$	$k_d$	Constante de desoxigenación en la corriente receptora
3.11	Déficit oxígeno disuelto	$D = D_o e^{-\frac{k_a x}{V}} + \frac{k_d DBO_o}{k_a - k_d} \left( e^{-\frac{k_d x}{V}} - e^{-\frac{k_a x}{V}} \right)$	$K_a$	Constante de reaireación
			$V$	Velocidad
3.19	Oxígeno disuelto en el río a x(m) aguas debajo de la descarga	$OD = O_s - D_o$	$D_o$	Déficit inicial de oxígeno disuelto
3.20	Tiempo crítico	$t_c = \frac{1}{(k_a - k_d)} \ln \left\{ \frac{k_a}{k_d} \left[ 1 - \frac{D_o (k_a - k_d)}{k_d * DBO_o} \right] \right\}$	$\ln$	Logaritmo natural
3.21	Distancia crítica	$x_c = V * t_c$	$V$	Velocidad

No	Nombre	Ecuaciones	Simbología	
3.22	Déficit crítico de oxígeno disuelto	$D_c = \frac{k_d}{k_a} DBO_o * e^{(-k_a * t_c)}$	e	Épsilon
3.23	Oxígeno disuelto crítico	$OD_c = O_s - D_c$	$D_c$	Déficit crítico de oxígeno disuelto
3.24	Decaimiento crítico de la DBO	$DBO_c = DBO_o * e^{(-k_a * t_c)}$	$t_c$	Tiempo crítico

## Anexo 9. Nomenclatura, unidades y significado

Parámetro	Unidades	Descripción
OD	mg/l	Oxígeno disuelto en el río a x(m) aguas debajo de la descarga
DBO	mg/l	Decaimiento de la DBO
Do	mg/l	Déficit inicial de oxígeno disuelto
Os	mg/l	Saturación de oxígeno disuelto
D	mg/l	Déficit oxígeno disuelto
ODo	mg/l	Oxígeno disuelto inicial en el balance de materia
DBOo	mg/l	DBO inicial en el balance de materia
Qo	m <sup>3</sup> /s	Caudal inicial en el balance de materia
Kd	d-1	Constante de desoxigenación en la corriente receptora
ka	d-1	Constante de reaireación
v	m/s	Velocidad media del río
x	m	Distancia desde el punto de descarga aguas abajo
H	m	Profundidad del río
T	°C	Temperatura de la mezcla
Qr	m <sup>3</sup> /s	Caudal del río
Q <sub>D</sub>	m <sup>3</sup> /s	Caudal de la descarga
Tagua	°C	Temperatura del río
Tambiente	°C	Temperatura del ambiente
Θa		Factor de corrección de reaireación
Θd		Factor de corrección de desoxigenación
tc	día	Tiempo crítico
Xc	m	Distancia crítica
Dc	mg/l	Déficit crítico de oxígeno disuelto

Parámetro	Unidades	Descripción
ODc	mg/l	Oxígeno disuelto crítico
DBOc	mg/l	Decaimiento crítico de la DBO