



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Proyecto de Investigación previo  
a la obtención del Título de  
Ingeniería en Gestión Ambiental

**Perfil del Proyecto de Investigación:**

**“Modelización de la calidad del agua del estero *Guayji*, Cantón *Quevedo*, Provincia  
*De Los Ríos*, Año 2018-2019”**

**Autor:**

García Arévalo Diego Armando

**Director del proyecto de investigación:**

Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez, MSc.

**Quevedo-Los Ríos- Ecuador**

**2018-2019**

## **DECLARACION DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, García Arévalo Diego Armando, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

**f.**

---

**Diego Armando Garcia Arévalo**

**C.C. # 0929032464**

## **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

El suscrito, Ing. Julio Pazmiño Rodríguez MSc., Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante: García Arévalo Diego Armando, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado *“Modelización de la calidad del agua del estero Guayji, cantón Quevedo, Provincia de los Rios , año 2018-2019”*, previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

.....

**Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez Msc.**

**DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

# CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCION DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADEMICO



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TESIS. ESTERO GUAYJÌ, GARCIA.docx (D50803014)  
**Submitted:** 4/18/2019 7:50:00 AM  
**Submitted By:** diego.garciaa@uteq.edu.ec  
**Significance:** 10 %

Sources included in the report:

TESIS ESTERO EL PITAL 2018.docx (D43520662)

Instances where selected sources appear:

19

**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

“Modelización de la calidad del agua del estero Guayji, Cantón Quevedo, Provincia De Los Ríos, Año 2018-2019”.

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental.

Aprobado por:

---

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE TESIS**

PhD. Osorio Betty González

---

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS**

Ing. Guerrero Chuez Norma

---

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS**

Ing. Lozano Mendoza Pedro

**QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR**

2019

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mi madre, Sonia Arévalo por apóyame en todo momento, por los valores que me ha inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Y como olvidar a mi hermana que siempre ha estado ahí para mí, en todo el tiempo académico y en mi vida, aparte de ser mi hermana es mi segunda madre, sin ti no podría llegar a donde estoy, Gracias.

A mis hermanos por ser parte fundamental de mi vida y representar la unidad familiar a Richard, Carlos, y Betsy, por llenar mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación a mi tutor: Ing. Julio Pazmiño por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

A la familia Sánchez y Andrés Ruiz que de una u otra manera me ayudaron con mis estudios de campo para poder cumplir con mi propósito de graduarme se los agradezco de corazón.

## DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo se lo dedico principalmente a **Dios**, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso más anhelado.

A mi madre, **Sonia Arévalo**, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a usted he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y un privilegio ser tu hijo eres la mejor madre.

A **mis hermanos** por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

Y principalmente **A mi padre** que no se encuentra a mi lado esta alado de nuestro Dios padre todo poderoso, espero que me estés viendo viejo esto te lo dedico ya que no podrá verme físicamente cuando me entreguen mi titulo, pero sé que siempre estarás a mi lado te extraño padre amado no sabes la falta que me haces, contigo a mi lado muchas cosas no hubieran ocurridos  
TE AMO.

También le dedico este proyecto a mi novia **Mishel Sánchez** ya que es alguien muy importante en mi vida y futuramente madre de mis hijos te amo gracias por hacer de mí una gran persona.

**García Arévalo Diego Armando**

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio evaluó la calidad del agua del estero Guayjì “Quevedo de la provincia de los ríos”, se monitoreo la calidad del agua superficial durante los meses de agosto a noviembre, el objetivo principal de esta investigación fue modelizar la incidencia de los niveles de Oxígeno Disueltos (OD) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), del estero. Con la finalidad de cumplir los siguientes objetivos específicos. (1). Determinar las características hidro morfológicas del estero Guayjì. (2). Caracterizar la calidad del agua del estero Guayjì. (3). Modelizar la calidad del agua del estero Guayjì con el modelo de Streeter-Phelps. (4). Simular con programas de computadora WASP la calidad del agua del estero Guayjì.

Se llevó a cabo la caracterización de los parámetros fisicoquímico de calidad del agua los cuales tuvieron: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrogeno (pH), temperatura (°C), y conductividad eléctrica (CE). Se establecieron siete puntos de muestreos que fueron: tramo 1, tramo 2, tramo 3, tramo 4, aguas arriba del tramo 1, la descargar inicio del tramo 1, un tributario inicio del tramo 4, con 8 campañas de muestreo quincenales durante los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, considerado en época seca. El modelo matemático aplicado, se basó en las ecuaciones de Streeter-Phelps, que permitió modelizar la calidad del agua del estero Guayjì para obtener los perfiles de la DBO y el OD, donde en primera estancia se obtuvieron las constantes aplicando las ecuaciones matemáticas respectivas, para luego calibrar las constantes cinéticas de reaireación ( $K_a$ ), desoxigenación ( $K_d$ ) y de remoción total de la DBO ( $K_r$ ) haciendo uso del software estadísticos Statgraphics mediante la herramienta de simulaciones Monte Carlo, obteniendo 10000 posibles variaciones de las constantes cinéticas. Finalmente, se realizó la simulación de la calidad del agua implementando el programa QUAL2K, ingresando la información requerida hidrodinámica del estero y las constantes calibradas.

**Palabras claves:** Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, calidad del agua, Streeter Phelps, calibración, constantes cinéticas, simulación Monte Carlo, Qual2k.

## ABSTRACT

The present study evaluated the water quality of the Guayji estuary "Quevedo of the province of the rivers", the surface water quality was monitored during the months of August and November, the main objective of this investigation was model the incidence of Dissolved Oxygen (DO) and Biochemical Oxygen Demand (BOD) the estuary. In order to meet the following specific objectives. (one). Determine the morphological hydro characteristics of the Guayji estuary. (two). Characterize the water quality of the Guayji estuary. (3). Model the water quality of the Guayji estuary with the Streeter-Phelps model. (4). Simulate with WASP computer programs the water quality of the Guayji estuary.

The characterization of the physicochemical parameters of water quality was carried out, which they had: Biochemical oxygen demand (BOD), dissolved oxygen (DO), hydrogen potential (pH), temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), and electrical conductivity (CE). Seven sampling points were established, which were: section 1, section 2, section 3, section 4, upstream of section 1, the initial download of section 1, a tributary beginning of section 4, with 8 biweekly sampling campaigns during the months August, September, October, November, considered in the dry season.

The applied mathematical model was based on the Streeter-Phelps equations, which allowed the water quality of the Guayji estuary to be modeled to obtain the BOD and OD profiles, where in the first stay the constants were obtained by applying the respective mathematical equations, to then calibrate the kinetic constants of reairration ( $K_a$ ), deoxygenation ( $K_d$ ) and total removal of the BOD ( $K_r$ ) using statistical software Statgraphics using the Monte Carlo simulation tool, obtaining 10,000 possible variations of the kinetic constants. Finally, the simulation of water quality was carried out by implementing the QUAL2K program, entering the required hydrodynamic information of the stream and the calibrated constants.

**Key words:** Dissolved Oxygen, Biochemical Oxygen Demand, Water Quality, Streeter-Phelps, calibration, kinetic constants, Monte Carlo simulation, Qual2k.

# ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
DECLARACION DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADEMICO	iv
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN EJECUTIVO	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xviii
CÓDIGO DUBLÍN	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	3
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Problema de la investigación	3
1.1.1 Planteamiento del problema	3
1.1.1.1 Diagnóstico	3
1.1.1.2 Pronóstico	4
1.1.2 Formulación de problema	4
1.1.3 Sistematización del problema	4
1.1.4 OBJETIVOS	4
1.1.4.1 Objetivo general	4
1.1.4.2 Objetivos específicos	5
1.1.5 Justificación	5
CAPITULO II	6
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1. Marco conceptual	6
2.1.1. Calidad del agua	6
2.1.1.1. Contaminación del agua	6
2.1.1.1.1. Fuentes de contaminación del agua	7
2.1.1.1.2. Fuentes puntuales	7

2.1.1.1.3.	Fuentes no puntuales .....	7
2.1.1.2.	Efectos de la contaminación del agua.....	7
2.1.2.	Parámetros de calidad del agua superficial .....	8
2.1.2.1.	Parámetros físicos .....	8
2.1.2.1.1.	Temperatura.....	8
2.1.2.1.2.	Olor.....	9
2.1.2.1.3.	Color.....	9
2.1.2.2.	Parámetros químicos .....	9
2.1.2.2.1.	pH .....	9
2.1.2.2.2.	Oxígeno disuelto .....	10
2.1.2.2.3.	Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	10
2.2.	Modelos de calidad del agua.....	11
2.2.1.	Modelo de Streeter-Phelps .....	11
2.2.2.	Programa QUAL-2K .....	11
2.2.3.	Programa WASP.....	11
2.2.4.	Calibración de modelos de calidad del agua.....	12
2.3.	Marco referencial.....	13
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>18</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>18</b>
3.1.	Localización del área de estudio .....	18
3.1.1.	Características edafoclimáticas de la zona.....	19
3.1.1.1.	Altitud .....	19
3.1.1.2.	Temperatura.....	19
3.1.1.3.	Precipitación .....	19
3.1.1.4.	Suelo .....	20
3.1.1.5.	Cambio Climático .....	20
3.2.	Tipos de Investigación .....	20
3.3.	Métodos de la investigación.....	21
3.4.	Fuente de Información.....	21
3.5.	Diseño de la Investigación .....	22
3.5.1.	Determinación de las características hidrodinámicas del estero Guayjì.....	22
3.5.2.	Caracterización e identificación de los puntos de muestreo de la calidad del agua del estero Guayjì.....	23
3.5.2.1.	Recolección de muestras de agua.....	25
3.5.3.	Modelización de la calidad del Agua del Estero Guayjì, con el Modelo Matemático Streeter Phelps .....	26
3.5.4.	Simular la calidad del estero Guayjì con el programa de computadora QUAL2K	28

3.6.	Instrumento de investigación .....	29
3.6.1.	Hoja de cálculo para caudales.....	29
3.6.2.	Hoja de calibración de Statgrafphics .....	29
3.6.3.	Hoja de modelo de Streeter Phelps.....	30
3.7.	Tratamiento de datos .....	30
3.7.1.	Análisis de rendimiento .....	30
3.8.	Materiales y Equipo .....	31
CAPITULO IV .....		32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		32
4.1.	Resultados de la investigación.....	32
4.1.1.	Características hidromorfológicas del estero Guayjì.....	32
4.1.1.1.	Caudal .....	32
4.1.1.2.	Velocidad de la corriente.....	33
4.1.1.3.	Profundidad del cauce .....	35
4.1.2.	Caracterización de la calidad del agua del estero Guayjì.....	36
4.1.2.1.	Oxígeno disuelto .....	36
4.1.2.2.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) .....	38
4.1.2.3.	pH .....	39
4.1.2.4.	Conductividad eléctrica.....	41
4.1.2.5.	Contantes cinéticas.....	42
4.1.2.5.1.	Constante de reaireacion ( $k_a$ ).....	42
4.1.2.5.2.	Constante de desoxigenación ( $k_d$ ).....	43
4.1.2.5.3.	Constante de remoción total de la DBO ( $k_r$ ) .....	43
4.1.2.6.	Comportamiento del Oxígeno Disuelto y la Demanda Bioquímica de Oxígeno	44
4.1.2.6.1.	Comportamiento del OD y la DBO en el mes de agosto .....	45
4.1.2.6.2.	Comportamiento del OD y la DBO en el mes de septiembre .....	48
4.1.2.6.3.	Comportamiento del OD y la DBO en el mes de octubre .....	50
4.1.2.6.4.	Comportamiento del OD y la DBO en el mes de noviembre .....	53
4.1.3.	Simulación de la calidad del agua del estero Guayjì con QUAL2K .....	57
4.1.3.1.	Simulación del OD y la DBO en el mes de agosto .....	57
4.1.3.2.	Simulación del OD y la DBO en el mes de septiembre .....	59
4.1.3.3.	Simulación del OD y la DBO en el mes de octubre .....	61
4.1.3.4.	Simulación del OD y la DBO en el mes de noviembre .....	63
4.1.3.5.	Análisis de rendimiento .....	66
4.2.	Discusión .....	68
CAPITULO V.....		72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		72

5.1.	Conclusiones .....	72
5.2.	Recomendaciones .....	74
CAPITULO VI .....		75
BIBLIOGRAFÍA .....		75
6.1.	Citas bibliográficas.....	75
CAPITULO VII.....		79
ANEXO 79		
7.1.	Tablas de datos generales sobre las características hidromorfológicas del estero Guayjì80	
7.2.	Tablas de datos generales sobre las características fisicoquímicas del estero Guayjì 84	
7.3.	Hojas de cálculo del modelo de Streeter-Phelps.....	87
7.4.	Hojas de datos de simulación con QUAL2K.....	89
7.5.	Reportes del laboratorio .....	92
7.6.	Fotografías .....	98
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCION DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADEMICO .....		103

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.....	23
Tabla 2. Equipos utilizados para la medición de parámetros físicos y químicos básicos .....	24
Tabla 3. Requerimiento del laboratorio acreditado .....	26
Tabla 4. Fórmulas y rangos de profundidad y velocidad utilizados para estimar $k_a$ ...	27
Tabla 5. Medidas de bondad del ajuste.....	30
Tabla 6. Materiales y equipos utilizados en la investigación .....	31
Tabla 7. Caudales en l/s, del estero Guayjì en la estación seca.....	32
Tabla 8. Velocidad de la corriente principal en m/s del estero Guayjì.....	34
Tabla 9. Profundidad de la corriente principal del estero Guayjì, en cm. ....	35
Tabla 10. Niveles de oxígeno disuelto en el estero Guayjì en mg/l .....	36
Tabla 11. DBO5 en el estero Guayjì en mg/l .....	38
Tabla 12. Valores de pH en el estero Guayjì.....	40
Tabla 13. Valores de conductividad eléctrica del estero Guayjì .....	41
Tabla 14. Valores calculados y calibrados de la constante de reaireación ( $k_a$ ).....	42
Tabla 15. Valores calculados y calibrados de la Constante de desoxigenación $k_d$ .....	43
Tabla 16. Valores calculados y calibrados de la constante de remoción total de la DBO ( $k_r$ ) .....	44
Tabla 17. Características de la cabecera, descarga, tributario del mes de agosto .....	45
Tabla 18. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de agosto .....	45
Tabla 19. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de agosto, % .....	47
Tabla 20. Características de la cabecera, descarga, tributario del mes de septiembre ...	48
Tabla 21. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de septiembre .....	48
Tabla 22. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de septiembre, % .....	50
Tabla 23. Características de la cabecera, descarga, tributario del mes de octubre .....	50
Tabla 24. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de octubre .....	51
Tabla 25. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de octubre, %.....	52
Tabla 26. Características de la cabecera, descarga, tributario del mes de noviembre....	53
Tabla 27. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de noviembre .....	53

Tabla 28. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de noviembre, %.....	55
Tabla 29. Rendimiento del modelo de Streeter-Phelps con respecto al OD.....	55
Tabla 30. Rendimiento del modelo de Streeter-Phelps con respecto a la DBO .....	56
Tabla 31. Valores calibrados de las constantes cinéticas en QUAL2K vs Streeter-Phelps .....	65
Tabla 32. Rendimiento del modelo de Qual2k con respecto al OD .....	66
Tabla 33. Rendimiento del modelo de Qual2k con respecto al DBO.....	66
Tabla 34. Valores obtenidos en el cálculo del caudal por fechas de las campañas de muestreo en l/s .....	80
Tabla 35. Promedio de los caudales en m/s.....	80
Tabla 36. Valores obtenidos en el cálculo de la velocidad por fechas de las campañas de muestreo .....	81
Tabla 37. Promedio de la velocidad en m/s.....	81
Tabla 38. Valores obtenidos en el cálculo de la profundidad por fechas de las campañas de muestreo.....	81
Tabla 39. Promedio de la profundidad en m .....	82
Tabla 40. Valores de DBO mg/l .....	84
Tabla 41. Promedio de DBO mg/l.....	84
Tabla 42. Valores de oxígeno disuelto mg/l.....	84
Tabla 43. Valores promedio de oxígeno disuelto mg/l.....	85
Tabla 44. Mediciones de pH.....	85
Tabla 45. Promedio pH.....	85
Tabla 46. Mediciones de temperatura, °C .....	86
Tabla 47. Promedio de temperatura °C .....	86
Tabla 48. Mediciones de conductividad eléctrica .....	86
Tabla 49. Promedio de conductividad eléctrica.....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de localización de estudio “Estero Guayji” .....	18
Figura 2. Mapa de localización de los tramos y puntos de monitoreo .....	25
Figura 3. Curva sag de oxígeno disuelto en corrientes de agua superficial.....	27
Figura 4. Interfaz del software QUAL2K.....	29
Figura 5. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 1 .....	82
Figura 6. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 2 .....	82
Figura 7. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 3 .....	83
Figura 8. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 4 .....	83
Figura 9. Hoja de cálculo de Streeter-Phelps, mes de agosto.....	87
Figura 10. Hojas de cálculo modelo Streeter-Phelps, mes de septiembre.....	87
Figura 11. Hojas de cálculo modelo de Streeter-Phelps, mes de octubre.....	88
Figura 12. Hojas de cálculo modelo de Streeter-Phelps, mes de noviembre.....	88
Figura 13. Hojas de Statgraphics, para el cálculo de las constantes cinéticas.....	88
Figura 14. Hoja de datos iniciales de QUAL2K.....	89
Figura 15. Hoja de datos de cabecera de QUAL2K .....	89
Figura 16. Hoja de Reach (tramos) de ingreso de datos para los tramos .....	90
Figura 17. Hoja donde se ingresan las tasas o constantes cinéticas (Reach rates) .....	90
Figura 18. Hoja donde se ingresan los datos de las descargas puntuales .....	90
Figura 19. Visualización de gráficos de variación de parámetros .....	91
Figura 20. Hoja de resultados .....	91

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Variación del caudal promedio de la corriente del estero Guayjì .....	33
Gráfico 2. Velocidad promedio de la corriente principal del estero Guayjì, en m/s .....	34
Gráfico 3. Variación promedio de la profundidad en la corriente principal del estero Guayjì .....	36
Gráfico 4. Variación promedio del oxígeno disuelto en el estero Guayjì .....	37
Gráfico 5. Variación promedio de la DBO5 en el estero Guayjì.....	39
Gráfico 6. Variación del pH de la corriente principal del estero Guayjì.....	40
Gráfico 7. Variación promedio de la Conductividad eléctrica de la corriente principal del estero Guayjì.....	41
Gráfico 8. Perfil de la OD del mes de agosto .....	46
Gráfico 9. Perfil de la DBO del mes de agosto. ....	47
Gráfico 10. Perfil de la OD del mes de septiembre .....	49
Gráfico 11. Perfil de la DBO del mes de septiembre .....	49
Gráfico 12. Perfil de la OD del mes de octubre.....	51
Gráfico 13. Perfil de la DBO del mes de octubre .....	52
Gráfico 14. Perfil de la OD del mes de noviembre .....	54
Gráfico 15. Perfil de la OD del mes de noviembre .....	54
Gráfico 16. Simulación del OD con QUAL2K del mes de agosto.....	57
Gráfico 17. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de agosto .....	58
Gráfico 18. Simulación del OD con QUAL2K del mes de septiembre.....	59
Gráfico 19. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de septiembre .....	60
Gráfico 20. Simulación del OD con QUAL2K del mes de octubre .....	61
Gráfico 21. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de octubre.....	62
Gráfico 22. Simulación del OD con QUAL2K del mes de noviembre .....	63
Gráfico 23. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de noviembre.....	64

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Limpieza del cauce previo a los aforos.....	98
Fotografía 2. Medición de los parámetros de pH, temperatura y conductividad eléctrica .....	99
Fotografía 3. Toma de muestra del tramo 4.....	100
Fotografía 4. Toma de muestra de la descarga principal del tramo 1.....	101

## CÓDIGO DUBLÍN

Título:	“Modelización de la calidad del agua del estero Guayjì, Cantón Quevedo, Provincia De Los Ríos, Año 2018-2019”				
Autor:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garcia Arévalo Diego Armando</li> </ul>				
Palabras clave:	Calidad de agua	Oxígeno disuelto	Demanda bioquímica de oxígeno	Streeter-Phelps	QUAL2K
	Calibración	simulación Monte Carlo	Constante cinética		
Fecha de publicación:					
Editorial:					
Resumen: (hasta 300 palabras)	<p>El presente estudio evaluó la calidad del agua del estero Guayjì “Quevedo de la provincia de los ríos”, se monitoreo la calidad del agua superficial durante los meses de agosto 11 del 2018, hasta noviembre 18 del 2018, el objetivo principal de esta investigación fue modelizar la (prevalencia) incidencia de los niveles de Oxígeno Disueltos (OD) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), del estero antes mencionado. Con la finalidad de cumplir los siguientes objetivos específicos. (1). Determinar las características hidro morfológicas del estero Guayji. (2). Caracterizar la calidad del agua del estero Guayji. (3). Modelizar la calidad del agua del estero Guayji con el modelo de Streeter-Phelps. (4). Simular con programas de computadora WASP la calidad del agua del estero Guayji.</p> <p>Se llevó a cabo la caracterización de los parámetros fisicoquímico de calidad del agua los cuales fueron: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrogeno (pH), temperatura (oC), y conductividad eléctrica (CE). Se establecieron siete puntos de muestreos que fueron: tramo 1, tramo 2, tramo 3, tramo 4, aguas arriba del tramo 1, la descargar inicio del tramo 1, un tributario inicio del tramo 4, con 8 campañas de muestreo quincenales durante los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, considerado en época seca. El modelo matemático aplicado, se basó en las ecuaciones de Streeter-Phelps, que permitió modelizar la calidad del agua del estero guayji para obtener los perfiles de la DBO y el OD, donde en primera estancia se obtuvieron las constantes aplicando las ecuaciones matemáticas respectivas, para luego calibrar las constantes cinéticas de reaireación (Ka), desoxigenación (Kd) y de remoción total de la DBO (Kr) haciendo uso del software estadísticos Statgraphics mediante la herramienta de simulaciones Monte Carlo, obteniendo 10000 posibles variaciones de las constantes cinéticas. Finalmente, se realizó la simulación de la calidad del agua implementando el programa QUAL2K, ingresando la información requerida hidrodinámica del estero y las constantes calibradas.</p>				
Descripción:					
URI:	<u>(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)</u>				

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural limitadas y un bien público fundamental para la vida y la salud”, incidiendo en esta característica del agua, de los 40.000 km<sup>3</sup> de agua que circulan por la tierra, unos 2/3 no son utilizables por el hombre ya que se sitúan en zona remotas o donde las necesidades del agua son muchos menores que los recursos existentes [1].

A nivel internacional se refleja con el pasar del tiempo los altos niveles de contaminación de los ríos, lagos por factores naturales, y causante de enfermedades que se han involucrado con la vida de los seres vivos tanto que intervienen a unos de los más importantes es de las actividades humanas procedentes de la agricultura ganadería y usos domésticos, que al no tener un tratamiento adecuado son ingresados directamente al recurso hídrico.

Ya que el derecho humano al agua y al saneamiento en momento en los cuales las enfermedades provocadas por la falta de agua potable y saneamiento provocan más muertes que cualquier de las guerras. Cada año más de 3,5 millones de personas mueren por enfermedades transmitidas por aguas contaminadas. La diarrea es la segunda causa mas importante de la muerte de niños menores de 5 años. La falta de acceso al agua potable mata mas niños que el SIDA, la malaria y la viruela juntos [1].

En la antigüedad, la calidad del agua se calificaba solo por su aspecto, sabor, color, olor. Actualmente, los avances científicos y tecnológicos han repercutido el desarrollo de técnicas analíticas y procesos capaces de identificar y remover una amplia lista de compuestos, a tal grado que es posible hacer agua “potable” mediante la recuperación del agua residual [2]

En la constitución de la política del ecuador (2008), se han establecidos políticas que garanticen el cuidado y el manejo sostenible del agua, la Ley de Aguas, Acuerdos Ministeriales, el Plan Nacional de Buen Vivir y Ordenanzas Municipales. Dando un ejemplo de Derechos de la naturaleza en la Constitución del 2008 cita, que el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

La población de Quevedo tiene grandes problemas relacionados con los temas ambientales principalmente la calidad del agua, tienen normas que no son aplicadas en su totalidad dando un quemeimportismo al tema ambiental,

# CAPITULO I

## CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. Problema de la investigación

#### 1.1.1 Planteamiento del problema

A nivel de América Latina, gran parte de los sistemas de alcantarillado continúan sin instalaciones de tratamiento de las aguas servidas. Al respecto, estimaciones de la CEPAL han sugerido que las áreas urbanas de los países de la región generan aproximadamente 510 metros cúbicos por segundo de aguas servidas que se descargan al ambiente sin tratamiento previo, hecho que revela del impacto de la actividad humana en el medio ambiente, a pocas décadas de la Conferencia Mundial citada en Estocolmo [3]

Dentro de la última década Quevedo ha presenciado una expansión territorial y un desarrollo industrial caracterizado por la incontrolada producción de residuos y su acumulación las áreas donde se desarrollan todo tipo de actividades humanas.

Quevedo, y como cantones aledaños y sus alrededores lo cual demanda considerables cantidades de agua potable para el funcionamiento de restaurantes, servicios de higiene, etc. Adicional a esto se encuentran locales comerciales, centros de salud y planteles educativos que conjuntamente sus aguas residuales van continuamente al estero Guayjì, sin ningún tipo de tratamiento previo.

Otro inconveniente es la reducción la capacidad de autodepuración del estero Guayjì debido a que por décadas se ha convertido en un sumidero de desechos domésticos, comerciales e industriales, cuyos efectos se ven reflejados en la pérdida de la biodiversidad y disminución de sus características geométricas e hidrodinámicas.

El problema principal radica en el incumplimiento de la legislación vigente, la disposición y tratamiento de los residuos sólidos, la privación del servicio de alcantarillado en los sectores aledaños, la carencia de planificación y ordenamiento territorial, la falta de cultura y la poca colaboración del Municipio, cuya deficiencia ha generado que las fuentes hídricas del río Quevedo se estén desapareciendo sin que alguien tome cartas en el asunto.

#### 1.1.1.1 Diagnóstico

Lo que se menciona anteriormente se ha convertido en un problema fundamental tanto por el deterioro del estero Guayjì debido a q su cuerpo hídrico, a más de ser unos vertederos de

residuos domésticos, comerciales e industriales es un receptor de aguas negras. Dicha contaminación ha ocasionado enfermedades dérmicas, epidémicas y gastrointestinales en los moradores que aún se abastecen de la obtención del estero y sus alrededores, así como el deterioro de la calidad del agua provocado por la exuberante cantidad de materia orgánica, detergentes y sustancias inorgánicas contenidas en el agua residual depositada en el mismo, disminuyendo su capacidad de autodepuración por la contaminación acarreada aguas arriba, y el poco caudal que constituye el estero.

#### **1.1.1.2 Pronóstico**

A medida que el tiempo transcurre y si no existe disposición de las autoridades para la realización de estudios especializados y técnicas sobre la calidad de los cuerpos de agua del cantón, el problema persistirá o se volverá más complejo de lo que parece, ya que no existirán las bases necesarias que sirvan de fundamento en la toma de decisiones sobre la previsión y corrección de problemas futuros, o en evitar la incidencia de enfermedades en la población.

#### **1.1.2 Formulación de problema**

¿Es factible, la evaluación y predicción del impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del agua del estero Guayjì y su capacidad de autodepuración, mediante la modelización matemática de la variación del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno?

#### **1.1.3 Sistematización del problema**

¿Cuáles son las características hidromorfológicas del estero Guayjì?

¿Cómo varían mensualmente las concentraciones de los parámetros seleccionados para lo modelización de la calidad del agua en el estero Guayjì?

¿Cuán factible es predecir la calidad del agua del estero Guayjì utilizando el modelo de Streeter-Phelps, con adecuado rendimiento estadístico?

¿Cuán factible es simular la calidad del agua del estero Guayjì utilizando software especializado, con adecuado rendimiento estadístico?

#### **1.1.4 OBJETIVOS**

##### **1.1.4.1 Objetivo general**

Modelizar la calidad del agua del estero Guayjì. En la estación seca.

#### **1.1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar las características hidromorfológicas del estero Guayjì.
- Caracterizar la calidad del agua del estero Guayjì.
- Modelizar la calidad del agua del estero Guayjì con el modelo de Streeter-Phelps.
- Simular con programas de computadora WASP la calidad del agua del estero Guayjì.

#### **1.1.5 Justificación**

Dentro de la contaminación de aguas superficiales, producida por la descarga a efluentes industriales o domésticos no tratados, constituye una amenaza para la salud humana y plantea un serio riesgo para recursos vitales como agua y suelo. La principal causa de contaminación del agua superficial radica en los efluentes cloacales e industriales sin tratamiento previo. Las aguas residuales cuando son descargadas directamente a un cuerpo de agua ocasionan efectos negativos en la vida acuática. Un cuerpo de agua deteriorado disminuye su valor de su uso, como para consumo humano o fines agrícolas e industriales. Afecta la vida acuática mueren los peces por disminución de oxígeno disuelto y se convierte en agua no apta para ni un tipo de consumo.

La importancia de un estudio de modelación de la calidad de las aguas estriba en conocer la cantidad, calidad y tipo de sustancias que son arrojadas a un cuerpo receptor. Con base a su calidad se pueden fijar condiciones particulares de descarga, acciones encaminadas a la conservación del recurso, ayudando así a mantener la flora y fauna de los cuerpos receptores, el reusó del agua y promover la conservación del medio natural e impulsar a sectores en los cuales se necesita del recurso hídrico para poder desarrollarse [4]

Es de gran importancia realizar ecuaciones matemáticas. implementando modelos de la calidad del agua, con la finalidad de descubrir los tipos de sustancian que son vertidas directamente a los cuerpos receptores.

La determinación de los niveles de oxígeno disuelto y la carga orgánica en el estero Guayjì constituye una manera eficiente de impulsar el interés científico y la búsqueda de una vida sostenible de los recursos naturales con los que cuenta el cantón, ya que facilitará la predicción de la calidad del agua, para el control de enfermedades en la población, y la protección de la fauna y flora de Quevedo

## **CAPITULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1. Marco conceptual**

##### **2.1.1. Calidad del agua**

Sabemos cuán importante es el agua dulce de buena calidad para nuestra vida diaria. Ya que es un sistema muy complejo, pues encierra una serie de factores interrelacionados. Además, el concepto de la calidad del agua ha evolucionado, debido al aumento en los usos del agua y a la facilidad de medir e interpretar las características del agua [5]

un ecosistema, un lago o Río, por sí mismo es una unidad más bien artificial en cuanto a que mucha de su característica están determinada por la naturaleza, las dimensiones y las formas del terreno que las rodea y por las aguas de drenaje que se introducen en ella. la unidad ecológica, por tanto, es el lago o río junto con su cuenca colectora [6].

La calidad de las aguas superficiales es afectada por la atmósfera a través de la cual la lluvia cae, por la naturaleza del suelo y de la vegetación sobre la cual el agua de superficie escurre, y por el grado de actividad humana en la Cuenca. La composición de las aguas que se introducen en los ríos y lagos pueden cambiar a causa de gases industriales que son arrastrados desde Fuentes distantes y se disuelven en el agua de lluvia que cae sobre el área de captación [6].

##### **2.1.1.1. Contaminación del agua**

La contaminación del agua es la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuales industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos. [7]

El ser humano no esta exento de los peligros que se derivan del consumo del agua o de los alimentos que producen de estos ríos suelos contaminados. Los problemas para la salud publica que presentan son reales, aunque todavía no están suficientemente estudiados. [8]

Desde la década de los 60 el deterioro del medio ambiente destaca entre los problemas que afectan a las sociedades contemporáneas por las alteraciones producidas en los ecosistemas y sus efectos negativos sobre la población [9].

los estilos de crecimientos económicos adoptados en la mayoría de los países resultan poco adecuados para garantizar un desarrollo sustentable y armónico desde el punto de vista ambiental y de la calidad de vida el estado y el mercado en la economía the laissez faire no asigna los recursos naturales de acuerdo a su verdadero valor social lo que genera su sobre utilización y un proceso acelerado de deterioro del medio ambiente [9].

#### **2.1.1.1.1. Fuentes de contaminación del agua**

La extensa gama de contaminantes que se descargan en las aguas superficiales se puede agrupar en amplias categorías.

#### **2.1.1.1.2. Fuentes puntuales.**

Las aguas negras domésticas y los desechos industriales se llaman fuentes puntuales localizadas o puntiformes ya que en general se recolectan mediante en red de tubos o canales y se conducen hasta un solo punto de descarga en el agua receptora. Las aguas negras domésticas consisten en desechos de hogares, escuelas edificio de oficina y tienda El termino aguas negras municipales incluyen las aguas negras domésticas y los desechos industriales cuyas descargas están permitidas en los alcantarillados sanitarios. En general la contaminación de fuentes puntuales se puede reducir o eliminar mediante la minimización de los desechos y con un tratamiento adecuado del agua de desecho, antes de descargarlas a un cuerpo natural de agua [10].

#### **2.1.1.1.3. Fuentes no puntuales.**

Los escurrimientos urbanos y agrícolas lo caracterizan múltiples. de descarga y se llama fuentes no puntuales. con frecuencia el agua contaminada pasa sobre la superficie del terreno o a lo largo de canales de drenaje natural y llena hasta el cuerpo de agua más cercano. Aun cuando las aguas descubrimientos urbanos o agrícolas se recolectan en tubos o canales, en general se transportan por la distancia más corta posible hasta la descarga. De modo que no es económicamente factible su tratamiento en cada descarga. Gran cantidad de la contaminación debida a Fuentes no puntuales sucede durante las lluvias y los deshielos de primavera [10].

#### **2.1.1.2. Efectos de la contaminación del agua**

El agua se contamina cuando la descarga de residuos perjudica la calidad del agua o perturba el equilibrio ecológico natural los contaminantes que causan problemas comprenden

organismos causantes de enfermedades patógenas materia orgánica sólidos nutrientes sustancias tóxicas color espuma calor y material radiactivo la descarga de contaminantes específicos no es la única causa de contaminación del agua la contribución de presas embalses y desviaciones de ríos también pueden degradar seriamente la calidad del agua [9].

A pesar de su capacidad natural para regenerarse a sí mismo, los ríos tienen un límite de asimilación de aguas residuales, fertilizantes provenientes de las tierras de cultivo o vertidos industriales. La separación de ese límite con independencia de sus concentraciones para utilización de sus aguas para el consumo [8]

### **2.1.2. Parámetros de calidad del agua superficial**

Dentro de la determinación de la calidad del agua en función de una serie de parámetros físicos, químicos, y biológicos. que caracterizan el agua en su estado natural y que no resultan fáciles de comparar, cuando necesitamos determinar la calidad en cierto cuerpo de agua los instintos antes descritos no permiten de manera cualitativa determinar principalmente, parámetros físicos, no así químicos o biológicos, por aquellos se utilizan también una serie de pruebas y ensayos de laboratorio con los que se establece de manera cuantitativa y estandarizada la calidad del agua [11].

#### **2.1.2.1. Parámetros físicos**

Los parámetros físicos son aquellos parámetros del agua que responden a los sentidos del tacto, olor y sabor. lo más utilizados son: sólidos suspendidos, turbiedad, color, olor, sabor, y temperatura [11].

##### **2.1.2.1.1. Temperatura**

Es una medida relativa de la cantidad de calor contenida en el agua residual esta propiedad termodinámica influye notablemente en las características físicas químicas y biológicas de los cuerpos de agua afecta a la fauna y flora acuáticas la velocidad de reacción bioquímica y la transferencia de gases así por ejemplo al incrementarse la temperatura la velocidad de la biodegradación de los compuestos orgánicos también se incrementan por la solubilidad del oxígeno en el agua disminuye por esto es importante su determinación en cualquier intento por evaluar la calidad de las aguas [12].

#### **2.1.2.1.2. Olor**

La mayoría de los olores presentes en las aguas residuales son debido a los gases producidos o liberados productos de biotransformación de materia orgánica y materia orgánica generalmente se deposita en el fondo de estanques o de contenedores creadas condiciones propicias para los organismos anaerobios en ese caso bacteria produzcan gases el olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia de sulfato de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos y sulfitos por acción de microorganismos anaerobios [12].

#### **2.1.2.1.3. Color**

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. No se puede atribuir a ningún constituyente en exclusiva, aunque ciertos colores es aguas naturales son indicativos de la presencia de ciertos contaminantes [13]

Se supone que el agua pura no tiene color; sin embargo, Los sólidos suspendidos, así como los disueltos en el agua, determina su color. Los sólidos suspendidos brindan un color denominado aparente, mientras que los sólidos disueltos proporcionan el color verdadero [11].

los ácidos húmicos, la madera, las hojas, los óxidos de hierro, los óxidos de manganeso, son entre otros los elementos que proporcionan diferentes colores al agua [11].

#### **2.1.2.2. Parámetros químicos**

Los parámetros químicos están relacionados con la capacidad de solvencia del agua, por lo que no Resulta ser tan fáciles de determinar cómo los parámetros físicos para la determinación de los parámetros químicos [11].

Se necesita de un laboratorio para para que se realice pruebas específicas los parámetros químicos más importantes para determinar la calidad del agua son: sólidos disueltos, alcalinidad, dureza, metales, causas orgánicas, y nutrientes [11].

##### **2.1.2.2.1. pH**

El rango comprendido entre 6,0 y 9,0 unidades de pH es un Rango apropiado para que se desarrollen la mayoría de organismos vivos aguas residuales con valores de pH extremos

son difíciles de tratar empleando sistemas biológicos los valores típicos de pH en las aguas residuales se encuentran en el rango comprendido entre 7 coma cero y 8,0 unidades de pH [14].

#### **2.1.2.2.2. Oxígeno disuelto**

La concentración del oxígeno disuelto es un parámetro muy importante para evaluar la calidad del agua. Sirve como indicador del efecto producido por los contaminantes oxidables, de la aptitud del agua para mantener vivo peces u otros organismos aerobios y de la capacidad auto depuradora de un cuerpo receptor [2]

El oxígeno disuelto proviene de la mezcla de agua con el aire bien sea por contacto de la superficie del agua con el viento, o mayor medida, por los procesos fotosintéticos de las algas y macrofitas acuáticas es el principal indicador del estado de contaminación de una fuente hídrica dada su relación con la demanda que de este parámetro hace la materia orgánica en los procesos de degradación biológica [15].

El oxígeno es un gas muy poco soluble en agua su concentración de saturación varía entre 7 mg/l a 35 grados Celsius 14,7 mg/l y 1 atmósfera en general el oxígeno disuelto debe estar por encima de los 5 mg por litro para asegurar la sobrevivencia de los organismos superiores peces no obstante algunas especies como la mojarra o la tilapia resisten concentraciones inferiores a los 3 miligramos por litro de oxígeno [15].

#### **2.1.2.2.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno**

La demanda de oxígeno de una agua residual se suele caracterizar por dos parámetros: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), y la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno da una idea de la concentración de materia orgánica biodegradable y se calcula a partir de la medida de la disminución de la concentración de oxígeno disuelto, después de incubar una muestra durante una determinado período de tiempo habitualmente 5 días de DBO<sup>5</sup> la medida debe hacerse en la oscuridad para evitar la producción fotosintética del oxígeno y manteniendo un PH de 7-7,5 las unidades de la DBO son mg de O<sup>2</sup> L-1 un agua residual urbana tienen general valores de DBO<sup>5</sup> entre 1000 y 400 mg /L-1 [16].

## **2.2. Modelos de calidad del agua**

La utilización de modelos matemáticos para simular los procesos de transporte y dispersión de los contaminantes vertidos en medios receptores ha experimentado un auge crecimiento en las últimas décadas esto debido a la necesidad de estudiar y evaluar la contaminación producida por las aguas de vertido y sus posibles impactos en el medio receptor ya que afectan el desarrollo de las actividades humanas y en general la calidad del medio ambiente [17].

### **2.2.1. Modelo de Streeter-Phelps**

Modelar en este caso específico es el balance de oxígeno disuelto en un río. Este modelo fue estructurado por primera vez por Streeter Phelps en 1925 para describir el comportamiento de un río, básicamente el modelo Establece que la carga de materia Orgánica del DBO es el alimento principal de la bacteria presente en el río está llevan a cabo un proceso de oxidación mediante el cual consumen oxígeno disuelto en el agua y materia orgánica como resultado de este proceso mirado de manera aislada la cantidad de oxígeno disuelto debería reducirse hasta hacerse cero llevado al río a la anoxia para los consecuentes cambios en la ruta de degradación de algunos compuestos [18].

### **2.2.2. Programa QUAL-2K**

El modelo QUAL-2K es un modelo para el análisis del comportamiento de la calidad del agua, respaldado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés). Este modelo considera el flujo de agua como unidimensional y permanente. Para la simulación del transporte de sustancias contaminantes QUAL2K emplea el balance de calor y temperatura en función de datos meteorológicos horarios, introducidos en un espacio de ciclo diario. [19]

### **2.2.3. Programa WASP**

El modelo WASP es considerado como una herramienta de planificación integrada de recursos hídricos, que puede ser implementada para representar las condiciones actuales de un sistema hídrico (superficial o subterráneo) en un área determinada. WEAP es usado para evaluar la demanda y opciones de suministro incorporando los objetivos ambientales y normativos del contexto específico de análisis [19].

#### **2.2.4. Calibración de modelos de calidad del agua**

En la modelación de la calidad del agua de los ríos Maracas, Tucuy y Calenturitas para cada parámetro en cada uno de ellos, el modelo determinó su concentración a medida que éste fue avanzando en espacio a través del río. Es importante tener en cuenta que las mediciones de campo se realizaron con el propósito de calibrar y verificar el modelo de simulación de la calidad del agua. de esta manera el diseño y programación de la frecuencia de toma de datos y de los parámetros de calidad del agua monitoreados permitieron la calibración del modelo implementado con el mínimo grado de fluctuación [20].

### 2.3. Marco referencial

Elegir un criterio para la caracterización del grado de contaminación de un río es bastante difícil ya que son muy variados los efectos que producen los diferentes tipos de contaminantes sobre las aguas. Sin embargo, la contaminación debida a la materia orgánica es a menudo la que produce un efecto más significativo sobre el sistema acuático. La fuerte demanda de oxígeno disuelto (OD), ya sea por la oxidación de la materia orgánica o inorgánica, desde la misma masa de agua o desde los sedimentos, crea problemas muy graves en todo el ecosistema acuático. El OD es el factor energético fundamental para los seres vivos. Bajas concentraciones de oxígeno producen desajustes en el ecosistema, mortalidad de peces, olores y otros efectos estéticos desagradables. En consecuencia, el OD es una de las más importantes variables del sistema acuático [21]

En los Estados Unidos el mayor esfuerzo en la evaluación de la calidad de las aguas comenzó en 1912, cuando al Servicio de Salud Pública se le encomendó, por parte del Congreso, la dirección de los trabajos y estudios sobre "el saneamiento y aguas residuales, incluyendo la contaminación, directa o indirecta, en los ríos navegables y lagos de los Estados Unidos". Los estudios en el río Ohio, realizados entre 1914 y 1916, permitieron la realización del fundamental trabajo de Harold Streeter y Earle Phelps sobre la modelización matemática del OD. El trabajo incluía la aplicación de una sencilla formulación matemática de los principales procesos asociados con el oxígeno disuelto en un río además de los trabajos sobre el análisis del OD en estuarios, como hicieron O'Connor (1960, 1962, 1965, 1966), Thomann (1963), y O'Connor y Mueller (1984), además de otros. [21]

El modelo de Streeter-phelps así como los softwares que son utilizados para la implementación como también analizar la calidad del agua y simular las corrientes superficiales, en este apartado se refleja estudios y experiencias realizadas por diferentes países así mismo incluyendo a nuestro país Ecuador.

Arana y Sánchez. en su estudio de modelización de la calidad del agua del estero Macache Cantón Quevedo dentro de las características hidromorfológicas se encuentran marcados por valores muy variables debido a que el caudal aumenta en los meses de mayor precipitación que corresponden a enero y febrero, mientras que en la época seca los valores del caudal decrecen significativamente, en base al modelo de Streeter-Phelps y el programa QUAL2K, se efectuó el análisis de rendimiento en la predicción del oxígeno disuelto y la DBO para así determinar el error estadístico entre los valores medidos en el campo y los valores

pronosticados mediante los coeficientes de determinación. Los resultados del análisis de rendimiento responden con el balance de masa que realiza el software QUAL2K, dentro del cual incluye aquellos aportes y salidas que se han presentado en los tramos [22]

En su investigación muestran que el oxígeno disuelto se encuentra por debajo de los límites permisibles según el Libro VI anexo 1 con valores inferiores a los 6mg/l. Mientras que en meses de mayor precipitación estas concentraciones se incrementan significativamente superando los 5mg/l. Existe una disminución de la concentración de DBO en los meses de la época lluviosa, situación que se manifiesta debido al ingreso de aguas limpias que por pendiente se unen al cauce del estero aumentando la cantidad de oxígeno disuelto. La calibración del modelo de Streeter y Phelps con los datos tomados de OD y DBO de las condiciones iniciales en el estero Macache obtuvo un óptimo ajuste en la mayoría de los tramos ya que el error relativo es inferior al 10%, a excepción de los tramos tres y cuatro que superan el 10% del error. La simulación de la calidad del agua del estero Macache con el software QUAL2K no se pudo obtener un buen ajuste de los parámetros medidos en campo y los predicho por el modelo, siendo así que el error relativo de los datos supera el 10%; este esquema se debe a la falta de parámetros que el programa qual2k requiere para ajustar [22]

Otro caso de investigación se realizó en la ciudad de Lavras, en Minas Gerais se determinó la capacidad de asimilar la materia orgánica y el impacto que generara la contaminación orgánica sobre la calidad del agua en la corriente de Ribeirão Vermelho. Este segmento comprendía una longitud de 15 km. La tasa de desoxigenación ( $k_d$ ) y la reaeración ( $k_a$ ) fueron determinadas y probadas en tres segmentos durante dos temporadas (verano e invierno). Se utilizó el modelo Streeter-Phelps la simulación del proceso de purificación. Los valores más altos de  $k_d$  y  $k_a$  ocurrieron durante el período invernal, que se caracterizó por menores caudales (de 0.09 a 0.25 m<sup>3</sup>/s). La simulación del perfil de oxígeno disuelto y la demanda biológica de oxígeno encajaron bien en el modelo, indicando la prevalencia de desoxigenación carbonosa por nitrificación y demostrando la importancia de la reaeración natural como parte del proceso de purificación. Se observó una respuesta diferente durante el invierno, en la cual los altos valores de productividad primaria permanecieron en la corriente del proceso de reaeración. La investigación determinó que el Ribeirão Vermelho no puede auto-purificarse en toda su longitud, y que la calidad del agua está influenciada por la descarga de efluentes que intensifica la degradación [23]

En Colombia se evaluó la calidad del agua del río Tunjuelo a través de la simulación del comportamiento de la DBO y el oxígeno disuelto en el software QUAL2Kw, y se consideraron dos escenarios. Primeramente, que el sistema de drenaje sanitario vierta las aguas residuales proporcionalmente al crecimiento poblacional; el segundo escenario se refiere a la intercepción de estas aguas hacia una planta de tratamiento próxima a construirse. Se concluyó en que la calibración del modelo fue apropiado debido a que los datos resultantes, acertaron de manera considerable con los parámetros simulados por el software. Además, esta simulación permitió la identificación de algunos factores que afecten el beneficio que se obtendrá con la construcción de interceptores hacia la planta de tratamiento [24]

Leo Rodríguez y Oliva Atiaga en el año 2013, realizaron un estudio de la variación de la calidad de agua considerando el aporte de los afluentes identificados en el curso medio-alto del Río Puyo, Provincia de Pastaza. En la modelización de la calidad del agua se consideró un segmento de 15.8 km dividido de acuerdo a sus características hidrodinámicas y geométricas en dos tramos, comprendido entre la parroquia Fátima y la población de Unión Base. Se aplicó el modelo de Streeter-Phelps para establecer la variación de OD y DBO y se determinó el caudal del río en ocho puntos de muestreos identificados posteriormente, observándose valores entre 3.26 m<sup>3</sup>/s (Fátima) y 21.10 m<sup>3</sup>/s (Unión Base). Se identificaron seis afluentes principales en el tramo medio del río Puyo, de los cuales dos de ellos aportan materia orgánica de manera importante (Pambay y Citayacu) con caudales de 2.10 y 0.86 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Para la aplicación del modelo de oxígeno disuelto se consideró una constante de reaireación ( $k_a$ ) de 4.80 días<sup>-1</sup>, obtenida como promedio en cada punto muestreo. Los valores de OD presentaron una tendencia uniforme que se incrementó desde 7.1 mg/L hasta 9.42 mg/L en el punto final del tramo modelado, debido a la relativa disminución en la aportación de materia orgánica oxidable mientras continúan los procesos de oxigenación en el río. Los valores modelados para la concentración de DBO oscilaron entre 2.49 y 4.79 mg/L [25]

Otro estudio realizado por Ana Pérez y Alexis Rodríguez que por título indica: Índice Fisicoquímico de la Calidad de Agua para el manejo de Lagunas Tropicales de Inundación, en el año 2008, en Costa Rica. Dicho trabajo aborda una aplicación metódica sobre los índices de calidad con el fin de aportar toda la información necesaria sobre el agua y sus alternativas recopilando tendencias estadísticas de sus variables y a fines. Para los resultados de este estudio, sobre el manejo de lagunas de inundación en relación a la demanda química

de oxígeno y el fósforo total, se analizaron las bases en las concentraciones establecidas mediante los criterios sobre sostenibilidad ambiental como también su temperatura y adaptabilidad de las especies en condiciones ambientales propicias; ya con los puntos definidos en cada variable, se genera una curva de reajuste, pues estas fueron dibujadas siguiendo el perfil de las DBO y las concentraciones de fosfatos desarrollados, permitiendo así, deducir las funciones de calificación y calcular los puntajes asociados con cada medición en los puntos de muestreo; las integraciones numéricas del ICA, fueron efectuadas mediante el cálculo de productos ponderados para ser evaluadas con base a los puntajes de las variables definidos en una escala de 1 a 100 [26]

Pazmiño, Zambrano y Coello en su estudio de modelización de la calidad del agua del estero Aguas Claras del Cantón Quevedo, establecieron características hidromorfológicas, la variabilidad de las concentraciones del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica dentro del estero a través de un estudio matemático. En base al modelo de Streeter-Phelps y el programa QUAL2K, se efectuó el análisis de rendimiento en la predicción del oxígeno disuelto y la DBO para así determinar el error estadístico entre los valores medidos en el campo y los valores pronosticados mediante los coeficientes de determinación. Los resultados del análisis de rendimiento responden con el balance de masa que realiza el software QUAL2K, dentro del cual incluye aquellos aportes y salidas que se han presentado en los tramos [27].

Dentro de la investigación concluyeron que el perfil de oxígeno disuelto en el estero Aguas Claras demuestra el impacto de carga orgánica producida por las descargas de aguas residuales domiciliaria, ocasionando que la concentración del parámetro disminuya por debajo del límite máximo permisible. Por otra parte, la disminución de la carga orgánica mostrada por la DBO evidencia la constante de remoción total al proceso de autodepuración del estero, removiendo valores de materia orgánica cercanos al 50 % al final del último tramo. Dentro del análisis de rendimiento del modelo de Streeter-Phelps se determinó valores promedios de 0,99 tanto para el coeficiente de determinación como para el índice de Nash-Sutcliffe; por último, la simulación de los niveles de oxígeno disuelto con QUAL2K mostró un ajuste muy similar al observado en la modelización de Streeter-Phelps. Al ser comparadas reflejaron un error menor al 40% en casi todos los casos. Las predicciones de la DBO en la simulación con QUAL2K, tuvieron un ajuste claramente menor, debido a la falta de información requerida por el software [27].

De tal manera como se puede observar, la implementación del modelo matemático Streeter-Phelps, ha trascendido durante décadas y se ha posicionado como el método mayormente empleado a la hora de evaluar fuentes puntuales que afecten la calidad de cuerpos de agua, con el fin de cumplir los niveles contemplados en la normativa, pues permite un acercamiento a los valores reales de contaminación, así como una proyección de las concentraciones aceptables para que estos afluentes no deterioren las propiedades de autodepuración de ríos y esteros.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Localización del área de estudio

la presente investigación se realizó en el estero Guayji perteneciente al Cantón Quevedo, provincia de los Ríos su temperatura habitual es de unos 20 a 33 °C y a veces llega a los 38 °C. Las lluvias nacen mayoritariamente al este de la ciudad (en el cantón La Maná está el epicentro principal). Con esto Quevedo tiene precipitaciones en todos los meses del año y su precipitación anual oscila entre 3.000 a 4.000 mm [28]. El segmento estudiado inicia atrás de la (ciudadela el Guayacán) en la 17 de marzo y atraviesa al sector la Virginia desembocando al estero Macul vía a el empalme. Con sentido sureste con una longitud de 23,925km.

Figura 1 Mapa de localización de estudio "Estero Guayji"



Fuente: IGM/INEC

### **3.1.1. Características edafoclimáticas de la zona**

#### **3.1.1.1. Altitud**

Quevedo se encuentra situado en un hermoso lugar en el corazón del Litoral, por su posición geográfica y vial privilegiada ha beneficiado al país, además permite un intenso tráfico terrestre y fluvial. Posee un clima que beneficia para el cultivo. Es una población situada en las orillas del río Quevedo en el sector denominado “Las lomas”. se encuentra ubicada al 1° 20' 30" de Latitud Sur y los 79° 28' 30" de Longitud occidental, dentro de una zona subtropical [28].

#### **3.1.1.2. Temperatura**

Su temperatura habitual es de unos 20 a 33 °C y a veces llega a los 38 °C [28]. La temporada calurosa dura 1,7 meses, del 14 de agosto al 4 de octubre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 31 °C. El día más caluroso del año es el 7 de septiembre, con una temperatura máxima promedio de 31 °C y una temperatura mínima promedio de 22 °C. La temporada fresca dura 1,2 meses, del 21 de enero al 27 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 30 °C. El día más frío del año es el 12 de agosto, con una temperatura mínima promedio de 22 °C y máxima promedio de 31 °C [29]

#### **3.1.1.3. Precipitación**

Es una zona climática lluviosa subtropical, su temperatura habitual es de unos 20 a 33 °C y a veces llega a los 38 °C. Las lluvias nacen mayoritariamente al este de la ciudad (en el cantón La Maná está el epicentro principal). Con esto Quevedo tiene precipitaciones en todos los meses del año y su precipitación anual oscila entre 3.000 a 4.000 mm [28]. La precipitación varía entre 1750 mm y 2500 mm. La curva de distribución anual de la precipitaciones de carácter modal con un máximo en el mes de febrero y un mínimo en el mes de agosto [30].

El flujo anual de la precipitación ocurre dentro de los siguientes términos: el 85-90% del total anual ocurre durante la época lluviosa, mientras que el 10-15% restante durante la época seca. Durante los meses de lluvia el sol brilla con mayor intensidad, sin embargo, la luminosidad varía entre 1,5 y 2,4 horas; mientras que la nubosidad por lo general alcanza valores altos como de 7 y 8 octavos [30].

#### **3.1.1.4. Suelo**

Los suelos de la zona son fértiles con buen drenaje interno, lo que explica su uso predominantemente agrícola para gran variedad de cultivos tanto de exportación, como de consumo. El principal tipo de suelo es derivado de cenizas volcánicas recientes con texturas desde franco arenosa hasta arcillosa lo que explica su fácil erosión [30].

La fertilidad del suelo se ve reducida por la aplicación por parte de pequeños y medianos agricultores de la limpieza que incluye la quema de residuos orgánicos ocasionándose pérdida de carbono, nitrógeno y azufre, mientras que el fósforo, potasio, magnesio y calcio se quedan en la ceniza [30].

#### **3.1.1.5. Cambio Climático**

En la última década la cantidad y la calidad de recursos hídricos han disminuido significativamente. La disminución de los caudales es causada por deforestación de las cuencas hídricas, así como el aumento de volúmenes utilizados para el consumo humano y agricultura. Los problemas de recursos hídricos salen de los límites administrativos y deben manejarse en forma coordinada y consensuada de todos los involucrados [30].

Un certero informe elaborado por Francisco Mite Vivar, investigador del Iniap, interpreta los datos de 70 años atrás, de la estación meteorológica de Pichelingue, en Quevedo, provincia de Los Ríos; encuentra variaciones espectaculares de lluvias en dos periodos de 35 años, el primero de 1947 a 1982, que fue más o menos uniforme, mientras el otro, de 1983 a 2016, presentó abismales diferencias, al punto de haber atestiguado dos fenómenos El Niño de connotaciones catastróficas (1982-1983 y 1997-1998), acumulando seis metros más de lluvias respecto del primer periodo [31]

### **3.2. Tipos de Investigación**

Dentro de la realización del proyecto se aplicó la investigación exploratoria, que ofrece al investigador un acercamiento al problema que va a estudiar, y así conocer la situación actual. Por otra parte, se obtienen los resultados iniciales a través de la observación de campo, para finalmente generar datos y variables que aporten al cumplimiento de los objetivos de la investigación y presentar un panorama cercano a la realidad del estero Guayjì.

### 3.3. Métodos de la investigación

Para llegar a cumplir los objetivos establecidos se debe llevar a cabo un conjunto de procedimientos que guíen al investigador al estudio del problema planteado, con argumentos que sean válidos ante la lógica científica. Por lo tanto, para lograr lo anterior se aplicaron los métodos que se detallan a continuación:

- **Método analítico:** Este método ayudó en descomponer un todo para poder observar las causas, la naturaleza del problema y los efectos. Aportó en la identificación de las características hidro morfológicas del estero GUAYJÌ, y al mismo tiempo a determinar las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de los puntos estudiados de dicho estero, para poder realizar el funcionamiento del modelo matemático.
- **Método inductivo:** Se basa principalmente en encontrar la realidad de un problema, que deberá estar basada por un número de datos reales. Por medio de este método se pudo conocer y detallar el comportamiento de las variables determinadas para el modelo matemático y así describir la realidad de la calidad del agua del estero GUAYJÌ.

### 3.4. Fuente de Información

Para el desarrollo de la investigación, se hizo uso de fuentes que sirvieron en la obtención de la información, las cuales se detallan a continuación:

- **Fuentes primarias:** Entre las fuentes primarias estuvo la recolección de muestras de agua para el análisis de los parámetros fisicoquímicos que fueron necesarios para el modelo matemático de Streeter-Phelps.
- **Fuentes secundarias:** Artículos científicos, revistas científicas, TULSMA, libros, documentos en línea.

### 3.5. Diseño de la Investigación

#### 3.5.1. Determinación de las características hidrodinámicas del estero Guayjì

El cuerpo de agua seleccionada para la investigación, fue segmentado en 4 tramos, los cuales constituyeron las unidades de modelización del cauce, incluyendo los puntos de muestreo para cada tramo. Se delimitaron los tramos en función de las semejanzas y diferencias hidrodinámicas, morfológicas y ambientales que se identificaron en el recorrido previo al desarrollo de la investigación [32].

En cada una de las unidades de modelización se realizaron aforos quincenales en los meses considerados para la estación seca, que corresponde a los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre. del año 2018. Para llevar a cabo lo anterior, se utilizó el método del flotador, que se basó en determinar el área de la sección transversal de la corriente, insertando dos estacas en el cauce con una longitud entre ellas de 7 a 8 m, acorde a las condiciones hidrodinámicas del sitio. Para determinar la velocidad de la corriente, se utilizó una pelota ligera o algún tipo de objeto liviano como hojas o ramas propias del sitio, donde se midió con un cronómetro el tiempo que duró el objeto en recorrer la longitud de un extremo al otro, de modo que, el caudal en los tramos y tributarios se obtuvo multiplicando el área de las secciones transversales al cauce, por la velocidad de la corriente. Para tal efecto el área de la sección transversal representativa de cada tramo fue calculada mediante la siguiente integral definida [32].

$$\int_{x_0}^{x_f} f(z) dz$$

Donde, los límites inferior y superior de la integral ( $x_0$  y  $x_f$ ) son el inicio y el final de la anchura del cauce; y  $f(z)$  será la curva resultante del ajuste de los diferentes datos de profundidad que se midan en las secciones transversales de los tramos a modelizar, o por regresión polinómica o por el método de interpolación de Newton [32].

### 3.5.2. Caracterización e identificación de los puntos de muestreo de la calidad del agua del estero Guayjì

Para la modelización de la calidad del agua del estero Guayjì, se realizó el recorrido de reconocimiento del lugar de estudio, donde finalmente se establecieron 4 tramos y 2 afluentes, con un segmento total de km de longitud. 23.925 km.

El primer afluente consistía en ser un canal de descarga continua de aguas residuales proveniente de la parroquia el guayacán, el otro siendo un tributario proveniente del sector. san Luis vía a el Empalme. A continuación, se detallan los puntos de muestreo:

Tabla 1. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	COORDENADAS UTM (m)	
	LONGITUD E	LATITUD N
Aguas arriba	667507	9885359
Descarga	667497	9885293
Tramo 1	667052	9884999
Tramo 2	666129	9883254
Tramo 3	663134	9881678
Tributario 1	662919	9881838
Tramo 4	659799	9881641

Paralelamente a los aforos, se recolectaron muestras de agua quincenales *in situ* en los 7 puntos de muestreo designados en el cauce para poder implementar el modelo de la calidad del agua del estero Guayjì; es decir, en los cuatro tramos, aguas arriba del tramo 1, en la descarga principal y en el tributarios identificado, observando los criterios establecidos por las normas INEN 2176:1998, INEN 2226:2000 e INEN 2169:1998, sobre manejo y conservación de muestras, técnicas de muestreo, y diseño de programas de muestreo [33]. [34]. [35]. Respectivamente. Asimismo, se realizaron análisis de los parámetros físico-químicos en los 7 sitios de muestreo, durante 2 repeticiones para cada mes (agosto, septiembre, octubre y noviembre), dando un total de 8 repeticiones. Los parámetros analizados fueron: demanda bioquímica del oxígeno (DBO), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE) y temperatura (°C)

Las muestras de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) fueron analizadas posteriormente en un laboratorio acreditado por el Servicio de Acreditación del Ecuador (SAE), mediante el método respirométrico en una cabina de incubación OxiTop® Box. Por otro lado, la medición del oxígeno disuelto y la temperatura se registraron mediante el medidor portátil Milwaukee MW600. Adicionalmente, se tomó mediciones del pH y la conductividad eléctrica con instrumentos portátiles digitales marca Biocharge.

Los resultados de la caracterización del agua fueron sometidos a tratamiento estadístico mediante el análisis multivariante, el cual comprendió el análisis de componentes principales, el análisis factorial y el análisis de clústeres, con la ayuda del software Statgraphics.

En la siguiente tabla se detallan las características consideradas para la toma de los parámetros anteriores:

Tabla 2. Equipos utilizados para la medición de parámetros físicos y químicos básicos

Parámetro	Unidad de medida	Equipo de medición
Oxígeno disuelto	mg/l	Medidor portátil Milwaukee MW600
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	Método respirométrico en una cabina de incubación OxiTop® Box
Temperatura	°C	Portátil digital marca Biocharge
Conductividad eléctrica	μS/cm	Portátil digital marca Biocharge
PH	-	Portátil digital marca Biocharge

Figura 2. Mapa de localización de los tramos y puntos de monitoreo



Fuente: IGM/INEC

### 3.5.2.1. Recolección de muestras de agua

Para las mediciones de la temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica se tomaron las muestras de manera *in situ* en los respectivos puntos de muestreo, en un envase estéril y prelavado con agua del mismo estero. En el caso de la demanda bioquímica del oxígeno (DBO), se utilizaron envases de plástico aproximadamente de 1 litro a 2 litros de agua del estero (solicitado por el laboratorio acreditado), tomando en la mitad del cauce y sumergiendo el envase hasta llenar al tope, después rotular las muestras de agua con el nombre del punto, lugar de toma de muestra, la hora de la toma y las coordenadas, para después ser enviadas al laboratorio encargado del análisis.

Tabla 3. Requerimiento del laboratorio acreditado

Parámetro	Envase	Tamaño mínimo de muestra	Tipo de muestra	Preservación	Tiempo máximo de conservación Recomendado/Regulado
Demanda bioquímica de oxígeno	Plástico o vidrio	1 litro ½ por muestra, llenada hasta el tope y bien sellada	p, c	Refrigerar entre 2°C y 5°C, guardar en la oscuridad	24 horas

### 3.5.3. Modelización de la calidad del Agua del Estero Guayjì, con el Modelo Matemático Streeter Phelps

La modelización matemática de la calidad del agua se realizó utilizando las ecuaciones del modelo de Streeter-Phelps, producto de lo cual se obtuvieron perfiles tanto del OD como de la DBO, que describirán el comportamiento de tales variables en cada uno de los tramos del estero Guayjì. Cabe señalar que, para efectos de la modelización, se utilizaron los valores medios calculados para las variables hidrodinámicas y fisicoquímicas, en la estación seca. El referido modelo matemático se expresa como [36] [32].

$$D_x = D_o(e^{-k_a t}) + \frac{k_d L_o}{k_a - k_d} (e^{-k_d t} - e^{-k_a t})$$

donde,  $D_x$  es el déficit de oxígeno disuelto a cualquier distancia aguas debajo de la corriente,  $D_o$  es el déficit inicial de oxígeno disuelto,  $L_o$  es la demanda bioquímica última de la corriente,  $k_d$  es la constante de desoxigenación,  $k_a$  es la constante de reaireación, y  $t$  es el tiempo de viaje de la corriente de agua [37]

Para determinar la DBO última total,  $L_o$ , se utilizó la siguiente ecuación:

$$L = L_o e^{-k t}$$

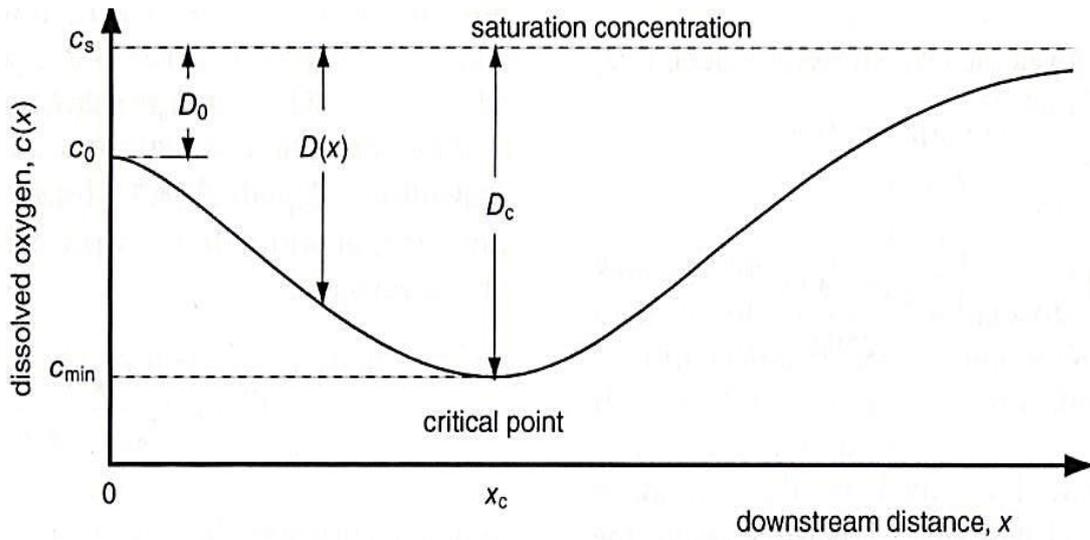
El oxígeno disuelto en cada tramo fue calculado mediante la siguiente expresión [37]:

$$OD_x = OD_{sat} - D_x$$

donde,  $OD_{sat}$  es el oxígeno disuelto de saturación.

De modo que al final se obtuvieron perfiles de oxígeno disuelto para describir la curva sag (ver figura 3) del mismo:

Figura 3. Curva sag de oxígeno disuelto en corrientes de agua superficial



Fuente: Sierra, 2011

La curva sag, es la curva de variación del oxígeno disuelto a cualquier distancia. Además, las constantes de desoxigenación fueron estimadas mediante el método de Thomas, y las constantes de reaireación mediante alguna de las siguientes fórmulas empíricas, diseñadas por varios autores:

Tabla 4. Fórmulas y rangos de profundidad y velocidad utilizados para estimar  $k_a$

Autores	Año	Fórmula	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)
O'Connor-Dobbins	1956	$k_a = 3,93 \frac{U^{0,5}}{H^{1,5}}$	0,30 – 9,14	0,15 – 0,49
Churchill	1962	$k_a = 5,026 \frac{U}{H^{1,67}}$	0,61 – 3,35	0,55 – 1,52
Owens y Gibbs	1964	$k_a = 5,32 \frac{U^{0,67}}{H^{1,85}}$	0,12 – 0,73	0,03 – 0,55

Fuente: Chapra, 2008, p. 378-379.

Además, se efectuó la calibración del modelo de Streeter-Phelps, ajustando las constantes cinéticas de reaireación, desoxigenación y de remoción total de la DBO,  $k_a$ ,  $k_d$ , y  $k_r$ , respectivamente. Este proceso de calibración paramétrica se realizó mediante una combinación del método manual, o de ensayo y error, y el método automático, para el cual se empleó la metodología GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation), que

consiste en definir los intervalos o rangos de variación de las constantes cinéticas, suponer una distribución de probabilidad uniforme de sus posibles valores, y luego, mediante simulaciones de Monte Carlo, se obtuvieron 10000 posibles combinaciones de los parámetros a calibrar, en función de los cuales se obtienen respuestas de las variables modelizadas. De este modo, y minimizando el estadístico, se obtendrán los valores calibrados de las constantes cinéticas [36].

La validación del modelo se desarrolló siguiendo las directrices de Sierra (2011), en el sentido de correr el modelo calibrado para predecir concentraciones de OD y DBO<sub>5</sub>, manteniendo constantes los parámetros ya ajustados y manipulando las variables externas, principalmente las cargas contaminantes y las características hidrodinámicas del estero [32].

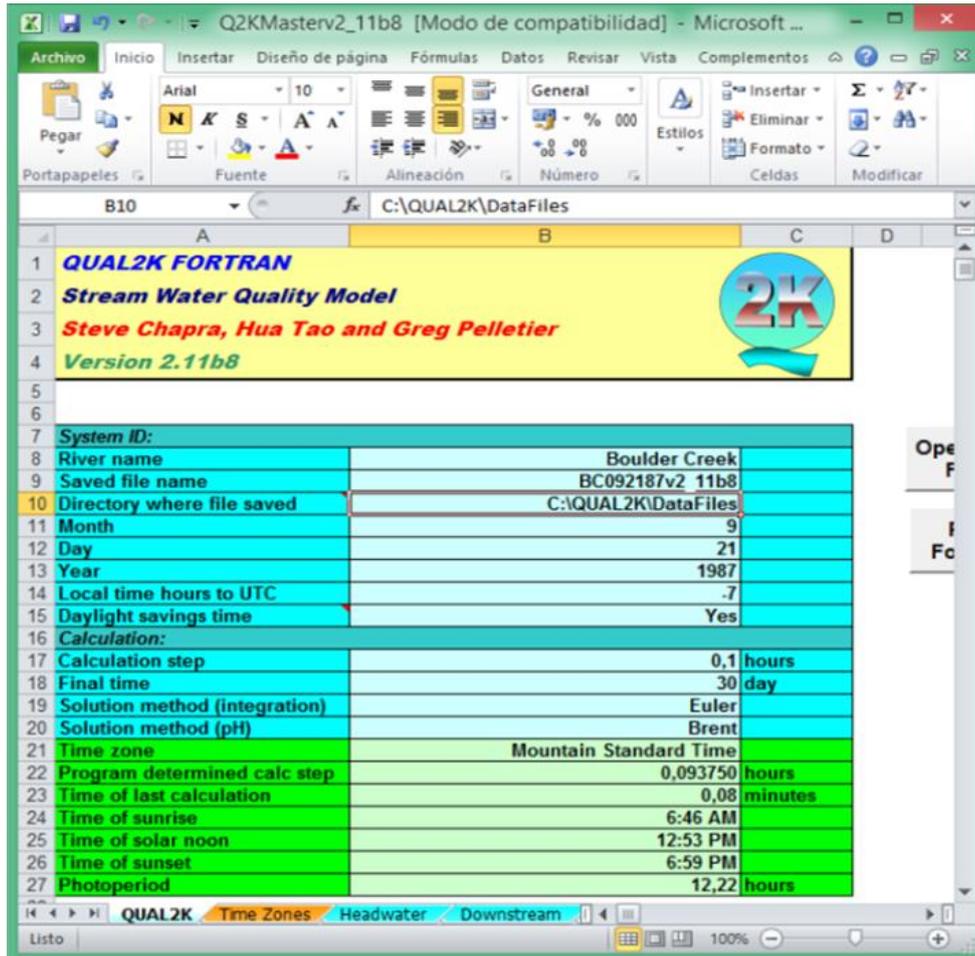
#### **3.5.4. Simular la calidad del estero Guayjì con el programa de computadora QUAL2K**

Se utilizó el software de modelización de la calidad del agua superficial QUAL2K, versión 2.12, para determinar la calidad del agua de ríos y arroyos que pretende representar un

Versión modernizada del modelo QUAL2E

(Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) para simular computacionalmente el comportamiento del OD y la DBO en el agua del estero GUAYJÌ.

Figura 4. Interfaz del software QUAL2K



Fuente: U.S. Environmental Protection Agency, 2015

### 3.6. Instrumento de investigación

#### 3.6.1. Hoja de cálculo para caudales

Se utilizaron hojas estadísticas para el cálculo de los caudales de los cuatro tramos, aguas arriba, descarga tramo1, tramo2, tramo3, tributarios, y tramo4. en las cuales se ingresaron los datos que fueron tomados en los aforos durante los 4 meses de las 8 campañas de muestreo, que pueden ser observadas en los anexos

#### 3.6.2. Hoja de calibración de Statgraphics

Para la calibración de las constantes cinéticas, se utilizó el programa de Statgraphics por medio de la herramienta de Simulación de Monte Carlo, ingresando los datos promedios de los meses de muestreo, donde se generaron base de datos por mes con sus respectivos tramos, aguas arriba, descarga y los dos tributarios.

### 3.6.3. Hoja de modelo de Streeter Phelps

La hoja de cálculo para la modelización, fue diseñada en base a todas las ecuaciones de Streeter-Phelps en términos de los principales mecanismos que definen el oxígeno disuelto, aplicando las fórmulas empíricas para la obtención de las constantes cinéticas de reaeración, desoxigenación y de remoción total de la DBO,  $k_a$ ,  $k_d$ , y  $k_r$ , respectivamente. Donde se ingresaron los valores y variables requeridas para el funcionamiento del modelo para así obtener los perfiles del OD y de la DBO.

## 3.7. Tratamiento de datos

### 3.7.1. Análisis de rendimiento

Se realizó el análisis de rendimiento de la DBO y del OD, tanto para la calibración de las constantes cinéticas como para la simulación en QUAL2K, para medir el error estadístico resultante de los valores medidos en el campo en relación a los obtenidos mediante la aplicación del modelo matemático. El rendimiento del modelo, se determinó mediante dos medidas de bondad del ajuste: el coeficiente de determinación  $R^2$  y el índice de rendimiento de Nash-Sutcliffe (NSE) [37].

Tabla 5. Medidas de bondad del ajuste

---

Coeficiente de determinación $R^2$	$R^2 = \left( \frac{\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y})(\hat{y}_j - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^N (\hat{y}_j - \bar{y})^2}} \right)^2$
Índice de rendimiento de Nash-Sutcliffe	$NSE = 1,0 - \frac{\sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y})^2}$

---

Fuente: Chin DA. Water-Quality Engineering in Natural Systems: Fate and Transport

Processes in the Water Environment; 2013

### 3.8. Materiales y Equipo

Tabla 6. Materiales y equipos utilizados en la investigación

<b>1.- Materiales campo</b>	<b>2.- Equipos</b>
Flexómetro	Medidor portátil Milwaukee MW600 para el OD
Estacas de madera	Instrumentos portátiles digitales marca Biocharge para el pH, temperatura y CE.
Botas	GPS
Guantes de vinilo	Cámara fotográfica o de celular
Botellas de plástico de 1 litro ½	
Cronómetro	
Libreta de apuntes	
Balde de 4 l	
Cinta de papel o transparente	
<b>3.- Materiales de oficina</b>	<b>4.- Software</b>
Computadora	ArcGis 10.1
Útiles de oficina	Statgraphics
Pendrive	Qual2k

Elaboración propia.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados de la investigación

##### 4.1.1. Características hidromorfológicas del estero Guayjì

Dentro del estudio realizado en la fase de campo se determinaron las siguientes Características hidromorfológicas del estero Guayjì, las cuales fueron: caudal, velocidad de la corriente, profundidad del cauce, el área de la sección transversal y el ancho de cada punto. De igual manera para poder representar las variaciones de cada una de las variables hidrodinámicas y fisicoquímicas, de las cuales se obtuvieron los promedios mensuales, que facilitan la interpretación de los datos.

##### 4.1.1.1. Caudal

La determinación del caudal dentro de la fase de campo (aforos), se indica que existe un incremento del caudal de la descarga en ciertas fechas, de tal manera en el tributario dentro del último mes de campaña. Su representación de los datos se encuentra en la tabla 7:

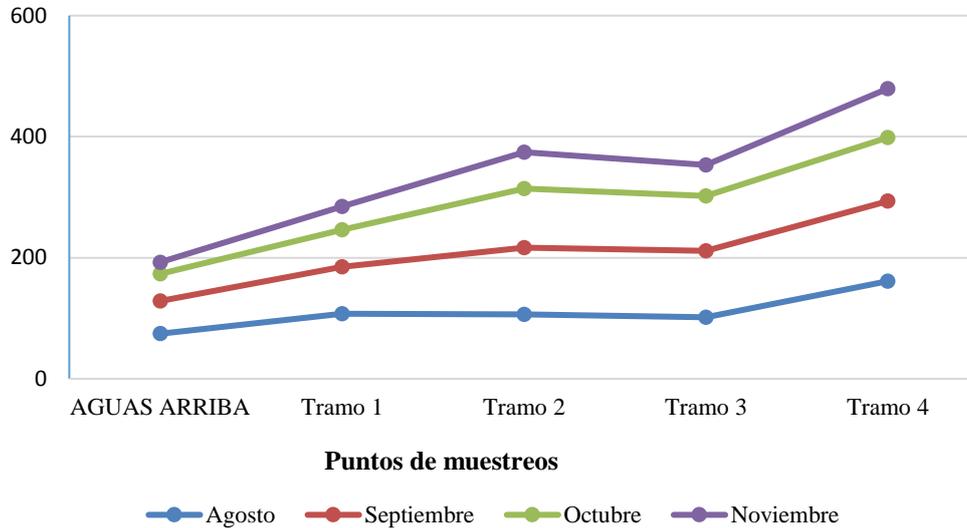
Tabla 7. Caudales en l/s, del estero Guayjì en la estación seca

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tributario	Tramo 4
<i>11-ago-18</i>	60	54	111	110	104	18	203
<i>25-ago-18</i>	89	15	104	102	99	27	120
<i>08-sep-18</i>	103	22	92	110	110	29	167
<i>22-sep-18</i>	5	45	63	111	109	22	98
<i>13-oct-18</i>	38	27	62	100	96	19	98
<i>27-oct-18</i>	52	9	60	95	86	20	113
<i>11-nov-18</i>	9	24	33	67	63	20	119
<i>18-nov-18</i>	29	14	44	53	39	68	43

En la tabla 7 se observa que los caudales experimentan una disminución en las corrientes a medida que pasan los meses. Se expresa un crecimiento del caudal que se registran en los meses de agosto y septiembre con un caudal promedio igual a 203 l/s, 167 l/s, del tramo 4

de igual manera en los meses de agosto y septiembre el tramo 2 se tubo valores promedio de 110 l/s, y 111 l/s, mientras que los valores inferiores se observaron en el mes de septiembre para aguas arriba de 5 l/s y para el mes de Octubre 9 l/s para la descarga.

Gráfico 1. Variación del caudal promedio de la corriente del estero Guayjì



En el grafico 1 se observa que el caudal promedio aumenta de Agosto a Noviembre , presentando caudales mínimos en el mes de noviembre los cuales fueron 19 l/s, 38 l/s, 60 l/s, 51 l/s, y 81 l/s, para aguas arriba, tramo 1, tramo 2, tramo 3, y tramo 4, y para el mes de Agosto se registran los caudales máximos igual a 74 l/s ( aguas arriba ), 107 l/s ( tramo 1 ), 106 l/s ( tramo 2 ) 101 l/s ( tramo 3 ) y 161 l/s ( tramo 4 ).

#### 4.1.1.2. Velocidad de la corriente

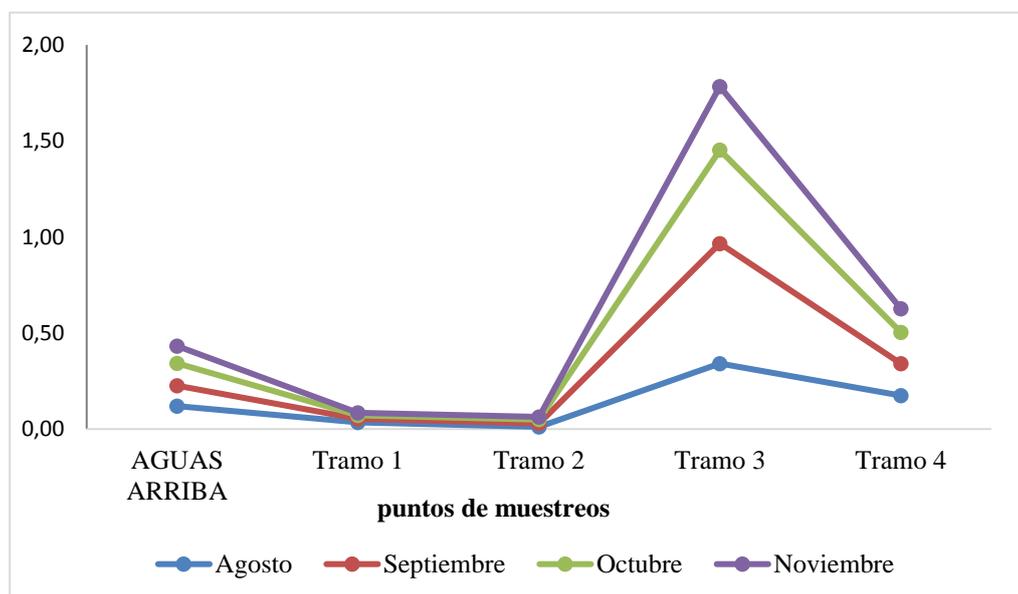
En la tabla 8 se observan los valores de la velocidad de la corriente obtenidas en la fase de campo de las 8 campañas que fueron de mayor importancia para el cálculo del caudal del estero Guayjì.

Tabla 8. Velocidad de la corriente principal en m/s del estero Guayjì

Fecha de campaña	Aguas arriba	Tramo 1	Tramo2	Tramo3	Tramo4
11-ago-18	0,13	0,04	0,01	0,06	0,15
25-ago-18	0,11	0,03	0,01	0,63	0,19
08-sep-18	0,11	0,02	0,01	0,63	0,16
22-sep-18	0,10	0,02	0,02	0,63	0,18
13-oct-18	0,12	0,02	0,03	0,42	0,15
27-oct-18	0,11	0,02	0,01	0,56	0,17
11-nov-18	0,12	0,01	0,01	0,38	0,14
18-nov-18	0,06	0,01	0,02	0,28	0,11

En la tabla 8 se puede observar que las corrientes más lentas del estero Guayjì se registra en el tramo 1, 0,01 m/s en el mes de noviembre y tramo 2, 0,01 m/s en el mes de agosto, septiembre, noviembre, dentro de ellos los valores máximos se registran en el mes de Agosto de 0.63 m/s, septiembre de 0,63 m/s y octubre con 0,56 dentro del tramo 1.

Gráfico 2. Velocidad promedio de la corriente principal del estero Guayjì, en m/s



En el grafico 2 se puede apreciar que existe una gran diferencia de velocidades dentro de los meses de muestreo, obteniendo las mayores velocidades promedio en el tramo 3, de 0.34 m/s, 0.63 m/s, 0.49 m/s, y 0.33 m/s, para los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre , mientras que las menores velocidades se registraron en el tramo 1, 0,03 m/s,

0.02 m/s, 0.02 m/s, y 0.01 m/s, de los meses, (agosto, septiembre, octubre, noviembre) y en el tramo 2, 0.01 m/s, 0.02 m/s, 0.02 m/s, y 0.01 m/s, de los meses (agosto, septiembre, octubre, noviembre).

#### 4.1.1.3. Profundidad del cauce

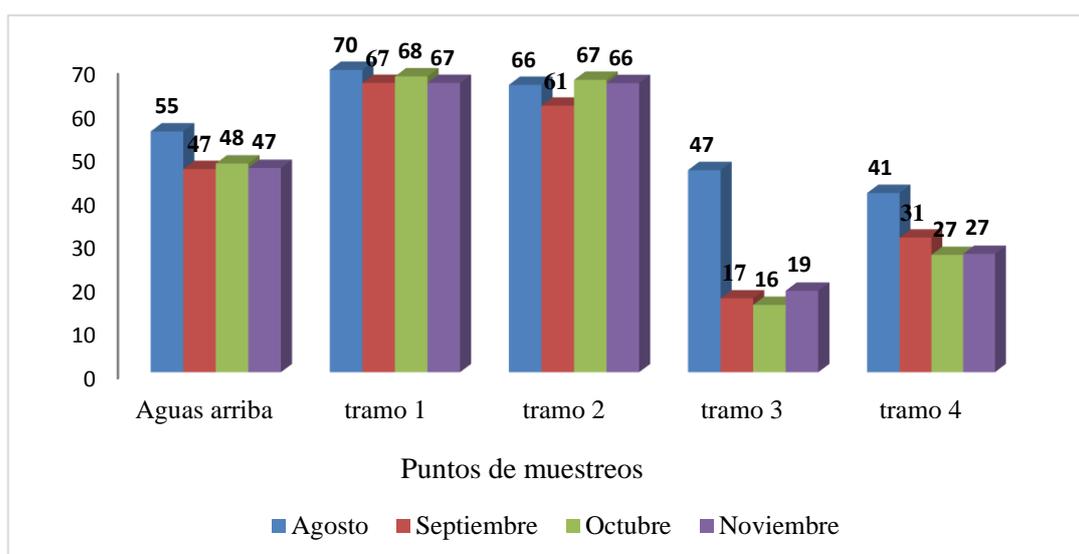
Los datos registrados de las profundidades de la corriente principal se encuentran detallado en la tabla 9.

Tabla 9. Profundidad de la corriente principal del estero Guayjì, en cm.

Fecha de campaña	Aguas arriba	tramo 1	tramo 2	tramo 3	tramo 4
<i>11-ago-18</i>	0,60	0,70	0,67	0,67	0,47
<i>25-ago-18</i>	0,51	0,70	0,66	0,27	0,36
<i>08-sep-18</i>	0,46	0,66	0,62	0,11	0,29
<i>22-sep-18</i>	0,48	0,68	0,61	0,24	0,34
<i>13-oct-18</i>	0,48	0,69	0,68	0,11	0,28
<i>27-oct-18</i>	0,48	0,67	0,66	0,20	0,27
<i>11-nov-18</i>	0,50	0,68	0,69	0,26	0,34
<i>18-nov-18</i>	0,45	0,66	0,64	0,12	0,21

La tabla 9, representa las profundidades obtenidas en los meses de muestreo teniendo como mayor profundidad en el tramo 1, con 70 cm en el mes de agosto, y la menor es de 66 cm del mes de noviembre, ya que la mayor profundidad del tramo 2 es de 67 cm del mes de agosto y la menor es de 61 cm del mes de septiembre. Por otro lado, en el tramo 3 tuvo su mayor profundidad de 67 cm en agosto donde disminuyo considerablemente a 11cm en octubre siendo la profundidad más baja de los tramos.

Gráfico 3. Variación promedio de la profundidad en la corriente principal del estero Guayjì



El gráfico 3 muestra que el tramo 1, obtiene la mayor profundidad promedio teniendo el máximo de 70 cm en el mes de agosto, por consiguiente, en los meses de septiembre, octubre, y noviembre, con 67 cm, 68 cm, y 647 cm, mientras que en el tramo 3 se obtuvieron las menores profundidades con 47 cm, en agosto y la menor de 16 cm, en octubre de igual manera en el tramo 4 con 41 cm, en agosto y la menor de 27 cm en octubre.

#### 4.1.2. Caracterización de la calidad del agua del estero Guayjì

##### 4.1.2.1. Oxígeno disuelto

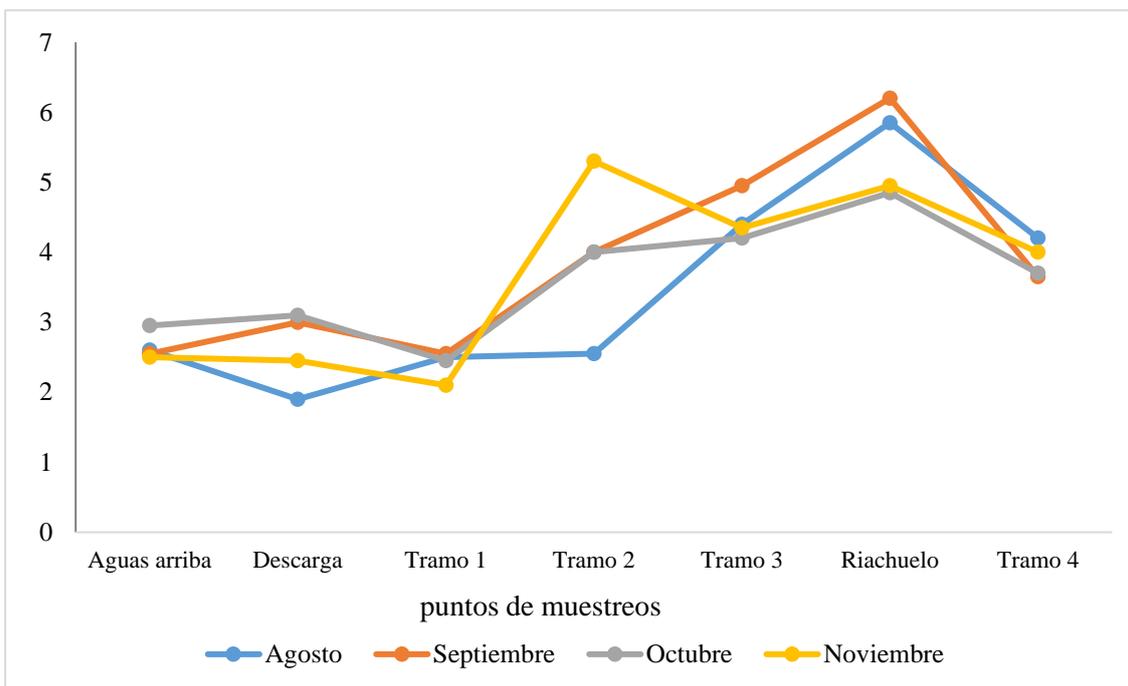
Las concentraciones de oxígeno disuelto que se obtuvieron en los puntos de muestreo en el estero Guayjì se reflejan en la tabla 10.

Tabla 10. Niveles de oxígeno disuelto en el estero Guayjì en mg/l

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Riachuelo	Tramo 4
11-ago-18	2,2	1,3	1,6	2,4	3,2	5,7	4
25-ago-18	3	2,5	3,4	2,7	5,6	6	4,4
08-sep-18	2,9	3,6	2,5	2,7	5,7	6,5	4
22-sep-18	2,2	2,4	2,6	5,3	4,2	5,9	3,3
13-oct-18	2,9	2,6	2,5	5,3	4,2	5,2	3,6
27-oct-18	3	3,6	2,4	2,7	4,2	4,5	3,8
11-nov-18	2,2	2,5	1,8	5,3	4,2	5,4	5
18-nov-18	2,8	2,4	2,4	5,3	4,5	4,5	3

En la tabla 10 se puede observar que la concentración menor de oxígeno disuelto se presentan en la descarga con 1.3 mg/l en agosto, siendo la más baja de las concentraciones, y en el tramo 1, con 1.6 mg/l en el mes de agosto y noviembre con 1.8 mg/l, en aguas arriba también se presentan niveles bajos de oxígeno disuelto en los meses de agosto, septiembre y noviembre con 2.2 mg/l, en cambio las mayores concentraciones se encuentran en el riachuelo en el mes agosto con 6 mg/l, y 6.5 mg/l, en septiembre y 5.4 mg/l en noviembre. Seguido por el tramo 3 que en agosto y septiembre con 5.6 m/l, y 5.7 mg/l, cabe recalcar que en el tramo 2 en septiembre, octubre y noviembre tiene una concentración de 5.3 mg/l

Gráfico 4. Variación promedio del oxígeno disuelto en el estero Guayji



De acuerdo al gráfico 4, la concentración de OD más baja se presentan en la descarga con 1.9 mg/l en el mes de agosto, por concerniente en el tramo 1, también presenta niveles bajos de oxígeno disuelto con 2.1 mg/l en noviembre, indicando los valores más altos de OD, en el riachuelo con 5.9 mg/l en agosto, y 6.2 mg/l en septiembre, 4.9 mg/l en octubre, y 4.95 mg/l en noviembre.

#### 4.1.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

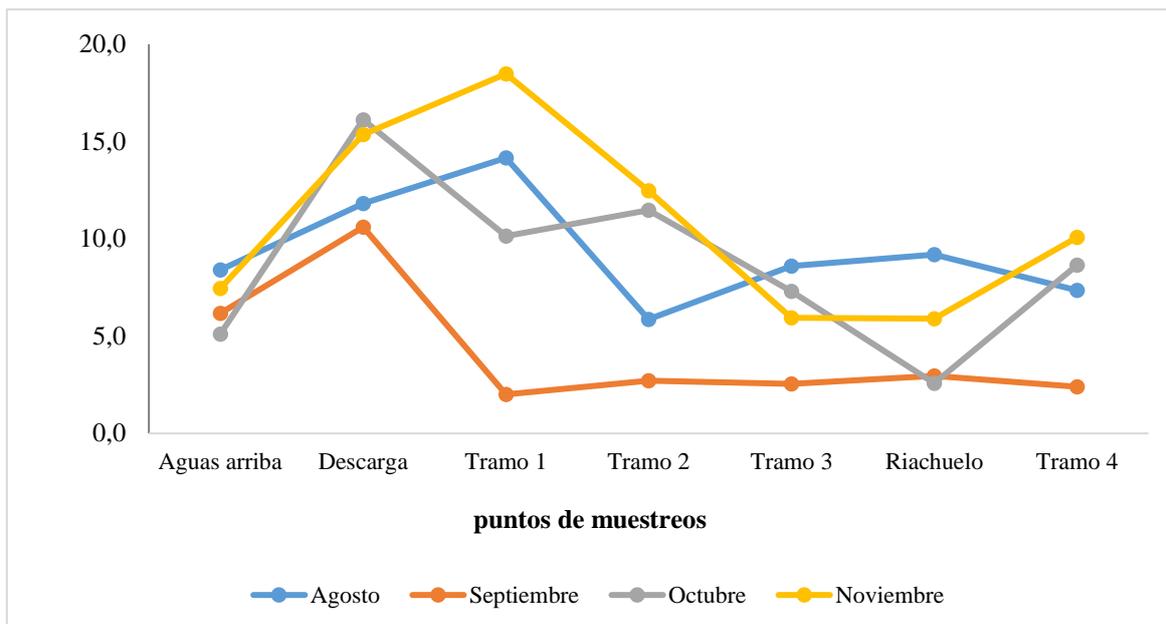
La recepción de muestras que se estableció en cada punto de muestreo, tanto en aguas arriba, descarga principal (canal de aguas residuales sector el Guayacán), tramo1, tramo2, tramo 3, riachuelo y tramo 4,

Tabla 11. DBO5 en el estero Guayjì en mg/l

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Riachuelo	Tramo 4
11-ago-18	8,0	16,1	14,4	6,8	9,6	11,3	5,9
25-ago-18	8,8	7,6	13,9	4,9	7,6	7,1	8,8
08-sep-18	8,6	10,1	1,6	3,2	4,1	0,9	2,8
22-sep-18	3,8	11,1	2,5	2,2	1,0	5,0	2,0
13-oct-18	2,1	13,0	9,2	9,5	5,5	4,2	6,0
27-oct-18	8,1	19,3	11,0	13,5	9,2	1,0	11,3
11-nov-18	9,4	14,8	22,0	10,7	6,8	6,0	9,5
18-nov-18	5,6	15,9	15,0	14,2	5,1	5,8	10,6

Como se indica en la tabla 11, las concentraciones más altas de la DBO se enfocaron en el tramo 1, con la máxima en el mes de noviembre con 22,0 mg/l y con la mínima, 1,65 mg/l en septiembre, seguido con el tramo 2, con 14,2mg/l (máximo) en noviembre y 2,2 mg/l (mínima) en septiembre, en cambio la concentración de la DBO más baja se produjeron en el tramo 3, y riachuelo con 1,0 mg/l en septiembre (t3) y octubre (rchlo). Dentro de la concentración de la descarga el mayor valor está en 19,3 mg/l en octubre y la mínima con 7,6 mg/l en agosto. Por consiguiente, en aguas arriba la concentración mayo es de 9,4 mg/l en noviembre y la menor 2,1 mg/l en octubre.

Gráfico 5. Variación promedio de la DBO5 en el estero Guayjì



La variación de los niveles de DBO se ve reflejada la mayor y menor concentración, se encuentra en el mes de noviembre en el tramo 1. Con 18,5 mg/l, y 2,0 mg/l (menor) en septiembre, por consiguiente dentro de la descarga se encuentran valores altos por ser aguas residuales proveniente del sector el guayacán con, 16,1 mg/l en el mes de octubre, y 15,3 mg/l en noviembre, siendo estas las concentraciones mas altas antes de llegar a la desembocadura, teniendo en cuenta los niveles mas bajos se encuentran en el tramo 3 con una DBO<sub>5</sub> de 2,5 mg/l (septiembre), 5,9 mg/l (noviembre), 7,3 mg/l (octubre), 8,6 mg/l (agosto).

#### 4.1.2.3. pH

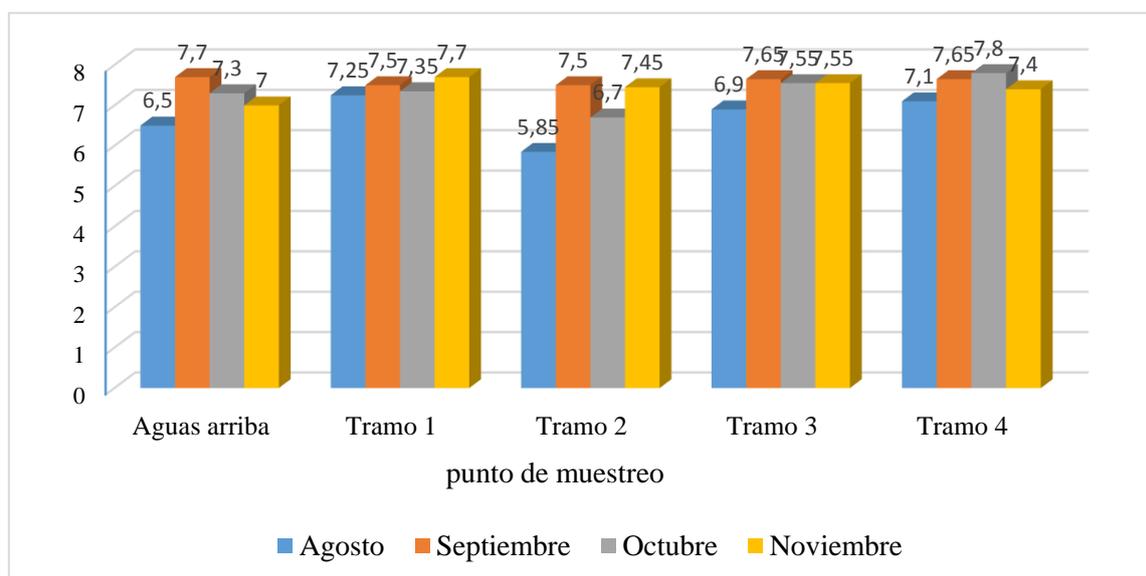
Los valores obtenidos de pH se evaluaron dentro de la tabla 12, como parte de los parámetro he índice de la investigación en los puntos de muestreos, aguas arriba, descarga principal, tramo 1, tramo 2, tramo 3, tributario, tramo 4.

Tabla 12. Valores de pH en el estero Guayjì

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tributario	Tramo 4
11-ago-18	7	7,3	7,2	6,9	7	7,2	7,2
25-ago-18	6	5,3	7,3	4,8	6,8	7,4	7
08-sep-18	7,6	7,6	7,2	7,4	7,5	7,6	7,4
22-sep-18	7,8	8	7,8	7,6	7,8	7,9	7,9
13-oct-18	7,6	5,3	7,2	7,6	7,5	7,4	8,1
27-oct-18	7	7	7,5	5,8	7,6	7,9	7,5
11-nov-18	7	6,2	7,9	7,4	7,6	7,5	7,8
18-nov-18	7	6,3	7,5	7,5	7,5	7,2	7

Como se puede manifestar en la tabla 12, tanto aguas arriba, tramo 1, tramo 3, tributario, tramo 4, se encuentran en un rango de 6 a 8.1 siendo un pH parcialmente neutro (ácido-básico), que dentro de los valores de pH < a 7 se encuentra en la descarga 5,3 mg/l tanto en el mes de agosto y octubre tanto como el tramo 2 con 4,8 pH, en agosto ya que se especula que existe alguna actividad que afecta al pH a los largo del tramo.

Gráfico 6. Variación del pH de la corriente principal del estero Guayjì



En el gráfico 6, se representan los valores del potencial de hidrógeno para cada uno de los respectivos tramos y meses estudiados.

#### 4.1.2.4. Conductividad eléctrica

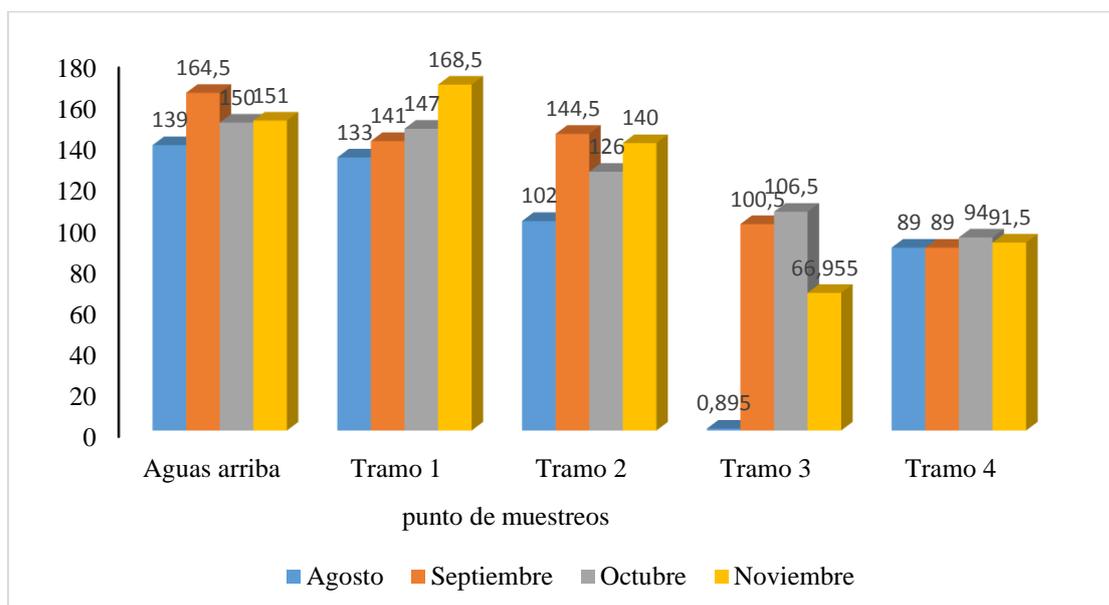
Los valores determinados para la conductividad eléctrica se reflejan para cada punto establecido, aguas arriba, tramo 1, 2, 3, descarga, y tributario.

Tabla 13. Valores de conductividad eléctrica del estero Guayjì

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Riachuelo	Tramo 4
11-ago-18	142	163	153	108	0,97	72	89
25-ago-18	136	150	113	96	0,82	79	89
08-sep-18	164	171	113	164	98	74	88
22-sep-18	165	192	169	125	103	77	90
13-oct-18	164	155	125	132	110	89	90
27-oct-18	136	172	169	120	103	88	98
11-nov-18	146	160	168	134	0,91	98	95
18-nov-18	156	155	169	146	133	90	88

Los valores obtenidos de CE (conductividad eléctrica) se refleja la tabla 13, donde los mayores valores se muestran en la descarga principal con 192  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 171  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el mes de septiembre, 172  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en octubre, ya que las menores CE, reflejan en el tributario con 72  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en agosto y la mayor de 98  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en noviembre. Seguido al tramo 4 con 88  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en noviembre, y 98  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en octubre.

Gráfico 7. Variación promedio de la Conductividad eléctrica de la corriente principal del estero Guayjì



En el gráfico 7, se encuentran los valores promedios más altos de la CE (conductividad eléctrica), se dan en el tramo 1 con 168,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (noviembre), 147  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (octubre), seguido de aguas arriba 164,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para (septiembre), 151  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (noviembre). Ya que los menores valores se registran en el tramo 3 con 0,895  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en (agosto), y 66,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (noviembre).

#### 4.1.2.5. Contantes cinéticas

##### 4.1.2.5.1. Constante de reaireacion ( $k_a$ )

Para la modelización de la calidad del agua se llevó a cabo el cálculo de la constante de aireación ( $k_a$ ) por medio de la aplicación de la ecuación propuesta por Langbeing y Durum (1967). También se aplicaron las ecuaciones empíricas de Owens y Gibbs (1964), O'Connor y Dobbins (1958) y Churchill et al, (1962) dentro de los resultados obtenidos en la tabla 14 se muestran las constantes resultantes de la calibración y por las ecuaciones empíricas.

Tabla 14. Valores calculados y calibrados de la constante de reaireación ( $k_a$ )

Meses	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4	
	<i>Kd calculada</i>	<i>Kd calibrada</i>						
Agosto	0,342	0,368	0,236	0,597	7,62	0,882	2,043	1,137
Septiembre	0,189	0,081	0,173	0,010	29,131	2,223	3,556	0,082
Octubre	0,184	0,124	0,23	1,015	24,5	0,220	3,798	0,066
Noviembre	0,092	0,102	0,157	0,767	11,236	0,495	2,374	0,003

En la tabla 14, se muestran los valores calculados más bajos de la constante de reaireación mediante la fórmula empírica de Langbein y Durum; las demás arrojaban valores muy altos. Por otro lado, los valores calibrados de  $k_a$  indican que el proceso de reaireación de la corriente en el Guayji es muy significativo en el tramo tres, básicamente por ser el tramo de mayor velocidad y menor profundidad. Los tramos lentos y profundos, como el uno y el cuatro, registraron valores bajos de la referida constante.

#### 4.1.2.5.2. Constante de desoxigenación ( $k_d$ )

Los valores calculados de la constante de desoxigenación  $k_d$  se expresaron en términos de profundidad media de los tramos (Hidrosience, 1971). Se reflejan a continuación en la tabla 15.

Tabla 15. Valores calculados y calibrados de la Constante de desoxigenación  $k_d$

Meses	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4	
	<i>Kd calculada</i>	<i>Kd calibrada</i>						
<i>Agosto</i>	0,551	0,046	0,565	0,368	0,655	0,011	0,514	0,179
<i>Septiembre</i>	0,614	0,101	0,64	0,002	1,115	0,449	0,575	0,057
<i>Octubre</i>	0,594	0,105	0,598	0,026	1,114	0,892	0,612	0,493
<i>Noviembre</i>	0,576	0,03	0,58	0,057	0,996	0,706	0,614	0,005

Como se observa, los valores calculados y calibrados más altos de oxidación de materia orgánica ( $k_d$ ) se dan en el tramo 3 y tramo 4 mientras que en el tramo 1 y tramo 2 muestran los valores mas bajos ya que están próximos a la descarga principal.

#### 4.1.2.5.3. Constante de remoción total de la DBO ( $k_r$ )

El cálculo de los valores obtenidos de la remoción total de la DBO, fueron determinadas por la ecuación de sierra (2011), para ser utilizadas en el ajuste inicial del modelo Streeter-Phelps. Expuestos en la tabla 16,

Tabla 16. Valores calculados y calibrados de la constante de remoción total de la DBO ( $k_r$ )

Meses	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4	
	<i>Kd calculada</i>	<i>Kd calibrada</i>						
Agosto	0,520	0,051	-0,179	0,531	1,394	0,020	-	0,201
Septiembre	-	0,499	2,309	0,002	1,488	2,998	-	0,081
Octubre	-	0,148	0,708	0,067	0,021	0,965	0,195	0,574
Noviembre	0,000	0,030	0,634	0,080	0,427	1,101	-	0,005

De acuerdo con los valores mostrados en la tabla 16, se observa que el tramo tres tiende a ser muy diferente con respecto a los demás tramos en términos de la constante de remoción total de la DBO, ya que en el referido tramo se obtuvieron los valores más altos de la constante en tres de los cuatro meses de la investigación, pudiendo explicarse esto por la alta significancia del proceso de sedimentación de la materia orgánica en el tercer tramo. En los demás tramos, el valor de  $k_r$  tiende a ser bajo y acercarse al valor de la constante de desoxigenación, indicando un efecto despreciable de la sedimentación de materia orgánica y, por ende, siendo más importante la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos de desoxigenación.

#### 4.1.2.6. Comportamiento del Oxígeno Disuelto y la Demanda Bioquímica de Oxígeno

En el siguiente apartado se describe el comportamiento del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno a lo largo del estero a partir de los datos obtenidos en la fase de monitoreo para lo cual se detallará este proceso para cada una de las fechas en las que se realizaron los aforos y muestreos correspondientes, donde se irá describiendo las características iniciales del estero aguas arriba, la descarga principal originadas en la 17 de marzo así también con el transcurso de los tramos 1,2,3, tributario ( vía a el empalme ), y tramo 4.

Estas medidas fueron usadas para el cálculo de las condiciones iniciales de cada tramo segmentado en el estero, ya que conforma gran parte fundamental para la modelización de

los niveles de OD y DBO. Se realizó a partir de balances de masas utilizando las medias de los caudales de la descarga puntual.

#### 4.1.2.6.1. Comportamiento del OD y la DBO en el mes de agosto

Se muestran los valores de entradas para el mes de agosto de las cuales fueron ingresados al modelo de Streeter-Phelps para la modelización del OD y la DBO.

Tabla 17. Características de la cabecera, descarga, tributario del mes de agosto

	Q (m <sup>3</sup> /s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (°C)
Corrientes aguas arriba	0,06	10,6	2,6	22,85
Descarga, tramo 1,2,3	0,054	23,6	1,3	23,35
tributario, tramo 4	0,016	8,5	5,85	21,85

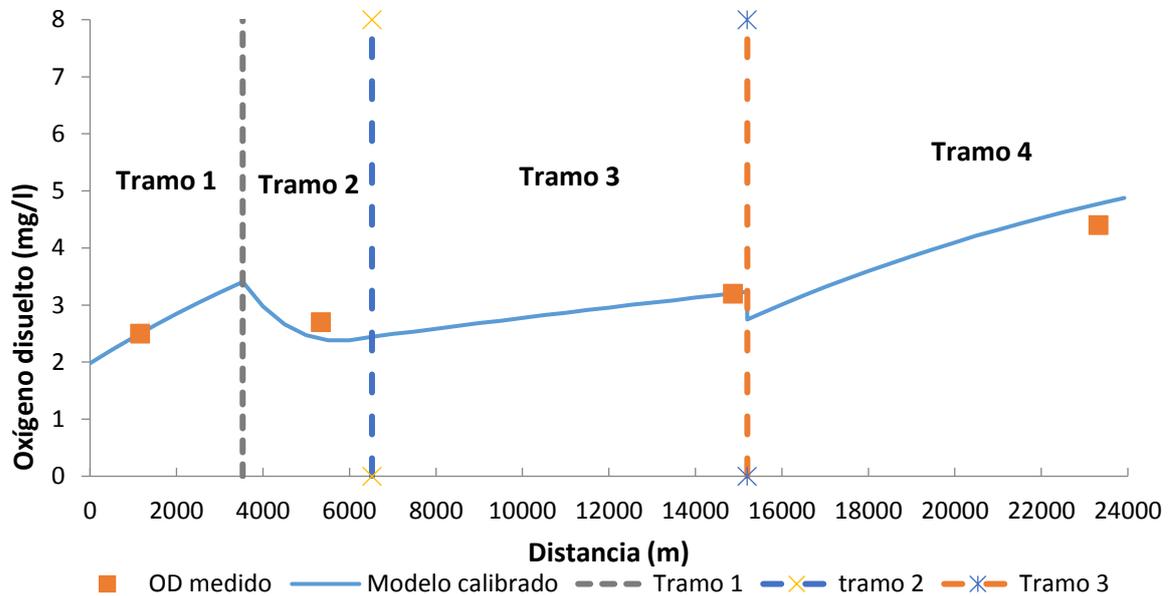
En la tabla 18, se observan las condiciones del comportamiento del oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que tienen como principio tanto datos de temperatura del agua ( $T_0$ ) DBO ultima inicial ( $L_0$ ), el oxígeno disuelto inicial ( $OD_0$ ), oxígeno de saturación ( $OD_{sat}$ ) y el déficit inicial de oxígeno ( $D_0$ ), los cuales fueron fundamental para poder emplear el modelo de Streeter-Phelps, para poder obtener los perfiles de oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno, tanto del ajuste inicial como el modelo calibrado.

Tabla 18. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de agosto

Tramo	$L_0$ (mg/l)	$OD_0$ (mg/l)	$T_0$ (°C)	$OD_{SAT}$ (mg/l)	$D_0$ (mg/l)
1	16,76	1,98	23,09	8,56	6,58
2	15,91	3,4	23,09	8,56	5,16
3	8,62	2,44	23,09	8,56	6,12
4	9,64	3,16	25,78	8,15	5,4

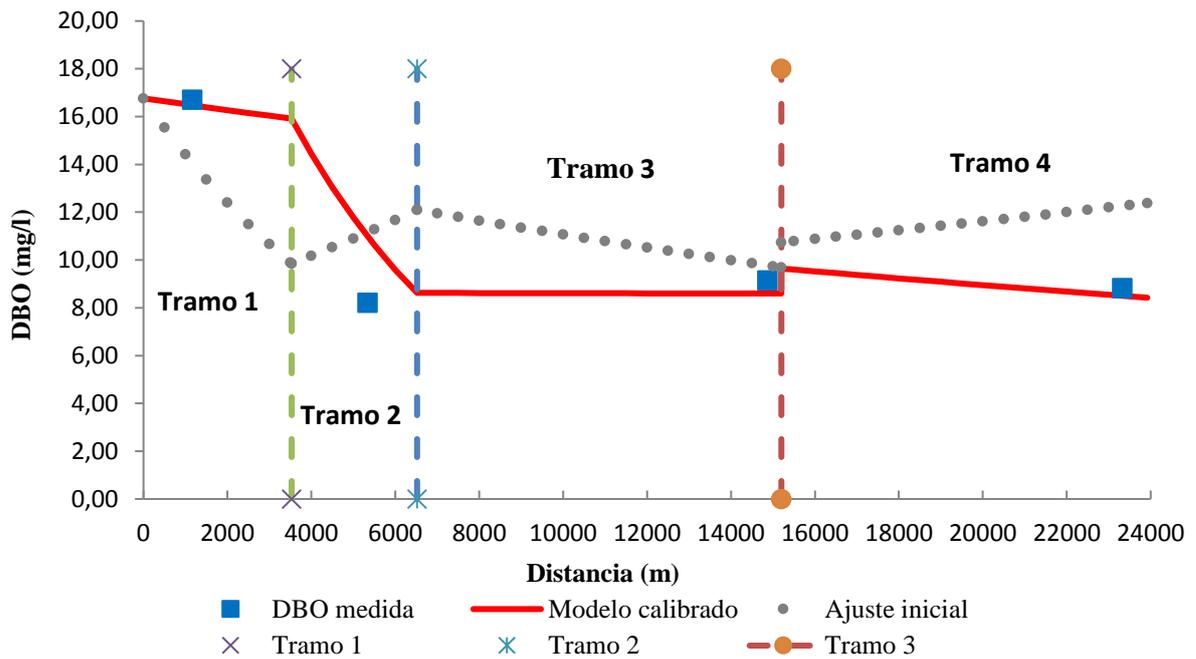
El gráfico 8 representa el perfil del oxígeno disuelto (OD) en el mes de agosto:

Gráfico 8. Perfil de la OD del mes de agosto



La variación del oxígeno disuelto mostrada en el perfil del gráfico 8 revela una recuperación sostenida del oxígeno a lo largo de todo el tramo uno, incrementándose desde 2 mg/l hasta 3,4 mg/l al inicio del tramo dos. Luego, hay un breve descenso del oxígeno hasta un punto crítico (2,38 mg/l a los 5500 m), de modo que se observa la forma de la típica curva sag a lo largo de los tramos dos y tres, puesto que a partir del punto crítico el oxígeno se vuelve a recuperar hasta el inicio del tramo cuatro, a los 15200 m. No obstante, en el inicio del tramo cuatro se produce una pequeña disminución, que luego rápidamente da paso a una nueva reaireación de la corriente hasta alcanzar valores tan altos como 4,88 mg/l a los 23900 m.

Gráfico 9. Perfil de la DBO del mes de agosto.



La variación del perfil la DBO, mostrada en el gráfico 9, revela una ligera disminución de la DBO a lo largo de todo el tramo 1 hasta (3530 m) con una concentración de 15,91 mg/l, cabe recalcar que a esa distancia del inicio del tramo 2 sufre una disminución brusca de la DBO con una concentración de 8,62 mg/l a lo largo del tramo, no obstante seguido de los 6520 m de distancia teniendo los niveles de la DBO estables en todo el tramo 3 y teniendo un breve ligero aumento de la DBO al inicio del tramo 4 teniendo una ligera disminución por el aporte del tributario a lo largo del tramo, hasta llegar a la desembocadura del río Macul.

Tabla 19. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de agosto, %

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
<b>OD</b>	0,02	0,85	3,83	0,03
<b>DBO</b>	1,6	8,19	2,17	0,63

La tabla 19 contiene los resultados del cálculo del error relativo entre los valores observados en campo y los predichos por el modelo calibrado, en donde se observa que el ajuste tanto para el OD como para la DBO, tuvo errores menores al 10 %, tal como lo sugiere la literatura especializada, siendo el error más alto de 8.19 % para la DBO en el tramo 2.

#### 4.1.2.6.2. Comportamiento del OD y la DBO en el mes de septiembre

En la tabla 19 se observan los valores de entrada registradas en la modelización del OD y de la DBO con el modelo matemático Streeter-Phelps, para el mes de septiembre.

Tabla 20. Características de la cabecera, descarga, tributario del mes de septiembre

	Q (m <sup>3</sup> /s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (°C)
<b>Corrientes aguas arriba</b>	0,103	4,52	2,55	26,45
<b>Descarga, tramo 1,2,3</b>	0,014	14,58	3	27,85
<b>tributario, tramo 4</b>	0,029	6	6,2	25,3

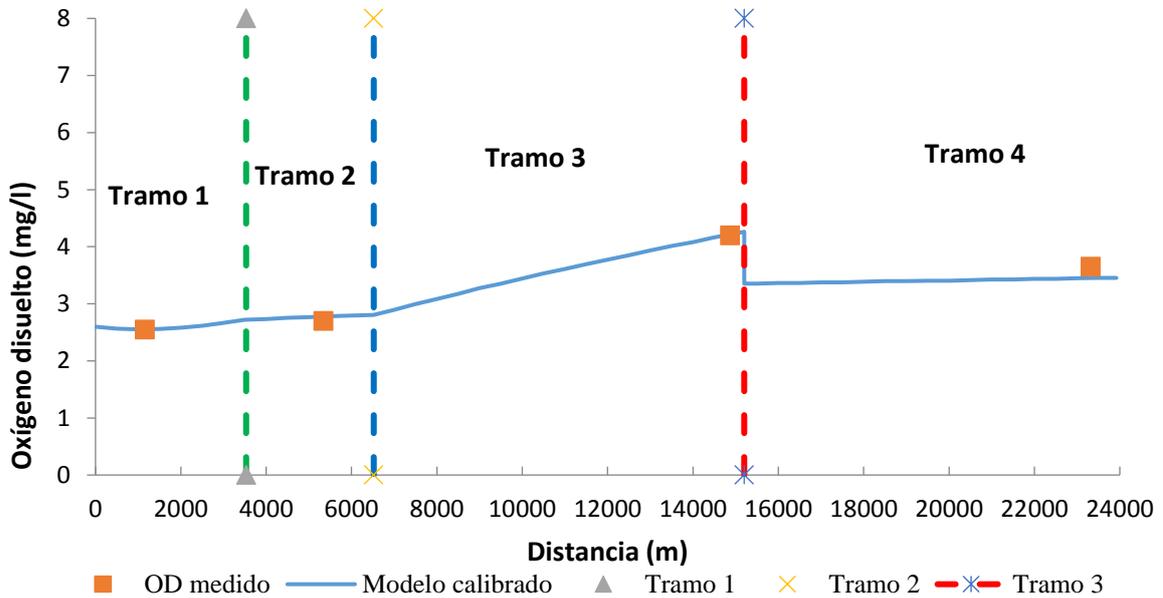
En la tabla 21. Se pueden describir las condiciones iniciales específicas para el mes de septiembre en los diferentes tramos segmentados, que fueron importantes para la aplicación del modelo matemático y poder determinar los resultados de los perfiles del OD y de la DBO, tanto para el ajuste inicial como para el modelo calibrado.

Tabla 21. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de septiembre

Tramo	Lo (mg/l)	OD0 (mg/l)	To (°C)	ODSAT (mg/l)	Do (mg/l)
<b>1</b>	5,76	2,60	26,62	8,02	5,42
<b>2</b>	2,08	2,72	26,62	8,02	5,3
<b>3</b>	2,07	2,8	26,62	8,02	5,22
<b>4</b>	2,46	4,02	31,59	7,36	4

La variación del oxígeno disuelto mostrada en el perfil del gráfico 10 en el mes de septiembre obtiene una breve recuperación del oxígeno a lo largo de todo el tramo uno, incrementándose muy significativamente desde 2,60 mg/l hasta 2,72 mg/l al inicio del tramo dos. Luego, existe una recta que mantiene el oxígeno hasta (2,88 mg/l a los 6520 m), puesto que a partir del punto del inicio del tramo 3 existe un ligero aumento del oxígeno se vuelve a recuperar hasta el inicio del tramo cuatro, a los 15200 m. No obstante, en el inicio del tramo cuatro se produce una pequeña disminución, que luego se mantiene a lo largo del tramo cuatro hasta alcanzar un valor de 3,46 mg/l a los 23900 m.

Gráfico 10. Perfil de la OD del mes de septiembre



En relación con los perfiles de la DBO expuestos en el gráfico 11, existe dentro del tramo uno, una disminución pronunciada de la concentración de la DBO hasta encontrarse con el inicio del tramo dos a los (3530 m con 2.08 mg/l) donde iniciando en el tramo dos se puede observar una recta hasta iniciar el tramo tres a los 6520 m es donde se prolonga una breve disminución hasta el inicio del tramo 4 con 1.28 mg/l teniendo una pequeña elevación de 2,46 mg/l hasta llegar a lo largo del tramo 4.

Gráfico 11. Perfil de la DBO del mes de septiembre

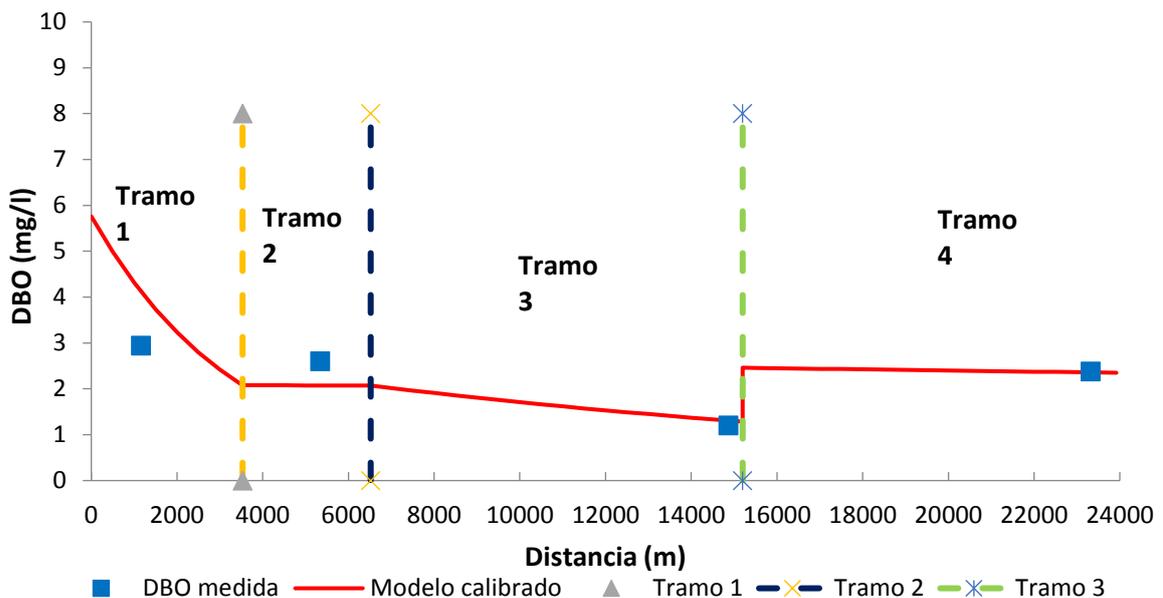


Tabla 22. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de septiembre, %

	<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>	<b>Tramo 4</b>
<b>OD</b>	0,02	2,57	0,31	0,203
<b>DBO</b>	28,65	25,27	8,17	0,92

En la tabla 22 se observan los resultados del cálculo del error relativo entre los valores observados en campo y los predichos por el modelo calibrado, tanto para el OD como para la DBO, obteniendo que el ajuste tuvo errores bajos como altos, que sobrepasan el 10 % como lo describe la literatura especializada, donde el error relativo más alto es de 28.65 % y 25.27% para la DBO tanto en el tramo 1 y 2.

#### **4.1.2.6.3. Comportamiento del OD y la DBO en el mes de octubre**

Se observan valores de entrada que fueron empleados en la modelización del OD y la DBO con el modelo matemático Streeter-Phelps, para el mes de octubre.

Tabla 23. Características de la cabecera, descarga, tributario del mes de octubre

	<b>Q (m3/s)</b>	<b>DBO última (mg/l)</b>	<b>OD (mg/l)</b>	<b>T (°C)</b>
<b>Corrientes aguas arriba</b>	0,052	9,7	2,95	26,45
<b>Descarga, tramo 1,2,3</b>	0,027	28,3	3,1	23,9
<b>tributario, tramo 4</b>	0,02	5	5,2	25,05

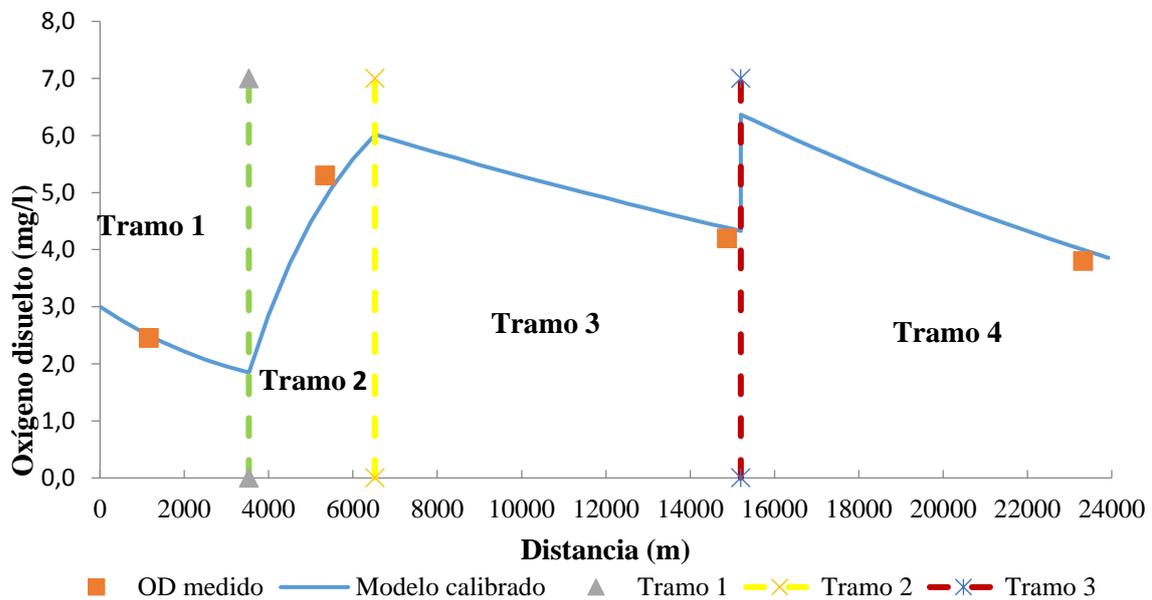
En la tabla 24 se observan las condiciones iniciales para tramo 1,2,3 y 4, para el mes de octubre que fueron importantes para la implementación del modelo matemático y poder obtener tanto los perfiles de oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno, para el ajuste inicial del modelo calibrado.

Tabla 24. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de octubre

Tramo	Lo (mg/l)	OD0 (mg/l)	To (°C)	ODSAT (mg/l)	Do (mg/l)
1	16,06	3,00	25,58	8,18	5,18
2	11,87	1,85	25,58	8,18	6,33
3	10,99	6,02	25,58	8,18	2,16
4	10,02	7,07	30,64	7,48	1,11

Se puede identificar dentro del grafico 12 el perfil de OD para el mes de octubre que se revela una descenso del oxígeno a lo largo de todo el tramo uno, disminuyendo desde 3 mg/l hasta 1,85 mg/l al inicio del tramo dos luego existe un incremento del oxígeno hasta 6,02 mg/l a 6520 m, de modo que se observa un breve descenso del oxígeno puesto que a partir de la disminución existe una recuperación del oxígeno al inicio del tramo cuatro a los 15200 m, No obstante, en el inicio del tramo cuatro se produce una disminución del oxígeno que luego rápidamente da paso a una nueva reaireación de la corriente hasta alcanzar un valor 3,86 mg/l a los 23920 m.

Gráfico 12. Perfil de la OD del mes de octubre



El perfil de la DBO presenta una variación en los niveles que disminuyen a lo largo del estero hasta el inicio del tramo cuatro (Gráfico 13) donde la concentración inicial del tramo uno es de 16.06 mg/l y decrece al inicio del tramo dos a 11,87 mg/l seguido hasta el inicio del tramo cuatro 9 mg/l a 15200 m, no obstante al inicio del tramo cuatro ocurre una pequeña elevación donde da paso a una pequeña disminución hasta alcanzar 6,98 mg/l.

Gráfico 13. Perfil de la DBO del mes de octubre

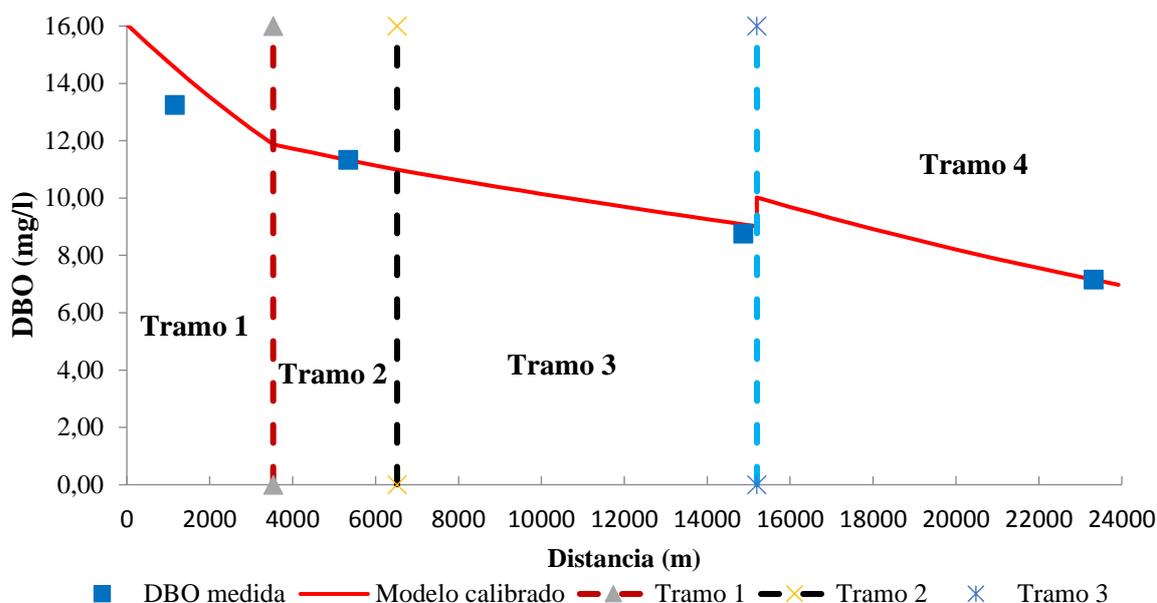


Tabla 25. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de octubre, %

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
<b>OD</b>	4,36	5,25	4,59	7,84
<b>DBO</b>	4,6	2,64	3,93	1,59

En la tabla 25 se observan los resultados arrojados en el cálculo del error relativo entre los valores observados en campo y los predichos por el modelo calibrado para el OD y la DBO del mes de septiembre, donde el ajuste tuvo errores menores, a 10 % tal como lo sugiere la literatura especializada, siendo el error relativo más alto de 7.84 % tanto para el tramo 4 (OD), y 5.25% en el tramo 2.

#### 4.1.2.6.4. Comportamiento del OD y la DBO en el mes de noviembre

En La tabla 26 se observan valores de entrada que fueron empleados en la modelización del OD y la DBO, para el mes de noviembre.

Tabla 26. Características de la cabecera, descarga, tributario del mes de noviembre

	Q (m <sup>3</sup> /s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (°C)
<b>Corrientes aguas arriba</b>	0,029	11,23	2,2	24
<b>Descarga, tramo 1,2,3</b>	0,024	23,4	2,5	24,3
<b>tributario, tramo 4</b>	0,02	7	4,5	24,5

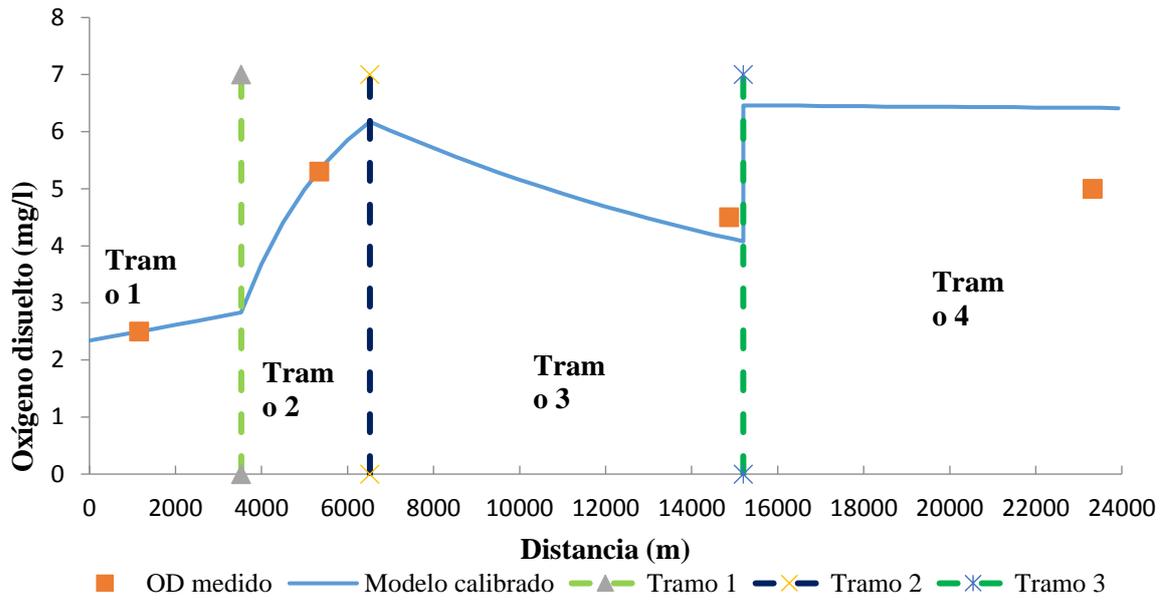
En la tabla 27 se observan las condiciones iniciales para tramo 1,2,3 y 4, para el mes de noviembre que fueron importantes para la implementación del modelo matemático y poder obtener tanto los perfiles de oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno, para el ajuste inicial del modelo calibrado.

Tabla 27. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de noviembre

Tramo	Lo (mg/l)	OD0 (mg/l)	To (°C)	ODSAT (mg/l)	Do (mg/l)
<b>1</b>	16,74	2,34	24,14	8,40	6,06
<b>2</b>	14,81	2,83	24,14	8,4	5,56
<b>3</b>	12,89	6,18	24,14	8,4	2,22
<b>4</b>	10,6	7,41	30,85	7,45	0,99

El perfil de oxígeno mostrado en el gráfico 14 del mes de noviembre revela una breve recuperación del oxígeno a lo largo de todo el tramo uno que inicia de 2,34 mg/l a 2,83 mg/l no obstante al inicio del tramo 2 nuevamente ocurre un incremento a la recuperación del oxígeno al finalizar el tramo dos con 6,18 mg/l, teniendo una ligera disminución del oxígeno hasta el inicio del tramo cuatro, no obstante ocurre una gran recuperación del oxígeno a lo largo del tramo cuatro.

Gráfico 14. Perfil de la OD del mes de noviembre



El perfil de la DBO (Gráfico 15) en la cual muestran disminución de la materia orgánica iniciando con un valor de 16,74 mg/l que lleva a descender hasta el fin del tramo tres con 8,69 mg/l tomando en cuenta que ocurre una pequeña elevación de 10,60 mg/l manteniéndose a todo el tramo cuatro con una mínima disminución de 10,55 mg/l,

Gráfico 15. Perfil de la OD del mes de noviembre

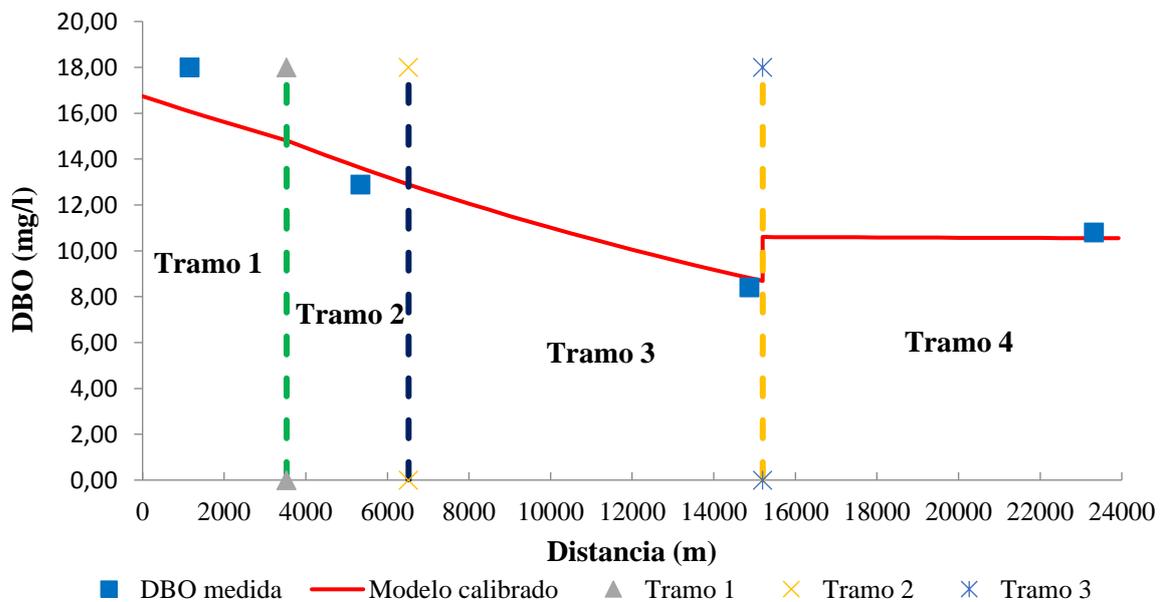


Tabla 28. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de noviembre, %

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
<b>OD</b>	0,13	0,015	2,67	21,66
<b>DBO</b>	9,58	7,48	3,75	0,48

La tabla 28 contiene los resultados del cálculo del error relativo entre los valores observados en la corriente y los predichos por el modelo calibrado, tanto para el OD como para la DBO, señalando que el ajuste tuvo errores menores al 10 % como errores que sobrepasan a lo que sugiere la literatura especializada, que es del 10% siendo el error relativo más alto de 21.66 % el tramo 4 para la OD.

#### 4.1.2.6.5. Análisis de rendimiento

Las tablas 29 y 30 muestran los resultados del análisis de rendimiento aplicado al modelo calibrado de Streeter-Phelps para el estero Guayji, en términos del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y del índice de Nash Sutcliffe, para los cuatro meses de extensión del trabajo y cada uno de los tramos en que se dividió la corriente:

Tabla 29. Rendimiento del modelo de Streeter-Phelps con respecto al OD

Tramo	Origen datos	Meses				Media	Error	
		AGOS	SEP	OCT	NOVI		NSE	R2
T1	Medición	2,50	2,55	2,50	2,50	2,51	0,942	0,961
	Predicción	2,51	2,55	2,50	2,50	2,52		
T2	Medición	2,70	2,70	5,30	5,30	4,00	0,953	0,977
	Predicción	2,4	2,77	4,92	5,33	3,86		
T3	Medición	3,20	4,20	4,20	4,50	4,03	0,823	0,836
	Predicción	3,2	4,21	4,39	4,14	3,99		
T4	Medición	4,4	3,65	3,80	5,00	4,21	-1,306	0,974
	Predicción	4,78	3,45	4,00	6,42	4,66		
Media	Medición	3,20	3,28	3,95	4,33			
	Predicción	3,22	3,25	3,95	4,60			
Error	NSE	0,715	0,972	0,809	0,402			
	R2	0,981	0,979	0,951	0,803			

Tabla 30. Rendimiento del modelo de Streeter-Phelps con respecto a la DBO

Tramo	Origen datos	Meses				Media	Error	
		AGOS	SEP	OCT	NOVI		NSE	R2
T1	Medición	16,70	2,94	13,25	18,00	12,72	0,951	0,967
	Predicción	16,48	4,12	14,54	16,08	12,81		
T2	Medición	8,21	2,60	11,34	12,89	8,76	0,847	0,924
	Predicción	10,98	2,07	11,33	13,62	9,50		
T3	Medición	9,14	1,20	8,77	8,40	6,88	0,985	0,987
	Predicción	8,59	1,31	9,08	8,82	6,95		
T4	Medición	8,82	2,38	7,16	10,80	7,29	0,996	0,999
	Predicción	8,50	2,36	7,15	10,55	7,14		
Media	Medición	10,72	2,28	10,13	12,52			
	Predicción	11,14	2,47	10,53	12,27			
Error	NSE	-7,026	-0,686	-0,760	-3,397			
	R2	0,846	0,668	0,982	0,951			

En relación con el oxígeno disuelto, se determinó un ajuste alto en todos los tramos (con valores de  $R^2$  muy cercanos a 1), siendo el primer tramo el de mejor ajuste ( $R^2=1$ ), y el tramo tres el de menor rendimiento ( $R^2=0,84$ ). En el contexto de los meses de la investigación, el modelo de Streeter-Phelps hizo una buena predicción de los valores de campo de oxígeno disuelto, obteniéndose el mejor ajuste en el mes de agosto ( $R^2=0,98$ ), y el menor ajuste en el mes de noviembre ( $R^2=0,80$ ).

Por otro lado, con respecto a la DBO, el modelo de Streeter-Phelps predijo los valores de campo con valores de  $R^2$  superiores a 0,92 en los tramos. No obstante, tomando en cuenta los resultados para los meses, el mejor ajuste se obtuvo en el mes de octubre ( $R^2=0,98$ ), y el menor ajuste en el mes de septiembre ( $R^2=0,67$ ).

### 4.1.3. Simulación de la calidad del agua del estero Guayjì con QUAL2K

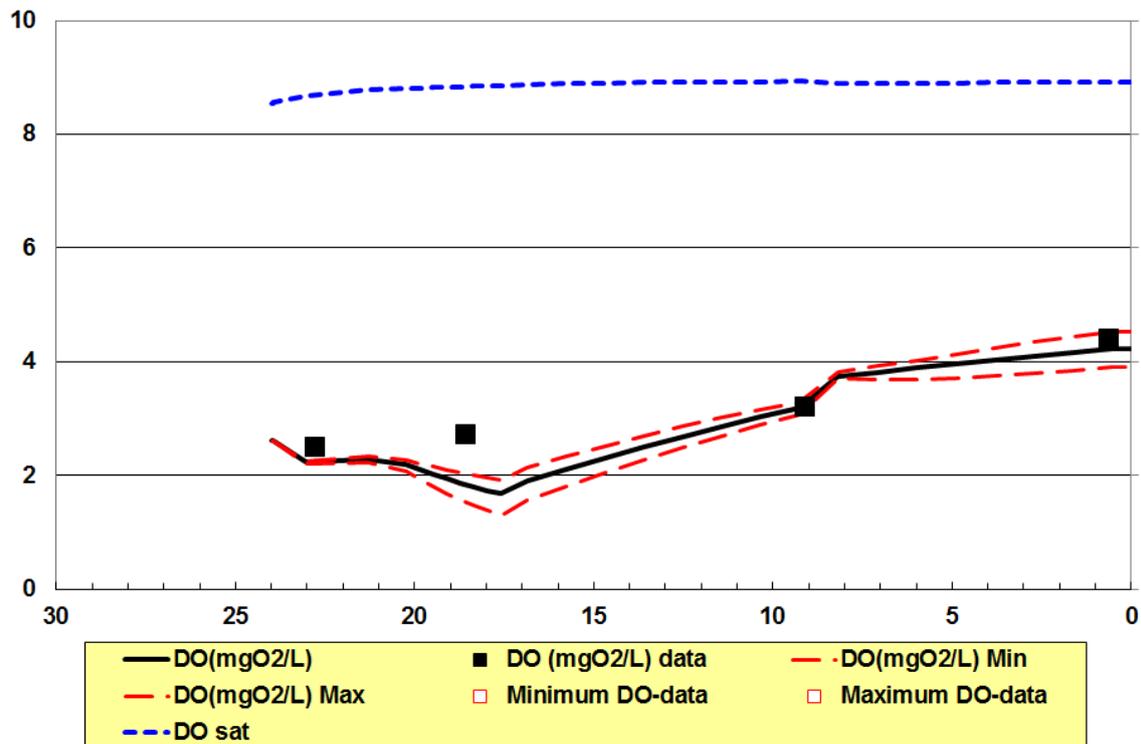
Para la simulación de la calidad del agua del estero Guayjì mediante el uso del software QUAL2K, se utilizaron los valores obtenidos de las constantes cinéticas de reaeración  $k_a$  desoxigenación  $k_d$  y de remoción total de la DBO  $k_r$ , mediante la calibración del modelo matemático de Streeter-Phelps.

Cabe recalcar que también, la información de las características hidromorfológicas y geométricas del estero, que fueron aplicados anteriormente en el modelo, para finalmente hacer correr el programa y obtener los gráficos que muestran los puntos respectivos (4 puntos) con sus valores observados en la fase de campo para cada tramo y la curva de variación predicha por el programa.

#### 4.1.3.1. Simulación del OD y la DBO en el mes de agosto

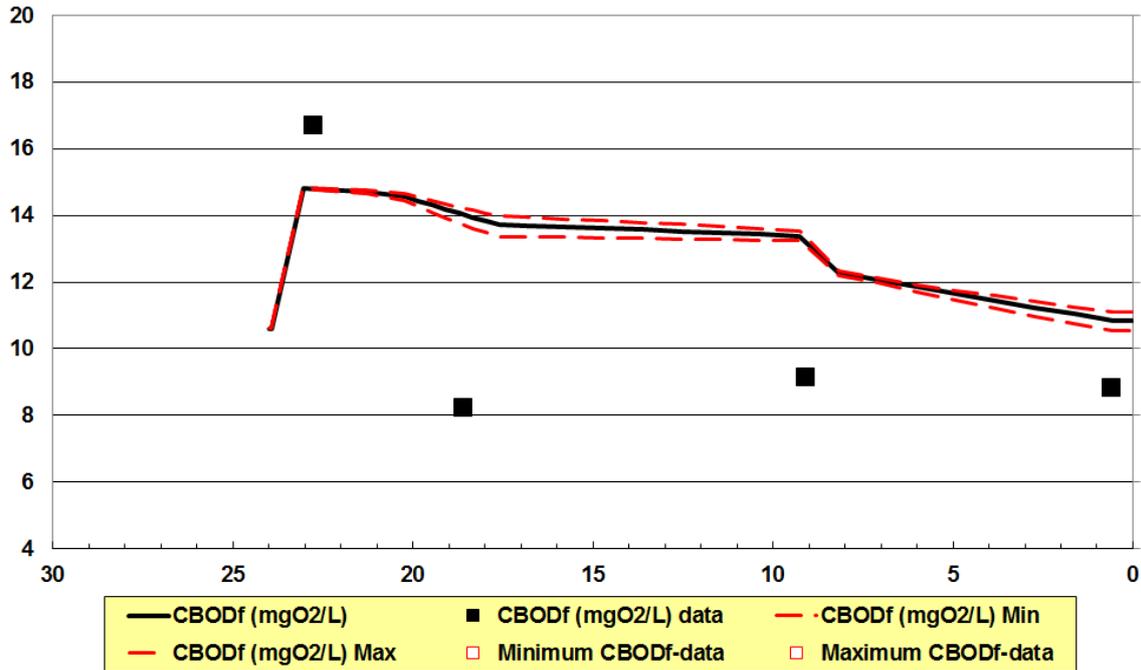
La simulación de la calidad del agua del OD y la DBO a través del programa QUAL2K para el mes de agosto, se muestra en los gráficos 16 y 17 respectivamente

Gráfico 16. Simulación del OD con QUAL2K del mes de agosto



En el mes de agosto, el gráfico 16 muestra que la simulación con QUAL2K tuvo un buen ajuste de los valores de oxígeno disuelto medidos en la corriente; no obstante, se observa una menor precisión en la predicción del punto correspondiente al punto de muestreo en el tramo dos.

Gráfico 17. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de agosto

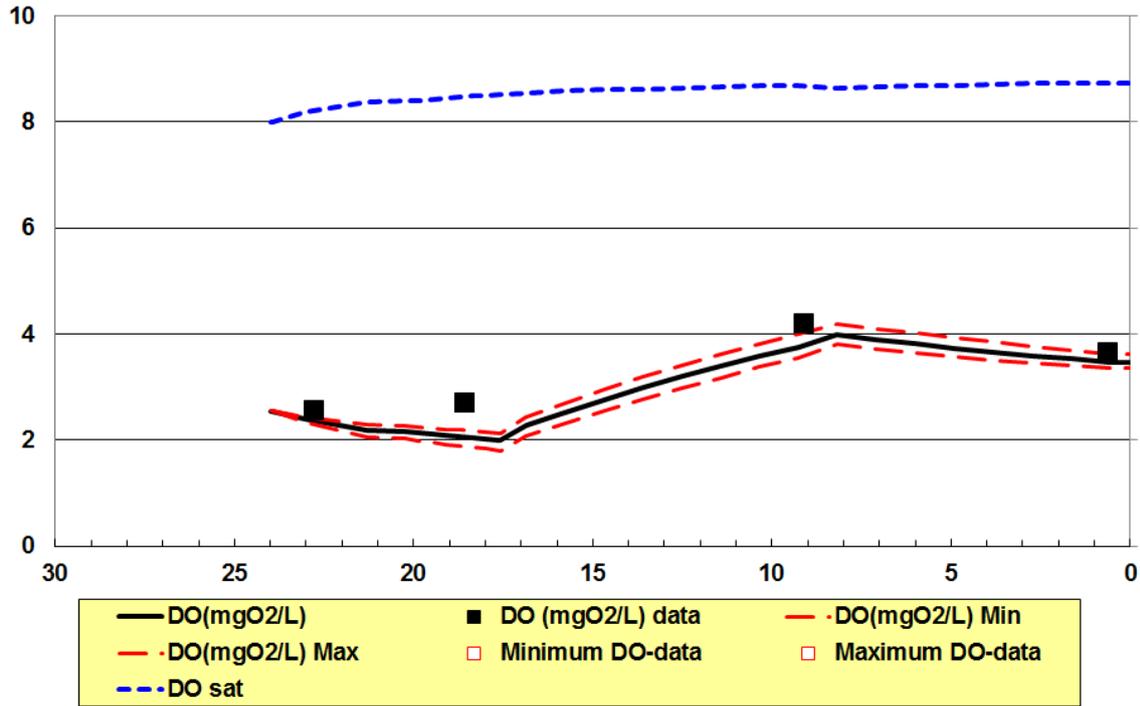


La simulación de la DBO con QUAL2k en el mes de agosto resultó en un ajuste caracterizado por la sobreestimación de la concentración de DBO en los diferentes puntos de muestreo; no obstante, la predicción de los valores observados es un poco mejor en los tramos uno y cuatro.

#### 4.1.3.2. Simulación del OD y la DBO en el mes de septiembre

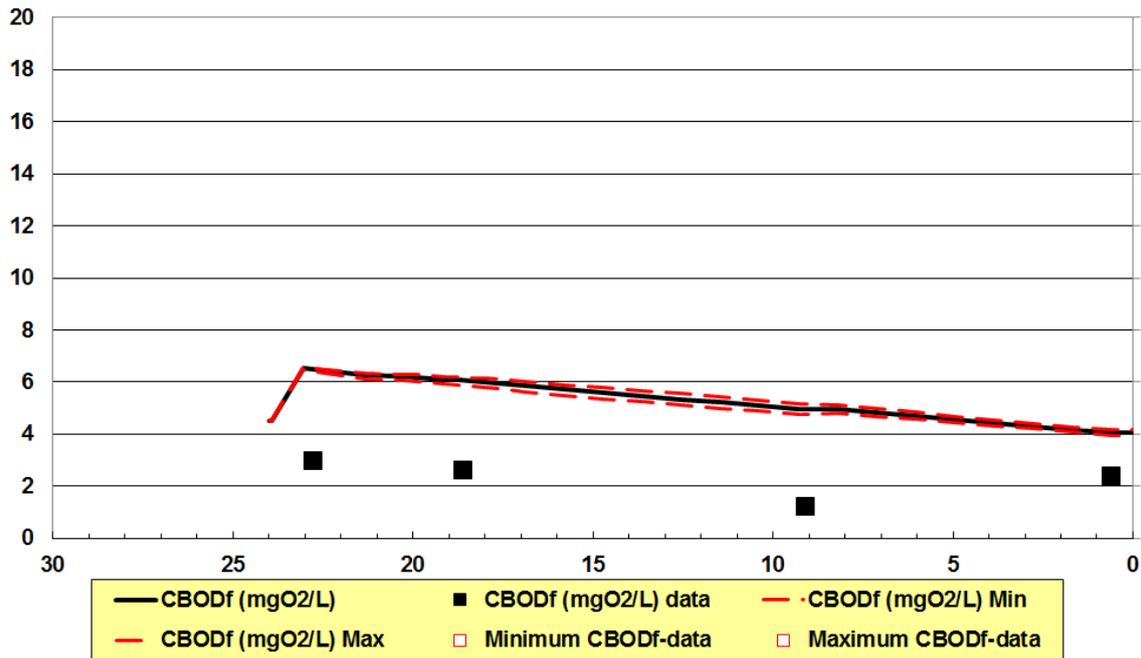
La simulación del OD y de la DBO con QUAL2K para el mes de septiembre, se observa en los gráficos 18 y 19 respectivamente:

Gráfico 18. Simulación del OD con QUAL2K del mes de septiembre



En el mes de septiembre, el gráfico 18 muestra que la simulación con QUAL2K tuvo un buen ajuste de los valores de oxígeno disuelto medidos en la corriente; no obstante, se observa una menor precisión en la predicción del punto correspondiente al punto de muestreo en el tramo dos y tres.

Gráfico 19. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de septiembre

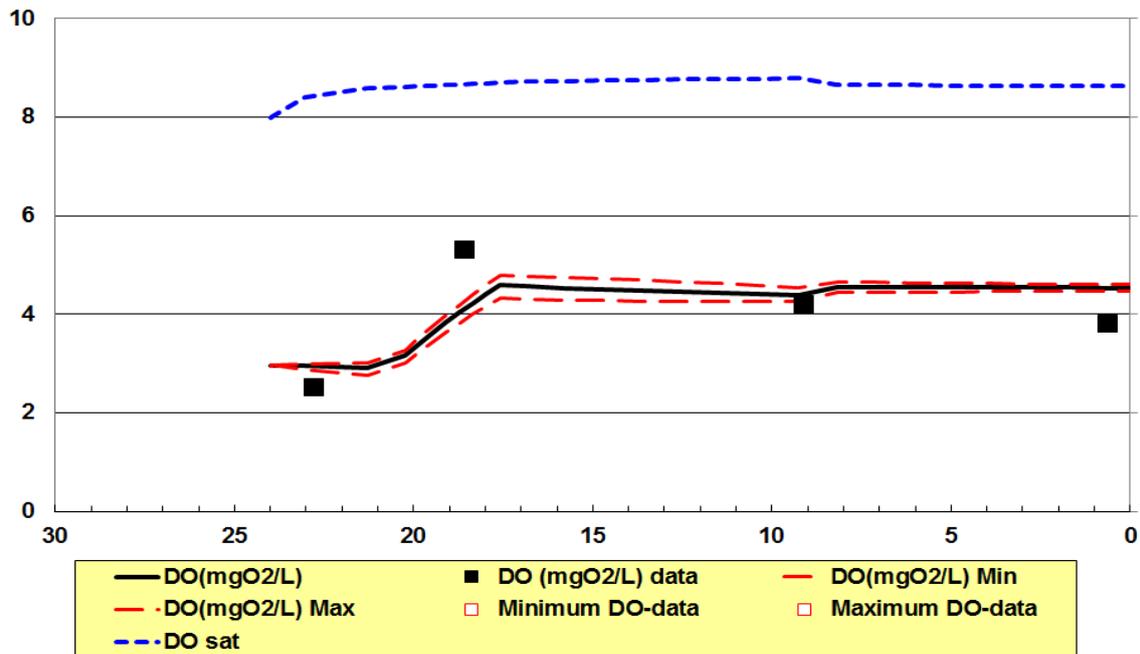


La simulación de la DBO con QUAL2k en el mes de septiembre resultó en un ajuste caracterizado por la sobreestimación de la concentración de DBO en los diferentes puntos de muestreo; no obstante, la predicción de los valores observados es un poco mejor en los tramos uno y cuatro.

### 4.1.3.3. Simulación del OD y la DBO en el mes de octubre

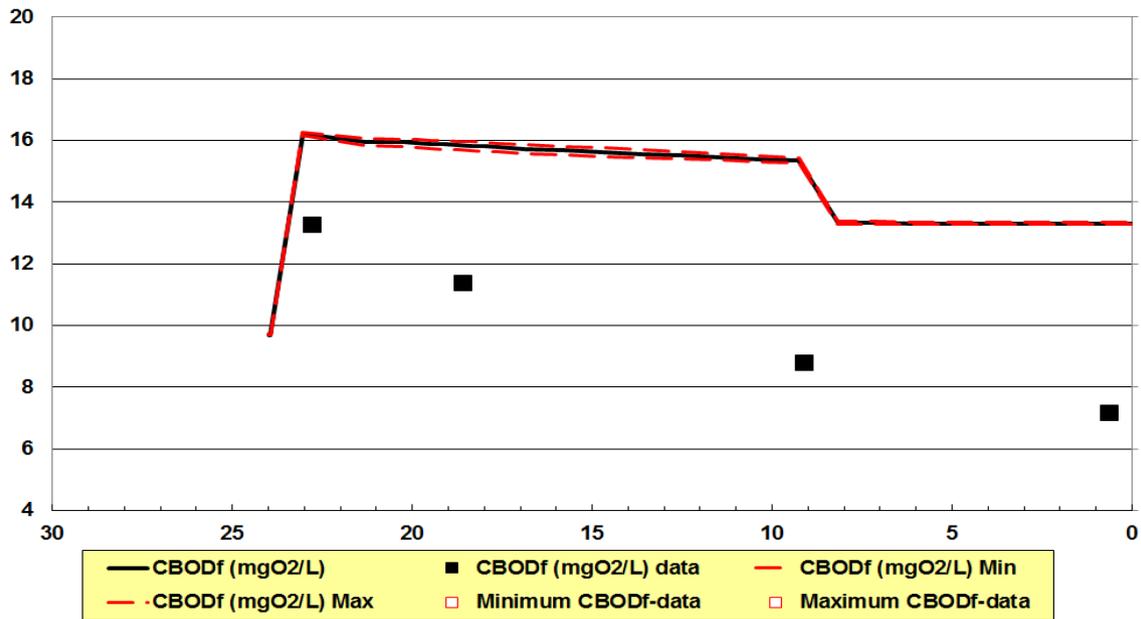
La simulación con QUAL2K en términos del OD y la DBO, se muestran en los gráficos 20 y 21, correspondiente al mes de octubre:

Gráfico 20. Simulación del OD con QUAL2K del mes de octubre



En el mes de octubre, el gráfico 20 muestra que la simulación con QUAL2K tuvo un buen ajuste de los valores de oxígeno disuelto medidos en la corriente; no obstante, se observa una menor precisión en la predicción del punto correspondiente al punto de muestreo en el tramo dos.

Gráfico 21. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de octubre

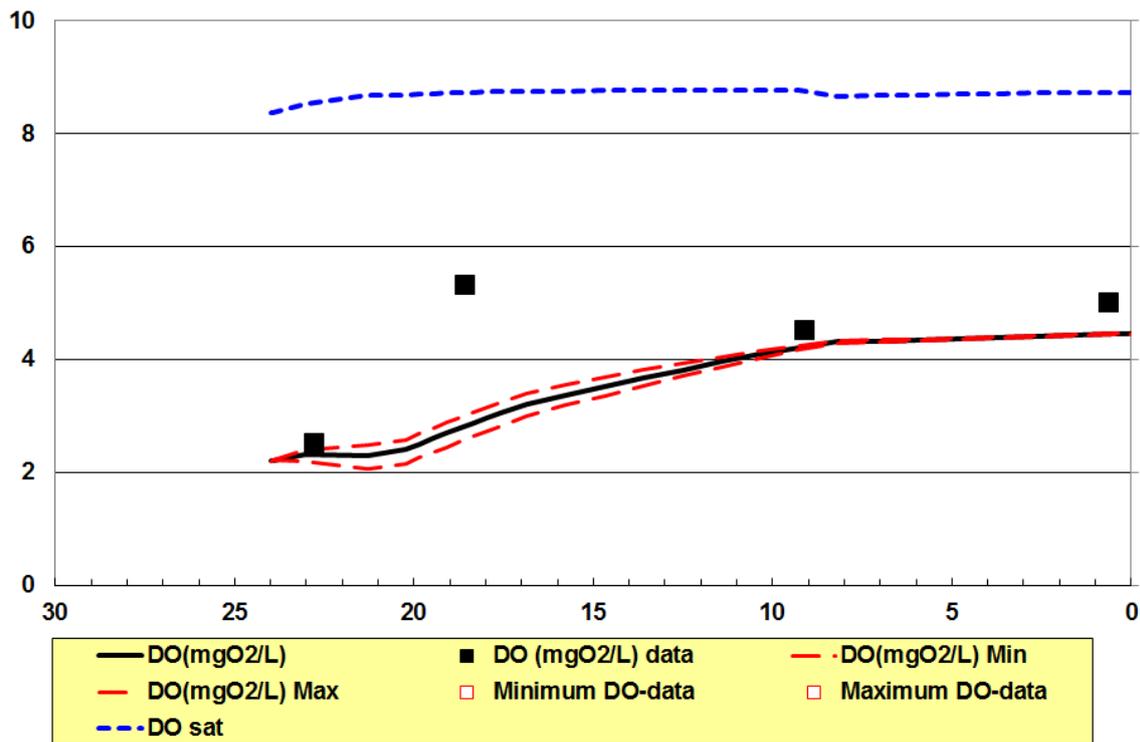


La simulación de la DBO con QUAL2k en el mes de octubre resultó en un ajuste caracterizado por la sobreestimación de la concentración de DBO en los diferentes puntos de muestreo; no obstante, la predicción de los valores observados es un poco mejor en el tramo uno.

#### 4.1.3.4. Simulación del OD y la DBO en el mes de noviembre

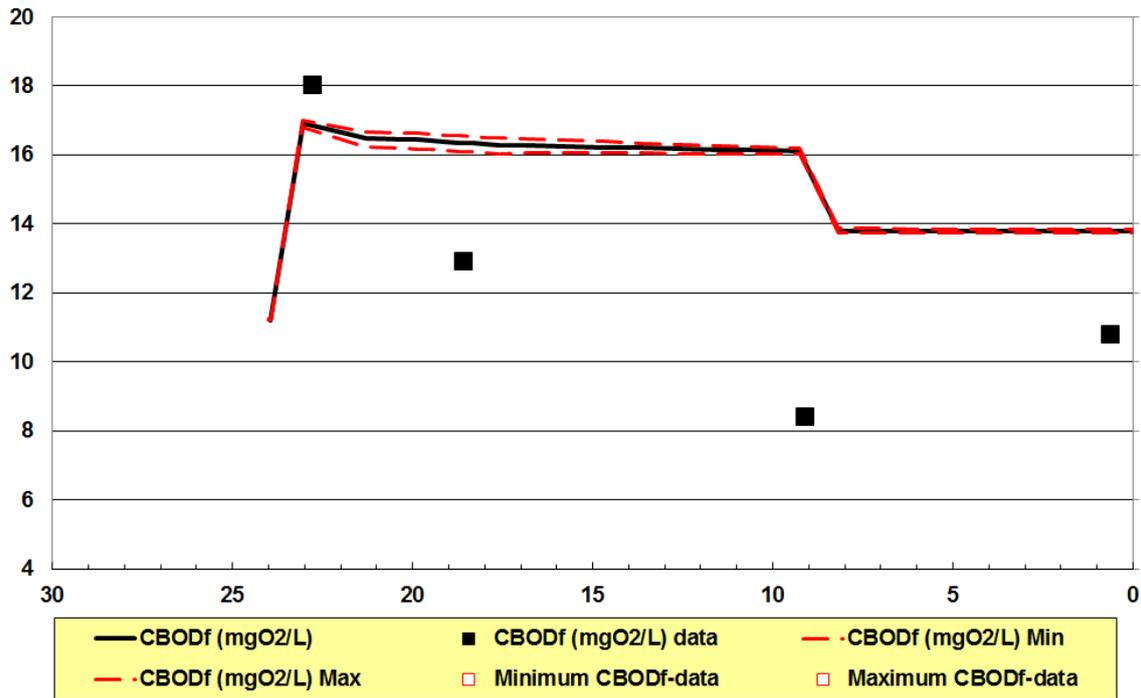
La simulación del OD y la DBO correspondiente al mes de noviembre mediante QUAL2K, se manifiestan en los gráficos 22 y 23:

Gráfico 22. Simulación del OD con QUAL2K del mes de noviembre



En el mes de noviembre, el gráfico 22 muestra que la simulación con QUAL2K tuvo un buen ajuste de los valores de oxígeno disuelto medidos en la corriente; no obstante, se observa una menor precisión en la predicción del punto correspondiente al punto de muestreo en el tramo uno, tres, cuatro.

Gráfico 23. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de noviembre



La simulación de la DBO con QUAL2k en el mes de noviembre resultó en un ajuste caracterizado por la sobreestimación de la concentración de DBO en los diferentes puntos de muestreo; no obstante, la predicción de los valores observados es un poco mejor en el tramo uno.

Tabla 31. Valores calibrados de las constantes cinéticas en QUAL2K vs Streeter-Phelps

Constante cinética	Tramos	Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre	
		Streeter-Phelps	Qual2k	Streeter-Phelps	Qual2k	Streeter-Phelps	Qual2k	Streeter-Phelps	Qual2k
$K_a$	T1	0,368	0,228	0,081	0,135	0,124	0,625	0,102	0,521
	T2	0,597	0,335	0,010	0,100	1,015	2,110	0,767	0,767
	T3	0,882	0,582	2,223	1,250	0,220	0,122	0,495	0,500
	T4	1,137	1,001	0,082	0,225	0,066	0,002	0,003	0,088
$K_d$	T1	0,046	0,081	0,105	0,420	0,093	0,093	0,030	0,125
	T2	0,368	0,524	0,002	0,330	0,026	0,026	0,057	0,056
	T3	0,011	0,011	0,449	0,41	0,892	0,011	0,706	0,075
	T4	0,179	0,179	0,057	0,585	0,493	0,001	0,005	0,002
$K_r$	T1	0,051	0,082	0,499	0,520	0,148	0,148	0,030	0,250
	T2	0,531	0,602	0,002	0,410	0,067	0,067	0,080	0,070
	T3	0,02	0,022	2,998	0,515	0,965	0,060	1,101	0,020
	T4	0,201	0,201	0,081	0,610	0,574	0,003	0,005	0,003

La tabla 31 muestra los valores que se tuvo que asignar a la constante cinética en la simulación con Qual2k para mejorar el análisis de rendimiento tales valores se presentan en comparación con los empleados previamente en la calibración del modelo de Streeter Phelps para indicar las diferencias.

#### 4.1.3.5. Análisis de rendimiento

Las tablas 32 y 33 muestran los resultados del análisis de rendimiento aplicado al modelo calibrado de Qual2K para el estero Guayjì, en términos del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y del índice de Nash Sutcliffe, para los cuatro meses de extensión del trabajo y cada uno de los tramos en que se dividió la corriente:

Tabla 32. Rendimiento del modelo de Qual2k con respecto al OD

Tramo	Origen datos	Meses				Media	Error	
		AGOS	SEP	OCT	NOVI		NSE	R2
T1	Medición	2,50	2,55	2,50	2,50	2,51	-	0,158
	Predicción	2,60	2,40	2,95	2,32	2,57	154,578	
T2	Medición	2,70	2,70	5,30	5,30	4,00	-0,267	0,809
	Predicción	1,67	2,00	4,59	3,21	2,87		
T3	Medición	3,20	4,20	4,20	4,50	4,03	0,665	0,762
	Predicción	3,18	3,76	4,39	4,21	3,89		
T4	Medición	4,4	3,65	3,80	5,00	4,21	-0,095	0,146
	Predicción	4,02	3,66	4,54	4,39	4,15		
Media	Medición	3,20	3,28	3,95	4,33			
	Predicción	2,87	2,96	4,12	3,53			
Error	NSE	-0,266	0,294	0,120	-3,571			
	R2	0,736	0,877	0,740	0,510			

Tabla 33. Rendimiento del modelo de Qual2k con respecto al DBO

Tramo	Origen datos	Meses				Media	Error	
		AGOS	SEP	OCT	NOVI		NSE	R2
T1	Medición	16,70	2,94	13,25	18,00	12,72	0,569	0,572
	Predicción	10,60	6,53	16,22	16,94	12,57		
T2	Medición	8,21	2,60	11,34	12,89	8,76	-0,319	0,954
	Predicción	13,73	5,97	15,78	16,27	12,94		
T3	Medición	9,14	1,20	8,77	8,40	6,88	-2,407	0,910
	Predicción	13,39	4,97	15,35	16,12	12,46		
T4	Medición	8,82	2,38	7,16	10,80	7,29	-0,491	0,826
	Predicción	11,44	4,41	13,31	13,80	10,74		
Media	Medición	10,72	2,28	10,13	12,52			
	Predicción	12,29	5,47	15,17	15,78			
Error	NSE	-84,897	-39,876	-73,730	-71,337			
	R2	0,580	0,355	0,795	0,259			

En relación con el oxígeno disuelto, se determinó un ajuste alto en todos los tramos (con valores de  $R^2$  muy cercanos a 1), siendo el segundo tramo el de mejor ajuste ( $R^2=2$ ), y el tramo cuatro el de menor rendimiento ( $R^2=0.146$ ). En el contexto de los meses de la investigación, el modelo de Qual2K hizo una buena predicción de los valores de campo de oxígeno disuelto, obteniéndose el mejor ajuste en el mes de septiembre ( $R^2=0,877$ ), y el menor ajuste en el mes de noviembre ( $R^2=0,510$ ).

Por otro lado, con respecto a la DBO, el modelo de Qual2k predijo los valores de campo con valores de  $R^2$  superiores a 0,57 en los tramos. No obstante, tomando en cuenta los resultados para los meses, el mejor ajuste se obtuvo en el mes de octubre ( $R^2=0,795$ ), y el menor ajuste en el mes de noviembre ( $R^2=0,259$ ).

## 4.2. Discusión

El caudal de la corriente principal disminuye de agosto a noviembre significativamente, lo cual se le atribuye a la influencia de la época de estiaje en estos meses, presentándose los caudales máximo y mínimo en el mes de agosto y septiembre con un valor promedio de  $0,203 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $0,005 \text{ m}^3/\text{s}$ , se presentaron datos similares a Cunha Meneses et respectivamente. Fueron determinadas y probadas en tres segmentos durante dos temporadas (verano e invierno). Se utilizó el modelo Streeter-Phelps la simulación del proceso de purificación. Los valores más altos de  $k_d$  y  $k_a$  ocurrieron durante el período invernal, que se caracterizó por menores a mayores caudales (de  $0.09$  a  $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ ) [23].

La velocidad que se obtuvieron a medida que se realizó el estudio de campo, se demostró que las mayores velocidades se mostraron en el mes de agosto y septiembre del tramo 3 con valores de  $0,63 \text{ m/s}$  y las inferiores de  $0,01 \text{ m/s}$  registrado en el tramo 2, valores similares reflejaron Arana y Sánchez 2016 dentro de su investigación tanto en época seca como lluviosa, que obtuvieron velocidades que se observa que en el mes de octubre (época seca) una velocidad mayor de  $0,55 \text{ m/s}$  en el punto de descarga proveniente del sector Guayacán, a su vez en el mismo punto de muestreo para el mes de febrero también se obtuvo una velocidad alta de  $0,79 \text{ m/s}$ , por consiguiente en los tramos uno, dos, tres y cuatro se dieron velocidades promedio entre  $0,09 \text{ m/s}$  a  $0,24 \text{ m/s}$  [22].

Dentro de las profundidades obtenidas en el estudio se demuestra que las profundidades mayores se reflejan en el tramo 1 con  $70 \text{ cm}$  en el mes de octubre ya que existía un tipo de represa a  $50$  metros del punto, y se obtuvo un profundidad menor mostrado en el tramo 3 de  $0,11 \text{ cm}$  en el mes de septiembre, profundidades similares mostraron Arana y Sánchez 2016 en la época seca, dentro tributario principal y el punto de descarga presentaron profundidades inferiores a  $15 \text{ cm}$ , en aguas arriba se notaron profundidades altas en todo el tiempo de investigación con valores desde  $75 \text{ cm}$  en el mes de octubre hasta  $84 \text{ cm}$  en el mes de febrero [22].

Los valores de oxígeno disuelto se incrementaron secuencialmente en cada uno de los tramos tramos, oscilando entre  $1,9 \text{ mg/l}$  y  $6,2 \text{ mg/l}$  durante la época seca, Un esquema similar de variabilidad estacional del oxígeno disuelto presentó Arana y Sánchez 2016 que Las mayores concentraciones de oxígeno disuelto se presentan en la época lluviosa que corresponden al mes de enero y febrero con niveles de  $5$  a  $6 \text{ mg/L}$ , a diferencia de los meses de octubre noviembre y diciembre (época seca) con menores concentraciones que varían de  $1$  a  $5 \text{ mg/L}$ .

Como indica Leo Rodríguez y Oliva Atiaga en el año 2013 ellos determinan los valores de OD y presentaron una tendencia uniforme que se incrementó desde 7.1 mg/L hasta 9.42 mg/L en el punto final del tramo modelado, debido a la relativa disminución en la aportación de materia orgánica oxidable mientras continúan los procesos de oxigenación en el río. Un esquema parecido fue determinado por Moreno & Escobar, quienes en su estudio determinaron los coeficientes de oxigenación y desoxigenación para la curva de comportamiento de oxígeno disuelto en el río Fucha, asimismo obtuvieron que en los perfiles de OD, se daba una disminución notoria de las concentraciones hasta alcanzar niveles negativos en su cuenca baja, acotando que se le atribuye a las conexiones de vertimientos con gran carga contaminante que hacen al cauce principal a partir de este punto y en el transcurso de todo su recorrido [22] [25] [38]

Las concentraciones más altas de  $DBO_5$  se reportaron en el Sector la virginia uno, explícitamente tramo uno del segmento estudiado, cuyo promedio era de agosto 14,2 mg/l, y aumentando noviembre a 18,5 mg/l, Existe una tendencia entre los cuatro tramos de modelización donde la concentración de  $DBO_5$  disminuye y aumenta a medida que la corriente avanza por motivo de lluvias prolongadas durante los muestreos. Es decir, en el tramo 2, se obtuvieron valor promedio de mayor a menor es 11,5mg/l y 12,5 mg/l (octubre, noviembre); así mismo, en el tramo 3 se registraron valores que decrecieron de 8,6 mg/l y 7,5 mg/l; mientras, que en el tramo 4, de 8,7mg/l y 10,1 mg/l, aumenta debido al aporte de una fuente agua superficial. Estos datos son similares a los reportados por López, Chiejine et al., Rodríguez et al. y Rodríguez atiaga et; quienes concluyeron que en época estiaje la  $DBO_5$  incrementa debido a que el caudal del cauce disminuye y pierde su capacidad de autodepuración [39] [40] [41] [25]

cómo se deduce en el estudio del estero Guayjì referente al pH se muestran rangos de 4,8 mg/l del tramo 2 en agosto a 8,1 mg/l en el mes de octubre un proyecto de investigación con valores similares mostraron Zambrano y Coello que obtuvieron datos que por lo general el estero se caracteriza por tener un potencial de hidrógeno parcialmente neutro según lo descrito en el Anexo 1 del libro VI del TULSMA, ya que se obtuvieron valores que se encuentran en un rango de 6,5 a 9, con ciertas excepciones como el 29 de Octubre donde el tramo 2 y 3 mostraron niveles de pH menores. A su vez, el tramo 1 presentó valores de 5 en la época lluviosa [42]

la conductividad eléctrica indicada en el estudio demuestra que los valores disminuyen a lo largo del estero siendo la CE, 192  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 171  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el mes de septiembre, siendo los más bajos en el tramo 4 con 88  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en noviembre, la investigación de Pazmiño 2015 muestra tanto en época lluviosa como seca valores cercanos en enero de 143  $\mu\text{S}/\text{cm}$  del efluente principal y 143  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 146  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y 213  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en época seca [43]

El análisis de rendimiento aplicado al modelo de Streeter-Phelps calibrado señala un ajuste óptimo entre las concentraciones medidas en la corriente y los valores predichos por el modelo, cuyos resultados revelaron la influencia de altos valores de la constante de reaireación en el proceso de auto purificación del estero Guayjì, cuya variación osciló entre 0,003  $\text{d}^{-1}$  y 29,131  $\text{d}^{-1}$ .

En este contexto, el ajuste estadístico relacionado con la variable oxígeno disuelto mostró valores de 1,0 para el coeficiente de determinación y de 0,791 para el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe, de agosto a noviembre, y en cada uno de los cuatro tramos de la corriente; no obstante, la calibración del parámetro DBO se caracterizó por un ajuste ligeramente mayor, con valores superiores a -2,712 y a 0,999 para el índice de Nash-Sutcliffe y el coeficiente de determinación, respectivamente, En este contexto, investigaciones como la efectuada en 2015 por Cunha Menezes et al., en su estudio de evaluación del impacto de la contaminación orgánica en la calidad del agua y la capacidad asimilativa de materia orgánica en el arroyo Ribeirão Vermelho, situado en la ciudad de Lavras en Minas Gerais, reportan una adecuada consistencia entre el modelo de Streeter-Phelps y los datos de las muestras experimentales tomadas de la corriente, con valores del coeficiente de determinación superiores a 0,96, explicada en términos de correctas determinaciones de las constantes de desoxigenación y reaireación en el proceso de calibración del referido modelo, caracterizadas por altos valores de la segunda, con un máximo de 15  $\text{d}^{-1}$ , durante la estación de caudales bajos en la corriente. Además, establecen la preeminencia de la degradación carbonácea por sobre la nitrogenada, tal como fue el supuesto de la investigación en el estero Guayjì en la estación seca en la cual se implementó el mismo modelo de Streeter-Phelps [23].

La modelización de calidad de agua con el software QUAL2K, permitió obtener perfiles de oxígeno disuelto cercanos a los valores observados en el campo, con un ajuste inferior al 10%, resultado similar al obtenido con el modelo de Streeter-Phelps, sin embargo, la variación de la demanda bioquímica de oxígeno presento errores relativos superiores al

10%. los meses de agosto, octubre, noviembre, siendo el mes de septiembre menor al 10%. De acuerdo a Formica et al. (2015), en la cual realizó un estudio similar en ríos de montaña con impacto antrópico, las diferencias entre el software QUAL2K y el modelo de Streeter-Phelps, se debe a las descargas difusas de origen antrópico causadas por la cercanía de las áreas urbanas quienes aplicaron el modelo de calidad del agua QUAL2K para modelar la dispersión de contaminantes en el río Ndarugu, en Kenia, reportando un valor de 0,882 en relación a la variable OD y de 0,812 en relación a la DBO para el coeficiente de determinación, concluyendo que a pesar de las pequeñas diferencias entre los conjuntos de datos medidos y simulados en algunos puntos, los resultados de calibración y validación son aceptables. En consecuencia, el rendimiento de QUAL2k se considera también aceptable.

[44]

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Los caudales registrados dentro de los 4 meses de estudio reflejan los caudales mayores para el tramo 4 de cada mes obteniendo así un valor de 203 l/s (tramo 4 mes agosto), 167 l/s (tramo 4 mes septiembre), 113 l/s (tramo 4 mes octubre ), y 119 l/s (tramo 4 mes noviembre) cabe recalcar que a medida que se fue realizando el estudio hubo una baja significativa de los caudales siendo el menor de los caudal en septiembre con 5 l/s en aguas arriba, seguido en octubre con 9 l/s para la descarga principal.
- Con respecto a la velocidad de la corriente del estero, se determinó que el tramo 3 es el más veloz, llegando a velocidades máximas de 0,63 m/s en septiembre y 0,56 m/s. en octubre Por otra parte, las corrientes más lentas se presentan en el tramo 2, con valores que varían entre 0,01 m/s y 0,02 m/s.
- Por otro lado, en relación con los parámetros fisicoquímicos medidos, el análisis de las concentraciones de pH reflejó que los valores en todos los meses y en los respectivos puntos de muestreo, se encuentran dentro del límite permisible de 6,5 a 9, establecido en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA.
- El análisis de las concentraciones de oxígeno disuelto indica niveles bajos en todos los meses de muestreo, con un valor promedio máximo y mínimo de 6,5 mg/l y 1,3 mg/l, respectivamente, evidenciándose que el estero muestra niveles inferiores al 80 % de saturación, conforme al anexo 1 del Libro VI del TULSMA, con los menores niveles de OD en el tramo uno, llegando a valores promedio de 1,3 y 1.6 mg/l en los mes de agosto, en la descarga principal y el tramo uno.
- El monitoreo quincenal de la DBO reveló que las concentraciones más altas en la corriente principal se presentaron en el tramo 1, igual a 22 mg/l en el

mes de noviembre y un valor promedio de 19,3 mg/l en el mes de octubre en la descarga principal. Dentro de los meses de estudios en el estero, con niveles bajos que varían de 0,9 mg/ a 16,1 mg/l, atribuyéndose esto al papel que juegan los altos valores de la constante de remoción de la DBO y, consecuentemente, el efecto significativo de la sedimentación de la materia orgánica en la columna de agua.

- Los perfiles de la demanda bioquímica de oxígeno demostraron que, en todos los casos, los niveles de DBO tenían una predisposición a disminuir a lo largo de todos los tramos, lo que demuestra una vez más la influencia de los altos valores calculados para la constante de remoción.
- El análisis de rendimiento efectuado para verificar el ajuste realizado por el software de modelación, dio como resultado valores muy aceptables, siendo estos iguales a 1, o aceptablemente menores a este, tanto como para los valores predichos de OD como de DBO en cada una de las fechas consideradas durante la fase de campo.
- Las simulaciones realizadas con el software de QUAL2K para la variación del OD, mostraron un ajuste estadístico menor al que se consiguió con el modelo de Streeter-Phelps en todos los meses y tramos segmentados. Sin embargo, se considera que el ajuste fue aceptable, reflejado por el índice de Nash-Sutcliffe con valores que llegan a 0,809 para el OD, y el coeficiente de determinación con valores hasta 0,877; mientras que en relación con la DBO el desajuste fue mayor. Al respecto, investigaciones similares han reportado que el desajuste es debido a la variedad de parámetros que el programa QUAL2K requiere para generar una simulación favorable.
- A diferencia de la simulación del OD, las predicciones del QUAL2K con respecto a la DBO experimentaron un menor ajuste en todos los casos. Esto puede deberse a la falta de información requerida por el software, tales como la velocidad de sedimentación y una gran cantidad de parámetros que limitan las posibilidades de lograr un mayor ajuste entre las concentraciones predichas y las determinadas en los puntos de muestreo a lo largo del estero.

## 5.2. Recomendaciones

- A pesar de que el estero mostró una tasa alta de remoción de materia orgánica, se pudo constatar que las concentraciones de la DBO en el tramo 1, eran significativamente más altas que en los demás tramos, lo que supone que existe una contaminación de alguna otra descarga no visible, ya sea aguas arriba o en el tramo 1, por lo que es recomendable realizar un recorrido más exhaustivo para identificar y controlar las descargas en los segmentos analizados en la investigación.
- Es importante recomendar que se continúe realizando estudios periódicos sobre la calidad del agua del estero Guayjì, ya que es un cuerpo de agua que se sitúa en la zona urbana, siendo receptor de contaminación, y también para obtener mayor información científica que sea útil para la creación de estrategias o proyectos de saneamiento de ríos y esteros.
- La protección de la calidad del estero no debe tan solo residir en la investigación de las actuales características del mismo, sino también debe propiciar la estabilización de la calidad del agua, por lo que además de la reconfiguración del sistema de alcantarillado, el Gobierno Autónomo Descentralizado como organismo controlador y ministerio del Ambiente debe asegurar un enfoque en los problemas que se generan en cada sector que dichas descargas están contaminando los efluentes.

## CAPITULO VI

### BIBLIOGRAFÍA

#### 6.1. Citas bibliográficas

- 1 Martin JP. la sociedad internacional u el derecho al agua. la situacion en el siglo xxi. españa: universidad de salamanca; 2016.
- 2 cisneros BEJ. la contaminacion ambiental en mexico causas, efectos y tecnologias apropiadas. especial ed. Vol 121. mexico: limusa. S.A; 2001.
- 3 Mendizaba M. contaminacion del agua. Redesma. 2010;4(2):8.
- 4 MONTELONGO CASANOVA Rea. MODELACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO TULA, ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO. DYNA. 2008;75:154.
- 5 Gòmez IC. saneamiento ambiental. Primera ed. Costa Rica: EUNED; 2003.
- 6 j. glynn henry gwh. ingenieria ambiental. segunda ed. mexico 1999.
- 7 càrdenas pda. quimica 2. primera ed. umbral, S.A. de C.V.; 2005.
- 8 kramer f. educacion ambiental para el desarroyo sostenible. Vol 13. madrid: catarata cyan; 2003.
- 9 ros gd. la contaminacion de agua en el ecuador. una aproximacion economica. primera ed. ecuador: abya; 1995.
- 10 mackenzie I. davis sjm. ingenieria en ciencias ambientales. primera ed. mexico 2015.
- 11 gòmez ic. saneamiento ambiental. primera ed. costa rica: universidad estatal a distancia ; 2000.
- 12 raudel ramos olmos rsmfvm. el agua en el medio ambiente muestreo y análisis. primera ed. mexico: plaza y valdes; 2002.

- 13 Lapeña MR. tratamiento der aguas industrial aguas de proceso y residuales. barcelona : alfaomega, marcombo S.A.; 1990.
- 14 jaime lara-borrero atab. estudio de tratabilidad de las aguas residuales en bogotá con lodos activados. primera ed. bogota: pontificia universidad javeriana; 2015.
- 15 lozano-rivas wa. calidad fisicoquicas del agua. bogota: universidad piloto de colombia; 2013.
- 16 xavier domènech jp. quimica ambiental de sistemas terrestres. en español ed. barcelona: Reverte, s.a.; 2006.
- 17 inès restrepo ldsagrijs. avances en inestigacion y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio. primera ed. santiago de cali: universidad del valle; 2007.
- 18 sanint ea. metodos cuantitativos para la toma de decisiones ambientales. segunda ed. colombia: universidad nacional de colombia ; 2004.
- 19 jaramillo mfga. INTEGRACIÓN DE LOS MODELOS WEAP Y QUAL2K PARA LA SIMULACIÓN DE LA CALIDAD AGUA. Aqua-LAC. 2016;8(16):24.
- 20 Lorena Bracho Vargas LAALDM. Evaluación del software qual2k en fuentes receptoras de vertimientos. redalyc.org. 2016;16(7):13.
- 21 Suárez J. CALIDAD DE AGUAS EN RÍOS AUTODEPURACIÓN. MASTER EN INGENIERÍA DEL AGUA. 2008;5:26.
- 22 Arana C RSBN. MODELIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL ESTERO MACACHE. [Internet]. 2016-2017 Available from: <http://repositorio.uteg.edu.ec/bitstream/43000/2017/1/T-UTEQ-0035.pdf>.
- 23 Menenzes Cunha JP, Parreira Bittencourt R, Sá Farias M, Pinheiro Bello I, Coutinho de Oliveira LF, Fia R. Deoxygenation rate, reaeration and potential for self-purification of a small tropical urban stream. Revista Ambiente e Agua. 2015;9(3):445-458.
- 24 Castaño Ossa JM. Modelación de la calidad del agua del río Tunjuelo en dos escenarios de implementación del plan de saneamiento de Bogotá. [Internet]. 2015

[cited 2019 Abril 10]. Available from: <http://www.bdigital.unal.edu.co/52643/1/1088000081.2015.pdf>.

- 25 Rodríguez Badillo L, Franco Atiaga O. Análisis De Contaminación Y Modelamiento De O.D. Y Materia Orgánica. Río Puyo. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. 2013 1-13.
- 26 Pérez A, Rodríguez A. Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. Revista de Biología Tropical. 2008;56(4):14.
- 27 Pazmiño J, Zambrano G, Coello A. Modelización de la calidad del agua del estero Aguas Claras, del cantón Quevedo, Ecuador. DYNA. 2017 10-12.
- 28 QUEVEDO GMD. Quevedo en la historia. Instructivo. Quevedo: Gobierno Municipal de Quevedo; 2018-2019. Available from: <http://www.quevedo.gob.ec/quevedo-en-la-historia/>.
- 29 Spark W. Clima Promedio de Quevedo. quevedo: parque meteorológico; 2016. Available from: <https://es.weatherspark.com/y/19356/Clima-promedio-en-Quevedo-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>.
- 30 5 DdPyGMETda–SZ. PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2012-2016. Quevedo: GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTON QUEVEDO; 2014. Available from: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/PD%20y%20OT%20-%20ACTUALIZADO%202014%20-%20DEFINITIVO%20SENPLADES\\_14-11-2014.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/PD%20y%20OT%20-%20ACTUALIZADO%202014%20-%20DEFINITIVO%20SENPLADES_14-11-2014.pdf).
- 31 Gualé AS. Cambio climático incontrolable. Quevedo: El Universo; 2016. Available from: <https://www.eluniverso.com/noticias/2016/12/15/nota/5954887/cambio-climatico-incontrolable>.
- 32 Ramírez CAS. Calidad del agua : evaluación y diagnóstico. 1st ed. Bogota: Bogotá [Colombia] : Ediciones de La U; 2011.
- 33 Normalización IEd. Agua. Calidad del Agua. Muestreos. técnicas de muestreos. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEC 2176 1998. 1998. Available from: <https://archive.org/stream/ec.nte.2176.1998#page/n1/mode/2up>.

- 34 NORMALIZACIÓN IED. Agua. Calidad del Agua. muestreo diseño de los programas de diseño. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEC 2226 2000. Quito 2000. Available from: <https://archive.org/details/ec.nte.2226.2000/page/n1>.
- 35 Normalización IEd. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de las muestra. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEC 2169 1998. Quito 1998. Available from: <https://archive.org/details/ec.nte.2169.1998/page/n1>.
- 36 Chapra C S. Surface Water Quality. Illinois 2008.
- 37 Chin A D. Water-Quality Engineering in Natural System. segunda edición ed. New Jersey 2013.
- 38 Escobar Pintor JA, Moreno Dueñas N. Determinación de los coeficientes de oxigenación y desoxigenación para la curva de comportamiento de oxígeno disuelto en el río Fucha. Bogotá: Universidad Católica de Colombia; 2016.
- 39 López Geta JA, Pulido Bosch A, Baquero Úbeda JC. Agua, minería y medio ambiente: libro homenaje al profesor Rafael Fernández Rubio. Madrid: IGME; 2005.
- 40 Chiejine CM, Igboanugo AC, Ezemonye LI. Modelling effluent assimilative capacity of Ikoba river, Benin city, Nigeria. Nigerian Journal of Technology. 2015;34(1):133-141.
- 41 Rodríguez Badillo L, Franco Atiaga O. Análisis De Contaminación Y Modelamiento De O.D. Y Materia Orgánica. Río Puyo. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. 2013 1-13.
- 42 Zambrano Gabriela CH. MODELIZACION DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL ESTERO AGUAS CLARAS CANTON QUEVEDO PROVINCIA DE LOS RIOS. [Internet]. 2016-2017.
- 43 Pazmiño Rodríguez J. Modelización de la incidencia del Oxígeno Disuelto y la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la calidad del agua del estero Atascoso, cantón Quevedo. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2015.
- 44 FORMICA SM. Modelado de calidad de agua en ríos de montaña con impacto antrópico. Caso de estudio: Sierra Chica de Córdoba, Argentina. Revista internacional de contaminación ambiental. 2015;31:327-341.

## **CAPITULO VII**

### **ANEXO**

## 7.1. Tablas de datos generales sobre las características hidromorfológicas del estero Guayjì

Los valores en términos de caudal, velocidad y profundidad obtenidos en los tres puntos de muestreo, durante los meses de monitoreo, se muestran en las tablas, 33, 34, 35, 36, 37,38

Tabla 34. Valores obtenidos en el cálculo del caudal por fechas de las campañas de muestreo en l/s

Fecha de campaña	CAUDAL l/s							
	11-ago-18	25-ago-18	08-sep-18	22-sep-18	13-oct-18	27-oct-18	11-nov-18	18-nov-18
<b>AGUAS ARRIBA</b>	60	89	103	5	38	52	9	29
<b>DESCARGA</b>	54	15	22	45	27	9	24	14
<b>PM T1</b>	111	104	92	63	62	60	33	44
<b>PM T2</b>	110	102	110	111	100	95	67	53
<b>PM T3</b>	104	99	110	109	96	86	63	39
<b>TRIBUTARIO</b>	17,8	27,5	28,6	22,2	19,3	20,1	20,0	68,0
<b>PM T4</b>	203	120	167	98	98	113	119	43

Tabla 35. Promedio de los caudales en m/s

Puntos	CAUDAL m/s			
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
<b>AGUAS ARRIBA</b>	0,07	0,05	0,04	0,02
<b>DESCARGA</b>	0,03	0,03	0,02	0,02
<b>PM T1</b>	0,11	0,08	0,06	0,04
<b>PM T2</b>	0,11	0,11	0,10	0,06
<b>PM T3</b>	0,10	0,11	0,09	0,05
<b>TRIBUTARIO</b>	0,02	0,03	0,02	0,04
<b>PM T4</b>	0,16	0,13	0,11	0,08

Tabla 36. Valores obtenidos en el cálculo de la velocidad por fechas de las campañas de muestreo

Fecha de campaña	VELOCIDAD (cm)							
	11-ago-18	25-ago-18	08-sep-18	22-sep-18	13-oct-18	27-oct-18	11-nov-18	18-nov-18
<b>AGUAS ARRIBA</b>	13	11	11	10	12	11	12	6
<b>DESCARGA</b>	25	23	21,88	20,97	23,81	22,58	23,33	12,82
<b>PM T1</b>	4,00	2,80	2,11	1,74	1,82	1,86	1,24	1,31
<b>PM T2</b>	1,43	0,83	1,43	2,11	3	1	1	1,86
<b>PM T3</b>	5,75	62,50	62,50	62,50	41,67	55,56	38,46	27,78
<b>TRIBUTARIO</b>	6,58	5,32	4,85	5,10	5,62	5,05	5,43	5,68
<b>PM T4</b>	15,38	19,44	15,79	17,65	15,38	17,14	13,64	10,87

Tabla 37. Promedio de la velocidad en m/s

PUNTO	VELOCIDAD m/s			
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
<b>AGUAS ARRIBA</b>	0,12	0,11	0,12	0,09
<b>DESCARGA</b>	0,24	0,21	0,23	0,18
<b>PM T1</b>	0,03	0,02	0,02	0,01
<b>PM T2</b>	0,01	0,02	0,02	0,01
<b>PM T3</b>	0,34	0,63	0,49	0,33
<b>TRIBUTARIO</b>	0,06	0,05	0,05	0,06
<b>PM T4</b>	0,17	0,17	0,16	0,12

Tabla 38. Valores obtenidos en el cálculo de la profundidad por fechas de las campañas de muestreo

Fecha de campaña	PROFUNDIDAD (cm)							
	11-ago-18	25-ago-18	08-sep-18	22-sep-18	13-oct-18	27-oct-18	11-nov-18	18-nov-18
<b>AGUAS ARRIBA</b>	60	51	46	48	48	48	50	45
<b>DESCARGA</b>	9	19	19,5	20	21	19	18	21
<b>PM T1</b>	69,5	69,5	65,5	67,5	69	67	67,5	65,5
<b>PM T2</b>	66,6	65,5	61,75	60,8	68,4	66	69,2	63,75
<b>PM T3</b>	66,5	26,5	10,5	23,5	11	20	26	11,5
<b>TRIBUTARIO</b>	19	18	17,5	16,5	15	19	18,5	15,5
<b>PM T4</b>	47	35,5	28,5	33,5	27,5	26,5	34	20,5

Tabla 39. Promedio de la profundidad en m

PUNTO	PROFUNDIDAD m			
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
AGUAS ARRIBA	0,55	0,47	0,48	0,47
DESCARGA	0,14	0,20	0,20	0,20
PM T1	0,70	0,67	0,68	0,67
PM T2	0,66	0,61	0,67	0,66
PM T3	0,47	0,17	0,16	0,19
TRIBUTARIO	0,19	0,17	0,17	0,17
PM T4	0,41	0,31	0,27	0,27

Figura 5. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 1

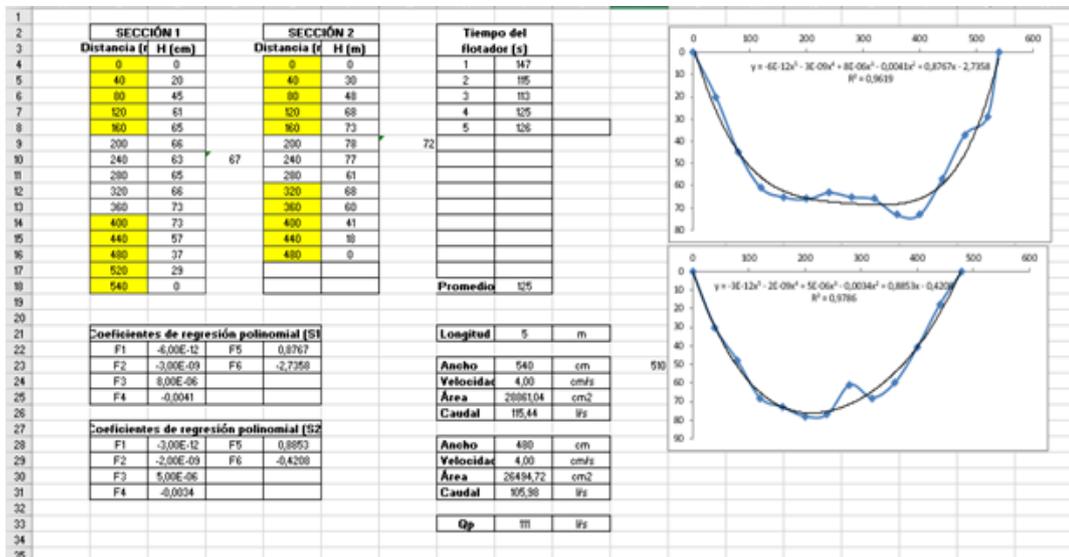


Figura 6. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 2

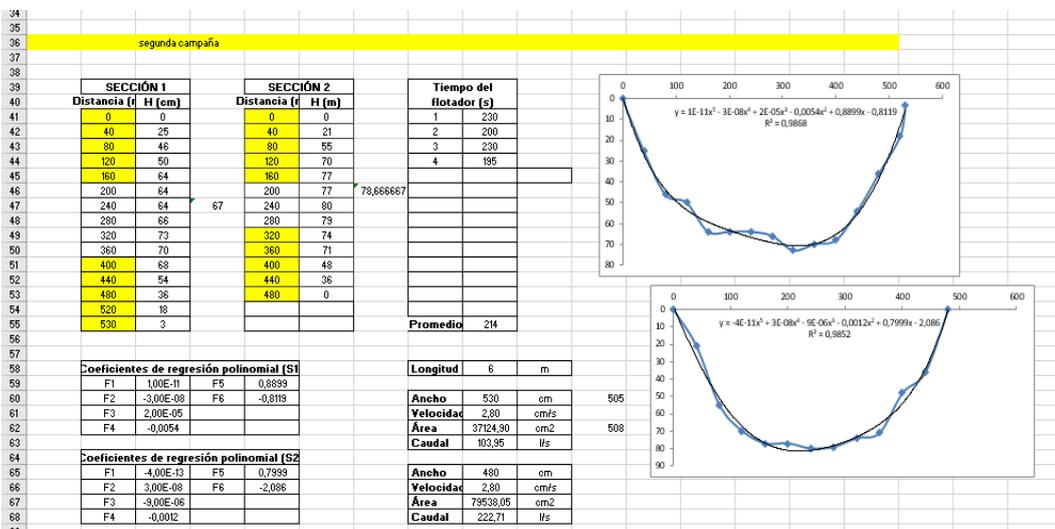


Figura 7. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 3

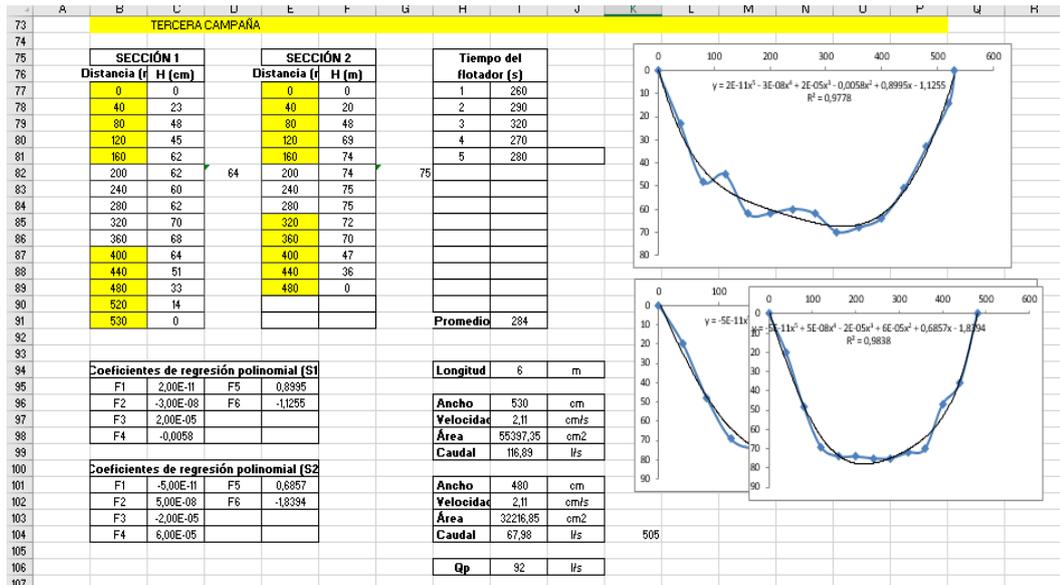
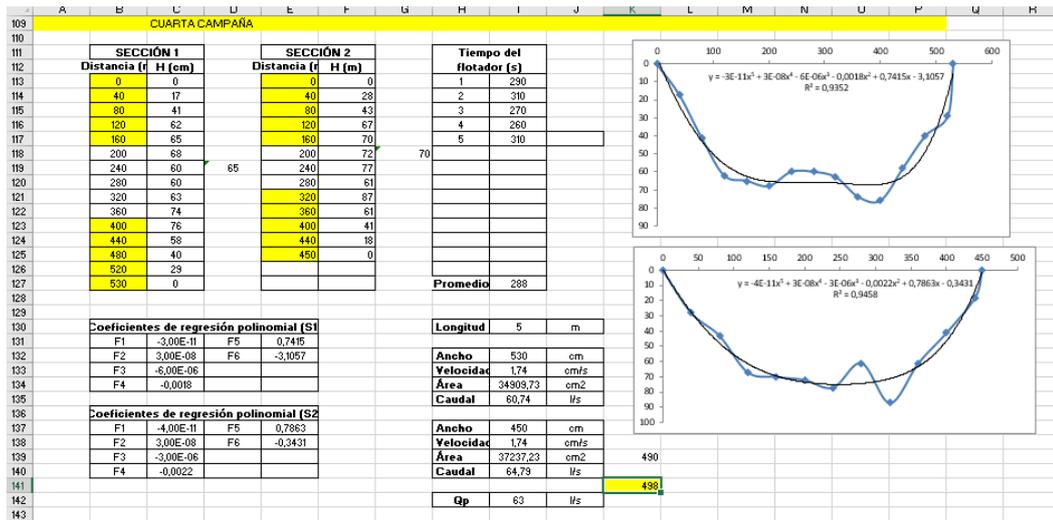


Figura 8. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 4



## 7.2. Tablas de datos generales sobre las características físicoquímicas del estero Guayjì

En las tablas 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48 y 49 se muestran los valores obtenidos de OD, DBO, pH, temperatura, conductividad eléctrica:

Tabla 40. Valores de DBO mg/l

	DBO mg/l							
	11-ago-18	25-ago-18	08-sep-18	22-sep-18	13-oct-18	27-oct-18	11-nov-18	18-nov-18
<b>Aguas arriba</b>	8,0	8,8	8,6	3,8	2,1	8,1	9,4	5,6
<b>DESCARGA</b>	16,1	7,6	10,1	11,1	13,0	19,3	14,8	15,9
<b>Tramo 1</b>	14,4	13,9	1,6	2,5	9,2	11,0	22,0	15,0
<b>Tramo 2</b>	6,8	4,9	3,2	2,2	9,5	13,5	10,7	14,2
<b>Tramo 3</b>	9,6	7,6	4,1	1,0	5,5	9,2	6,8	5,1
<b>RIACHUELO</b>	11,3	7,1	0,9	<b>5,0</b>	<b>4,2</b>	<b>1,0</b>	<b>6,0</b>	<b>5,8</b>
<b>Tramo 4</b>	5,9	8,8	2,8	2,0	6,0	11,3	9,5	10,6

Tabla 41. Promedio de DBO mg/l

Puntos	PROMEDIO DBO mg/l			
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
<b>Aguas arriba</b>	8,4	6,2	5,1	7,5
<b>DESCARGA</b>	11,8	10,6	16,1	15,4
<b>Tramo 1</b>	14,2	2,0	10,1	18,5
<b>Tramo 2</b>	5,9	2,7	11,5	12,5
<b>Tramo 3</b>	8,6	2,5	7,3	5,9
<b>RIACHUELO</b>	9,2	3,0	2,6	5,9
<b>Tramo 4</b>	7,4	2,4	8,7	10,1

Tabla 42. Valores de oxígeno disuelto mg/l

	OD mg/l							
	11-ago-18	25-ago-18	08-sep-18	22-sep-18	13-oct-18	27-oct-18	11-nov-18	18-nov-18
<b>Aguas arriba</b>	2,2	3	2,9	2,2	2,9	3	2,2	2,8
<b>DESCARGA</b>	1,3	2,5	3,6	2,4	2,6	3,6	2,5	2,4
<b>Tramo 1</b>	1,6	3,4	2,5	2,6	2,5	2,4	1,8	2,4
<b>Tramo 2</b>	2,4	2,7	2,7	5,3	5,3	2,7	5,3	5,3
<b>Tramo 3</b>	3,2	5,6	5,7	4,2	4,2	4,2	4,2	4,5
<b>RIACHUELO</b>	5,7	6	6,5	5,9	5,2	4,5	5,4	4,5
<b>Tramo 4</b>	4	4,4	4	3,3	3,6	3,8	5	3

Tabla 43. Valores promedio de oxígeno disuelto mg/l

Puntos	PROMEDIO OD mg/l			
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Aguas arriba	2,6	2,55	2,95	2,5
DESCARGA	1,9	3	3,1	2,45
Tramo 1	2,5	2,55	2,45	2,1
Tramo 2	2,55	4	4	5,3
Tramo 3	4,4	4,95	4,2	4,35
RIACHUELO	5,85	6,2	4,85	4,95
Tramo 4	4,2	3,65	3,7	4

Tabla 44. Mediciones de pH

	pH							
	11-ago-18	25-ago-18	08-sep-18	22-sep-18	13-oct-18	27-oct-18	11-nov-18	18-nov-18
Aguas arriba	7	6	7,6	7,8	7,6	7	7	7
DESCARGA	7,3	5,3	7,6	8	5,3	7	6,2	6,3
Tramo 1	7,2	7,3	7,2	7,8	7,2	7,5	7,9	7,5
Tramo 2	6,9	4,8	7,4	7,6	7,6	5,8	7,4	7,5
Tramo 3	7	6,8	7,5	7,8	7,5	7,6	7,6	7,5
RIACHUELO	7,2	7,4	7,6	7,9	7,4	7,9	7,5	7,2
Tramo 4	7,2	7	7,4	7,9	8,1	7,5	7,8	7

Tabla 45. Promedio pH

Puntos	PROMEDIO pH			
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Aguas arriba	6,5	7,7	7,3	7
DESCARGA	6,3	7,8	6,15	6,25
Tramo 1	7,25	7,5	7,35	7,7
Tramo 2	5,85	7,5	6,7	7,45
Tramo 3	6,9	7,65	7,55	7,55
RIACHUELO	7,3	7,75	7,65	7,35
Tramo 4	7,1	7,65	7,8	7,4

Tabla 46. Mediciones de temperatura, °C

	TEMPERATURA °C							
	11-ago-18	25-ago-18	08-sep-18	22-sep-18	13-oct-18	27-oct-18	11-nov-18	18-nov-18
<b>Aguas arriba</b>	23,4	22,3	25,4	27,5	25,4	22,3	23,4	24,6
<b>DESCARGA</b>	23,4	23,3	25,5	30,2	23,3	24,5	24,3	24,3
<b>Tramo 1</b>	24,4	22,1	26,7	29,3	26,7	26,3	24,8	25,4
<b>Tramo 2</b>	23,1	22,9	24,1	30,8	28,8	25,9	27,8	26,5
<b>Tramo 3</b>	22,7	22,5	25,2	28,7	24,2	26,7	25,3	24,5
<b>RIACHUELO</b>	22,2	21,5	23	27,6	24,5	25,6	26,4	24,5
<b>Tramo 4</b>	22,7	21,3	23,9	25,5	25,8	24,8	24,6	25,8

Tabla 47. Promedio de temperatura °C

	PROMEDIO EMPERATURA °C			
Puntos	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
<b>Aguas arriba</b>	22,85	26,45	23,85	24
<b>DESCARGA</b>	23,35	27,85	23,9	24,3
<b>Tramo 1</b>	23,25	28	26,5	25,1
<b>Tramo 2</b>	23	27,45	27,35	27,15
<b>Tramo 3</b>	22,6	26,95	25,45	24,9
<b>RIACHUELO</b>	21,85	25,3	25,05	25,45
<b>Tramo 4</b>	22	24,7	25,3	25,2

Tabla 48. Mediciones de conductividad eléctrica

	COND.E							
	11-ago-18	25-ago-18	08-sep-18	22-sep-18	13-oct-18	27-oct-18	11-nov-18	18-nov-18
<b>Aguas arriba</b>	142	136	164	165	164	136	146	156
<b>DESCARGA</b>	163	150	171	192	155	172	160	155
<b>Tramo 1</b>	153	113	113	169	125	169	168	169
<b>Tramo 2</b>	108	96	164	125	132	120	134	146
<b>Tramo 3</b>	0,97	0,82	98	103	110	103	0,91	133
<b>RIACHUELO</b>	72	79	74	77	89	88	98	90
<b>Tramo 4</b>	89	89	88	90	90	98	95	88

Tabla 49. Promedio de conductividad eléctrica

PROMEDIO COND.E				
Puntos	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Aguas arriba	139	164,5	150	151
DESCARGA	156,5	181,5	163,5	157,5
Tramo 1	133	141	147	168,5
Tramo 2	102	144,5	126	140
Tramo 3	0,895	100,5	106,5	66,955
RIACHUELO	75,5	75,5	88,5	94
Tramo 4	89	89	94	91,5

### 7.3. Hojas de cálculo del modelo de Streeter-Phelps

Figura 9. Hoja de cálculo de Streeter-Phelps, mes de agosto

DATOS																	
Aguas arriba				Descarga AR				Riachuelo									
Qr (m3/s)	0,06	Q (m3/s)	0,054	Q (m3/s)	0,016						9,576	10,2					
DBO5(mg/l)	8,82	DBO5(mg/l)	16,08	DBO5(mg/l)	7,08												
DBO(mg/l)	10,6	DBO(mg/l)	23,6	DBO(mg/l)	8,50												
Odr (mg/l)	2,6	Odr (mg/l)	1,3	Odr (mg/l)	5,85						34,692						
T (°C)	22,85	T (°C)	23,35	T (°C)	21,85												
Hidrodinámica de la corriente				Valores observados en campo													
V (m/s)	H (m)	S (m/m)	Q (l/s)	P. Muestra	x (m)	z (m)	OD (mg/l)	BO5 (mg)	DBO(mg/l)	10,584							
Tramo 1	0,04	0,70	0,002	107	PM-T1	1158	53	2,5	13,32	16,70							
Tramo 2	0,03	0,86	0,000	106	PM-T2	5341	51	2,7	6,84	8,21							
Tramo 3	0,6	0,47	0,000	101	PM-T3	14872	52	3,2	7,62	9,14							
Tramo 4	0,2	0,41	0,000	161	PM-T4	23321	53	4,4	7,35	8,82							
Constantes cinéticas de reacción																	
Constante de reaeración				Constante de desoxygenación				Constante remoción t									
Tramo	ka 20 °C	ka (T)	ka 20 °C	ka (T)	a calibrad	kd a 20 °C	kd (T)	d calibrad	kr (T)	r calibrad							
	Owens y Gibbs	Langbein&Duron	Hydroscience	Carga													
1	1,191	1,261	0,330	0,355	0,368	0,512	0,590	0,046	0,520	0,051	1,486	0,004					
2	1,095	1,178	0,267	0,204	0,597	0,525	0,605	0,368	-0,179	0,531	9	0,108					
3	15,779	16,979	8,822	6,418	0,882	0,609	0,702	0,011	1,394	0,02	6	0,004					
4	7,767	5,322	2,519	1,567	1,137	0,646	0,382	0,179	-0,212	0,201	0,7	0,009					
Condiciones iniciales																	
Tramo 1				Tramo 2				Tramo 3				Tramo 4					
Lo (mg/l)	16,76	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	Lo (mg/l)	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	Lo (mg/l)	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	Lo (mg/l)	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	
Odo (mg/l)	1,98	Odo (mg/l)	2,66	-2,48	3,40	Odo (mg/l)	2,77	-7,00	2,44	Odo (mg/l)	3,43	-6,28	3,16	Odo (mg/l)	3,43	-6,28	3,16
To (°C)	23,09	To (°C)	23,09		To (°C)	23,09			To (°C)	25,78			To (°C)	25,78			
OD sat (mg)	8,56	OD sat (mg)	8,56		OD sat (mg)	8,56			OD sat (mg)	8,15			OD sat (mg)	8,15			
Do (mg/l)	6,58	Do (mg/l)	5,91	11,05	5,16	Do (mg/l)	5,79	15,56	6,12	Do (mg/l)	5,07	14,84	5,40	Do (mg/l)	5,07	14,84	5,40

Figura 10. Hojas de cálculo modelo Streeter-Phelps, mes de septiembre

DATOS																	
Aguas arriba				Descarga AR				Riachuelo									
Qr (m3/s)	0,103	Q (m3/s)	0,014	Q (m3/s)	0,029	/1000					4,524	14,8617	1,116				
DBO5(mg/l)	3,77	DBO5(mg/l)	10,11	DBO5(mg/l)	5,00												
DBO(mg/l)	4,52	DBO(mg/l)	14,86	DBO(mg/l)	6												
Odr (mg/l)	2,55	Odr (mg/l)	3	Odr (mg/l)	6,2												
T (°C)	26,45	T (°C)	27,85	T (°C)	25,3												
Hidrodinámica de la corriente				Valores observados en campo													
V (m/s)	H (m)	S (m/m)	Q (l/s)	P. Muestra	x (m)	z (m)	OD (mg/l)	BO5 (mg)	DBO(mg/l)								
Tramo 1	0,02	0,67	0,002	92	PM-T1	1158	53	2,55	2,45	2,94							
Tramo 2	0,02	0,61	0,000	110	PM-T2	5341	51	2,70	2,17	2,60							
Tramo 3	0,63	0,17	0,000	109	PM-T3	14872	52	4,2	1,00	1,20							
Tramo 4	0,18	0,31	0,000	142	PM-T4	23321	53	3,65	1,98	2,38							
Constantes cinéticas de reacción																	
Constante de reaeración				Constante de desoxygenación				Constante remoción t									
Tramo	ka 20 °C	ka (T)	ka 20 °C	ka (T)	a calibrad	kd a 20 °C	kd (T)	d calibrad	kr (T)	r calibrad							
	Owens y Gibbs	Langbein&Duron	Hydroscience	Carga													
1	0,812	0,950	0,175	0,204	0,081	0,522	0,707	0,105	-0,024	0,499	28,73	0,26398					
2	0,965	1,130	0,198	0,149	0,010	0,544	0,737	0,002	2,309	0,002	27,83	0,43333					
3	103,547	121,150	34,116	24,145	2,223	0,946	1,283	0,449	1,488	2,398	8,47	0,00744					
4	9,660	7,272	4,384	2,728	0,082	0,729	0,421	0,057	-0,079	0,081	0,98						
Condiciones iniciales																	
Tramo 1				Tramo 2				Tramo 3				Tramo 4					
Lo (mg/l)	5,76	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	Lo (mg/l)	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	Lo (mg/l)	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	Lo (mg/l)	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	
Odo (mg/l)	2,60	Odo (mg/l)	3,46	-2,53	2,72	Odo (mg/l)	6,91	-1,69	2,80	Odo (mg/l)	8,13	-0,47	4,02	Odo (mg/l)	8,13	-0,47	4,02
To (°C)	26,62	To (°C)	26,62		To (°C)	26,62			To (°C)	31,59			To (°C)	31,59			
OD sat (mg)	8,02	OD sat (mg)	8,02		OD sat (mg)	8,02			OD sat (mg)	7,36			OD sat (mg)	7,36			
Do (mg/l)	5,42	Do (mg/l)	4,57	10,56	5,30	Do (mg/l)	1,11	9,71	5,22	Do (mg/l)	-0,11	6,49	4,00	Do (mg/l)	-0,11	6,49	4,00

Figura 11. Hojas de cálculo modelo de Streeter-Phelps, mes de octubre

DATOS												
<b>Aguas arriba</b>			<b>Descarga AR</b>			<b>Riachuelo</b>						
Qr (m <sup>3</sup> /s)	0,052		Q (m <sup>3</sup> /s)	0,027		Q (m <sup>3</sup> /s)	0,02		9,72	28,3122		
DBO5(mg/l)	8,1		DBO5(mg/l)	19,26		DBO5(mg/l)	4,16					
DBO(mg/l)	9,7		DBO(mg/l)	28,3		DBO(mg/l)	5					
ODr (mg/l)	2,95		OD (mg/l)	3,1		OD (mg/l)	5,2					
T (°C)	26,45		T (°C)	23,9		T (°C)	25,05					
<b>Hidrodinámica de la corriente</b>				<b>Valores observados en campo</b>								
Tramo	V (m/s)	H (m)	S (m/m)	Q (l/s)	P. Muestra	x (m)	z (m)	OD (mg/l)	BO5 (mg/l)	DBO (mg/l)		
Tramo 1	0,02	0,68	0,002	61	PM-T1	1158	53	2,5	11,04	13,25		
Tramo 2	0,03	0,67	0,000	95	PM-T2	5341	51	5,3	9,45	11,34		
Tramo 3	0,49	0,16	0,000	91,00	PM-T3	14872	52	4,2	7,31	8,77		
Tramo 4	0,16	0,27	0,000	98,00	PM-T4	23321	53	3,8	5,97	7,16		
<b>Constantes cinéticas de reacción</b>												
Tramo	Constante de reaireación				Constante de desoxigenación				Constante remoción t			
	ka 20 °C	ka (T)	ka 20 °C	ka (T)	kd a 20 °C	kd (T)	kd a 20 °C	kd (T)	kr (T)	kr (T)	kr (T)	kr (T)
	Owens y Gibbs	Langbein&Duron	a calibrad		Hydroscience	d calibrad		Carga	r calibrad			
1	0,790	0,901	0,171	0,196	0,124	0,519	0,670	0,093	-0,148	0,148	8,96	0,0374
2	1,065	1,216	0,262	0,198	1,015	0,522	0,674	0,026	0,708	0,067	8,007	0,02747
3	97,886	111,736	28,763	20,237	0,220	0,972	1,256	0,832	0,021	0,965	8,41	0,01168
4	17,565	13,270	4,683	2,914	0,066	0,774	0,450	0,493	0,195	0,574	9,43	0,02187
<b>Condiciones iniciales</b>												
Tramo 1			Tramo 2			Tramo 3			Tramo 4			
Lo (mg/l)	16,06		Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	
Odo (mg/l)	3,00		21,75	21,75	11,87	9,61	9,61	10,39	10,58	10,58	10,02	
To (°C)	25,58		-4,90	-16,67	1,85	-0,69	-21,76	6,02	0,36	-20,71	7,07	
OD sat (mg)	8,18											
Do (mg/l)	5,18		13,08	24,84	6,33	8,87	29,34	2,16	7,62	26,89	1,11	

Figura 12. Hojas de cálculo modelo de Streeter-Phelps, mes de noviembre

DATOS												
<b>Aguas arriba</b>			<b>Descarga AR</b>			<b>Riachuelo</b>						
Qr (m <sup>3</sup> /s)	0,029		Q (m <sup>3</sup> /s)	0,024		Q (m <sup>3</sup> /s)	0,02		11,232	23,373		
DBO5(mg/l)	3,36		DBO5(mg/l)	15,9		DBO5(mg/l)	5,8					
DBO(mg/l)	11,23		DBO(mg/l)	23,4		DBO(mg/l)	7					
ODr (mg/l)	2,2		OD (mg/l)	2,5		OD (mg/l)	4,5					
T (°C)	24		T (°C)	24,3		T (°C)	24,5				0,1087	
<b>Hidrodinámica de la corriente</b>				<b>Valores observados en campo</b>								
Tramo	V (m/s)	H (m)	S (m/m)	Q (l/s)	P. Muestra	x (m)	z (m)	OD (mg/l)	BO5 (mg/l)	DBO (mg/l)		
Tramo 1	0,01	0,67	0,002	38	PM-T1	1158	53	2,5	15,00	18,00		
Tramo 2	0,02	0,66	0,000	53	PM-T2	5341	51	5,3	10,74	12,89		
Tramo 3	0,28	0,19	0,000	51	PM-T3	14872	52	4,5	7,00	8,40		
Tramo 4	0,10	0,27	0,000	85	PM-T4	23321	53	5	9,00	10,80		
<b>Constantes cinéticas de reacción</b>												
Tramo	Constante de reaireación				Constante de desoxigenación				Constante remoción t			
	ka 20 °C	ka (T)	ka 20 °C	ka (T)	kd a 20 °C	kd (T)	kd a 20 °C	kd (T)	kr (T)	kr (T)	kr (T)	kr (T)
	Owens y Gibbs	Langbein&Duron	a calibrad		Hydroscience	d calibrad		Carga	r calibrad			
1	0,510	0,563	0,087	0,096	0,102	0,522	0,631	0,03	0,000	0,030	9,73	0
2	0,835	0,921	0,178	0,135	0,767	0,525	0,635	0,057	0,634	0,080	7,46	0,01518
3	48,357	54,008	13,078	9,395	0,495	0,902	1,091	0,706	0,427	1,101	6,21	0,07505
4	12,820	9,736	2,927	1,821	0,003	0,774	0,454	0,005	-0,085	0,005		0
<b>Condiciones iniciales</b>												
Tramo 1			Tramo 2			Tramo 3			Tramo 4			
Lo (mg/l)	16,74		Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	
Odo (mg/l)	2,34		16,71	16,71	14,81	5,58	5,58	12,89	6,70	6,70	10,60	
To (°C)	24,14		-9,07	-31,36	2,83	0,02	-32,81	6,18	1,25	-31,58	7,41	
OD sat (mg)	8,40											
Do (mg/l)	6,06		17,47	39,76	5,56	8,38	41,21	2,22	7,15	39,38	0,99	

Figura 13. Hojas de Statgraphics, para el cálculo de las constantes cinéticas

Simulaciones Monte Carlo

Tamaño de muestra: 10000  
Semilla para el generador de números aleatorios: 14219

Variable	Tipo
ka	v.a. uniforme
kd	v.a. uniforme
kr	v.a. uniforme
OD	Función
RE_OD	Función
DBO	Función
RE_DBO	Función
RE_TOTAL	Función

Variable	Definición
ka	UNIFORM(0,096;0,3)
kd	UNIFORM(0,02;0,03)
kr	UNIFORM(0,03;0,04)
OD	$8,40 - ((0,06 * \text{EXP}(-ka * (1158 * (0,01 * 86400)))) + (((kd * 17,11) * (ka - kr)) * \text{EXP}(-kr * (1158 * (0,01 * 86400)))) - \text{EXP}(-ka * (1158 * (0,01 * 86400))))$
RE_OD	$\text{ABS}((\text{OD} - 2,5) * \text{OD}) * 100$
DBO	$(17,11 * \text{EXP}(-kr * 1158)) * (0,01 * 86400)$
RE_DBO	$\text{ABS}(\text{DBO} - 18) * \text{DBO} * 100$
RE_TOTAL	$\text{RE\_OD} + \text{RE\_DBO}$

El StatAdvisor  
En este procedimiento se realiza una simulación Monte Carlo, que puede emplearse para estimar la distribución de variables aleatorias que no pueden determinarse teóricamente. Para ejecutar la simulación, presione Aceptar en el cuadro de diálogo de Opciones de Análisis.

## 7.4. Hojas de datos de simulación con QUAL2K

Figura 14. Hoja de datos iniciales de QUAL2K

System ID:	Estero_Guayji
River name	AGOSTO CALI
Saved file name	D:\QUAL2K
Directory where file saved	
Month	8
Day	7
Year	2018
Local time hours to UTC	-6
Daylight savings time	No
Calculation:	
Calculation step	0,1 hours
Final time	30 day
Solution method (integration)	Runge-Kutta
Solution method (pH)	Newton-Raphson
Time zone	Central Standard Time
Program determined calc step	0,093750 hours
Time of last calculation	0,76 minutes
Time of sunrise	12:02 AM
Time of solar noon	6:05 AM
Time of sunset	12:09 PM
Photoperiod	12,11 hours

Figura 15. Hoja de datos de cabecera de QUAL2K

Headwater label	Reach No	Flow	Elevation	Weir	Weir Height	Weir Width	Rating Curves	Manning Formula										
Mainstem headwater	1	0.060	61.000	Sharp	0.0000	0.0000	adam, bdam	Channel Slope: 0.001, Manning n: 0.0350, Box Width: 2.50										
Water Quality Constituents	Units	12:00 AM	1:00 AM	2:00 AM	3:00 AM	4:00 AM	5:00 AM	6:00 AM	7:00 AM	8:00 AM	9:00 AM	10:00 AM	11:00 AM	12:00 PM	1:00 PM	2:00 PM	3:00 PM	4:00 PM
Temperature	C	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85	22.85
Conductivity	umhos	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00	139.00
Inorganic Solids	mg/L	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Dissolved Oxygen	mg/L	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
pH	p.u.	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5

Figura 16. Hoja de Reach (tramos) de ingreso de datos para los tramos

QUAL2K  
Stream Water Quality Model  
Estero\_Guayji (8/7/2018)  
Reach Data:

Reach Element for diel plot	Reach	Reach Number	Reach Headwater	Reach length (km)	Reach Downstream	Latitude	Longitud	Upstream (km)	Downstream (km)	Location	Element	Elevation (m)	Upstream (m)	Downstream (m)	Degrees	Latit
1	Mainstem headwater	1	Yes	0,06	0,00	0,00	0,00	23,985	23,920	2	>=1	61,000	53,000			
2	Tramo 1	2		3,50	0,00	0,00	0,00	23,920	20,420	2		51,000	51,000			
3	Tramo 2	3		3,02	0,00	0,00	0,00	20,420	17,400	8		51,000	52,000			
4	Tramo 3	4		8,68	0,00	0,00	0,00	17,400	8,720	8		52,000	53,000			
5	Tramo 4	5		8,72	0,00	0,00	0,00	8,720	0,000	8		53,000	53,000			

Figura 17. Hoja donde se ingresan las tasas o constantes cinéticas (Reach rates)

QUAL2K  
Stream Water Quality Model  
Estero\_Guayji (8/7/2018)  
Reach Rates and Velocities:

Reach Number	Reach Label	Prescribed Reaeration /d	JSS /m/d	Settling Velocity /d	Hydrolysis Rate /d	Oxidation Rate /d	Fast CBOD Oxidation Rate /d	Hydrolysis Rate /d	Settling Velocity /m/d	Ammonium Nitrification Rate /d	Denitri Rate /m/d	Nitrate Sed Denitri transfer coeff /m/d	Hydrolysis Rate /d	Settling Velocity /m/d	Inorg
1	Mainstem headwater	0,368	0,004				0,046								
2	Tramo 1	0,365	0,004				0,046								
3	Tramo 2	0,597	0,108				0,368								
4	Tramo 3	0,882	0,004				0,011								
5	Tramo 4	1,137	0,009				0,1790								

Figura 18. Hoja donde se ingresan los datos de las descargas puntuales

QUAL2K  
Stream Water Quality Model  
Estero\_Guayji (8/7/2018)  
Point Source Data:

Name	Tributary No.	Headwater Label	Location km	Abstraction m3/s	Inflow m3/s	Temperature	Specific Conductance
						mean range/2 time of max	mean range/2 time of max
Descarga el Guayacan	0	Mainstem headwater	23,92		0,030	23,25	12:00 AM
Riachuelo tributario	0	Mainstem headwater	8,72		0,020	21,85	12:00 AM

Figura 19. Visualización de gráficos de variación de parámetros

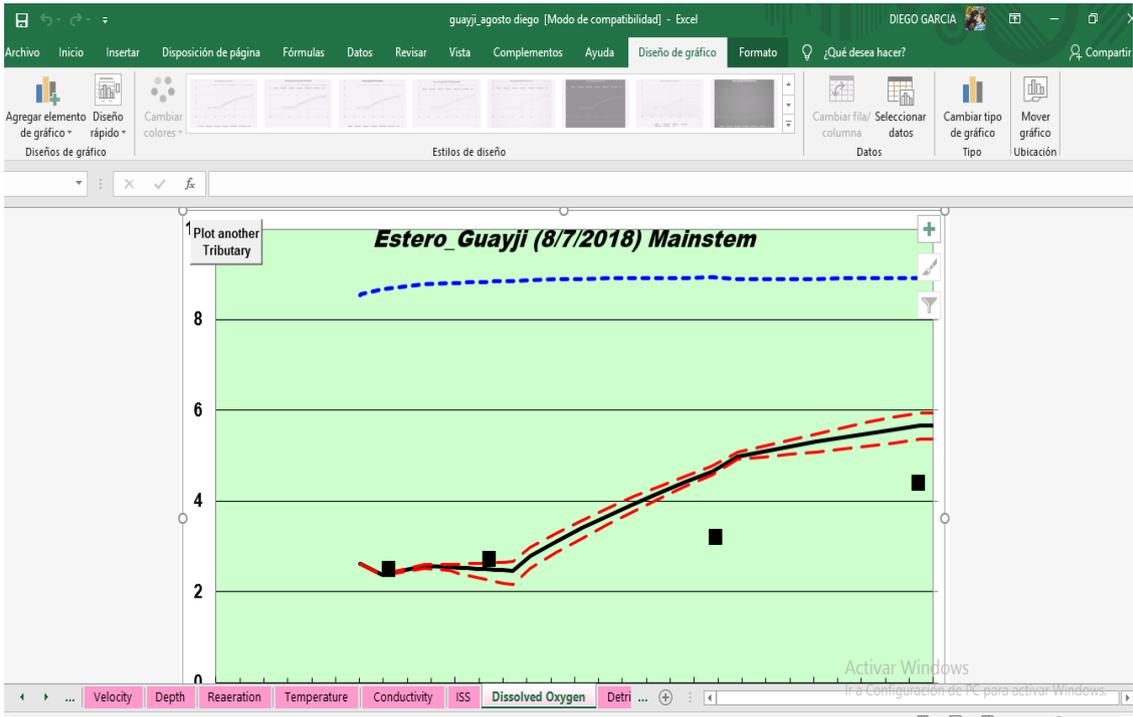


Figura 20. Hoja de resultados

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
7	Reach	Distance	cond (umhos)	ISS (mg/L)	DO(mgO <sub>2</sub> /L)	CBOD <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	CBOD <sub>T</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	NO <sub>3</sub> (ug/L)	NH <sub>4</sub> (ug/L)	NO <sub>3</sub> (ug/L)	Po (ug/L)	Inorg P (ug/L)	Phyto (ug/L)
8	Label	x(km)	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Min
9	Mainstem headwa	23.99	139.00	0.00	2.60	0.00	10.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Mainstem headwa	23.97	139.00	0.00	2.60	0.00	10.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	Mainstem headwa	23.94	139.00	0.00	2.61	0.00	10.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Tramo 1	23.05	92.67	0.00	2.35	0.00	14.85	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00
13	Tramo 1	21.30	92.67	0.00	2.52	0.00	14.77	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
14	Tramo 2	20.23	92.67	0.00	2.47	0.00	14.64	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Tramo 2	19.85	92.67	0.00	2.41	0.00	14.51	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Tramo 2	19.48	92.67	0.00	2.36	0.00	14.38	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
17	Tramo 2	19.10	92.67	0.00	2.31	0.00	14.26	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
18	Tramo 2	18.72	92.67	0.00	2.26	0.00	14.13	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00
19	Tramo 2	18.34	92.67	0.00	2.22	0.00	14.02	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
20	Tramo 2	17.97	92.67	0.00	2.19	0.00	13.91	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00
21	Tramo 2	17.59	92.67	0.00	2.15	0.00	13.80	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00
22	Tramo 3	16.86	92.67	0.00	2.52	0.00	13.82	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00
23	Tramo 3	15.77	92.67	0.00	2.86	0.00	13.84	0.00	0.47	0.01	0.00	0.00	0.00
24	Tramo 3	14.69	92.67	0.00	3.18	0.00	13.86	0.00	0.56	0.01	0.00	0.00	0.00
25	Tramo 3	13.60	92.67	0.00	3.49	0.00	13.87	0.00	0.64	0.01	0.00	0.00	0.00
26	Tramo 3	12.52	92.67	0.00	3.78	0.00	13.88	0.00	0.73	0.01	0.00	0.00	0.00
27	Tramo 3	11.43	92.67	0.00	4.05	0.00	13.89	0.00	0.81	0.02	0.00	0.00	0.00
28	Tramo 3	10.35	92.67	0.00	4.32	0.00	13.89	0.00	0.90	0.02	0.00	0.00	0.00
29	Tramo 3	9.26	92.67	0.00	4.57	0.00	13.90	0.00	0.98	0.03	0.00	0.00	0.00
30	Tramo 4	8.18	75.82	0.00	4.92	0.00	12.82	0.00	0.89	0.03	0.00	0.00	0.00
31	Tramo 4	7.09	75.82	0.00	4.97	0.00	12.72	0.00	0.97	0.03	0.00	0.00	0.00
32	Tramo 4	6.00	75.82	0.00	5.02	0.00	12.55	0.00	1.05	0.03	0.00	0.00	0.00
33	Tramo 4	4.91	75.82	0.00	5.08	0.00	12.38	0.00	1.14	0.04	0.00	0.00	0.00

## 7.5. Reportes del laboratorio



**INFORME DE ENSAYOS**  
74361-1



74361-1 29/11/18 09:40:56 AM Diego Q

**GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO**  
Representante Legal: GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO  
Guayaquil Tercera Etapa, Quevedo Los Rios . Tel. 0960190602  
Atención: Ing. Diego García

Guayaquil, 29 DE NOVIEMBRE DEL 2018

---

**DATOS DE MUESTREO**

---

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo:	18/11/18 13:40 Quevedo - Estero Guayl
Fecha/Hora Recepción Muestras:	19/11/18 11:46
Punto e Identificación de la Muestra:	Punto de muestreo aguas arriba
Matriz de la muestra:	AGUAS NATURALES
Muestreado por/Muestreador/Tipo de Muestra:	GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:	
Coordenadas Geográficas:	17M0667507 - 9885359---
Norma Técnica de muestreo:	N/A---
Muestreo Actividad Acreditada:	Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DRD, DQD, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

---

**AGREGADOS ORGANICOS:**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno (3)	5,55	mgO2/l	0,27	PEE-GQM-FQ-05	19/11/18 LS

**SIMBOLOGÍA:**

---- No. Aplica	U K=2 Incertidumbre	L.M.P. Límite Máximo Permisible
< LD Menor al Límite Detectable	E.P.A. Environmental Protection Agency	P.E.E. Procedimiento Específico de Ensayo
N.E. No Efectuado	S.M. Standard Methods	

**NOMENCLATURA:**

(1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.  
 (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM  
 (3) Parámetro acreditado, cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.  
 (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en [www.acreditacion.gob.ec](http://www.acreditacion.gob.ec)



**G.F. FERNANDO MARCOS V.**  
Director Técnico



**G.F. LAUBA YANQUI M.**  
Coordinadora de Calidad

**¡IMPORTANTE!**  
Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas; FICHARON su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.

Parque California 2 Local D-41 Km. 11,5 vía a Daule  
042-103390(2) / 042-103825(35) / 0998-286653  
[www.grupoquimicomarcos.com](http://www.grupoquimicomarcos.com)  
Guayaquil - Ecuador

MC2201-13

Pág. 1 de 2



74361-2 29/11/18 09:41:08 AM Diego Q

**GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO**  
Representante Legal: GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO  
Guayaquil Tercera Etapa, Quevedo Los Rios, Tel. 0960190602  
Atención: Ing. Diego García

Guayaquil, 29 DE NOVIEMBRE DEL 2018

**DATOS DE MUESTREO**

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 18/11/18 13:10 Quevedo - Estero Guayf  
Fecha/Hora Recepción Muestras: 19/11/18 11:45  
Punto o Identificación de la Muestra: Punto de muestreo Tramo 1  
Matriz de la muestra: AGUAS NATURALES  
Muestreado por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO / Cliente / Simple  
Duración de Muestreo:  
Coordenadas Geográficas: 17M0667052 - 9884999 -  
Norma Técnica de muestreo: N/A -  
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Acidos y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

**AGREGADOS ORGANICOS:**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	10,02	mgO <sub>2</sub> /l	0,48	PEE-GQM-FQ-05	19/11/18 LS

**SIMBOLOGÍA:**

---- No. Aplica

< LD Menor al Límite Detectable

N.E. No Efectuado

U K=2 Incertidumbre

E.P.A. Environmental Protection Agency

S.M. Standard Methods

L.M.P. Límite Máximo Permisible

P.E.E. Procedimiento Específico de Ensayo

**NOMENCLATURA:**

- (1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- (3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en [www.acreditacion.gub.ec](http://www.acreditacion.gub.ec)



Q.F. FERNANDO MARCOS V.  
Director Técnico



Q.F. LAURA YANQUI M.  
Coordinadora de calidad

**IMPORTANTE:**

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.



74361-3 29/11/18 09:41:58 AM Diego Q

**GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO**

Representante legal: GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO  
Guayaquil Tercera Etapa, Quevedo Los Rios, Tel. 0960190602  
Atención: Ing. Diego Garcia

Guayaquil, 29 DE NOVIEMBRE DEL 2018

**DATOS DE MUESTREO**

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 18/11/18 13:45 Quevedo - Estero Guayl  
Fecha/Hora Recepción Muestras: 19/11/18 11:46  
Punto e Identificación de la Muestra: Punto de muestreo Tramo 2.  
Matriz de la muestra: AGUAS NATURALES  
Muestreado por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO / Cliente / Simple  
Duración de Muestreo:  
Coordenadas Geográficas: 17W0696129 - 9883254--  
Norma Técnica de muestreo: N/A--  
Muestro Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

**AGREGADOS ORGANICOS:**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	14,22	mgO <sub>2</sub> /l	0,68	PEE-GQM-FQ-05	19/11/18 LS

**SIMBOLOGÍA:**

--- No. Aplica  
<LD Menor al Límite Detectable  
N.E. No Efectuado  
U.K=2 Incertidumbre  
E.P.A. Environmental Protection Agency  
S.M. Standard Methods  
L.M.P. Límite Máximo Permisible  
P.E.E. Procedimiento Especifico de Ensayo

**NOMENCLATURA:**

- (1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- (3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en [www.acreditacion.gob.ec](http://www.acreditacion.gob.ec)



Q. F. FERNANDO MARCOS V.  
Director Técnico



Q. F. LAURA YANQUI M.  
Coordinadora de calidad

**IMPORTANTE:**

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.



74361-4 29/11/18 09:42:12 AM Diego Q.

**GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO**

Representante Legal: GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO  
Guayaquil Tercera Etapa, Quevedo Las Rías, Tel. 0960190602  
Atención: Ing. Diego García

Guayaquil, 29 DE NOVIEMBRE DEL 2018

**DATOS DE MUESTREO**

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 18/11/18 12:50 Quevedo - Estero Guayff  
Fecha/Hora Recepción Muestras: 19/11/18 11:46  
Punto e Identificación de la Muestra: Punto de muestreo Tramo 3.  
Matriz de la muestra: AGUAS NATURALES  
Muestreado por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO / Cliente / Simple  
Duración de Muestreo:  
Coordenadas Geográficas: 17N0663134 - 9881678  
Norma Técnica de muestreo: N/A  
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

**AGREGADOS ORGANICOS:**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno (3)	5,13	mgO <sub>2</sub> /l	0,25	PEE-GQM-FQ-05	19/11/18 LS

**SÍMBOLOGÍA:**

---- No Aplica  
<LD Menor al Límite Detectable  
N.E. No Efectuado

U K=2 Incertidumbre  
E.P.A. Environmental Protection Agency  
S.M. Standard Methods

L.M.P. Límite Máximo Permisible  
P.E.E. Procedimiento Específico de Ensayo

**NOMENCLATURA:**

- (1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- (3) Parámetro acreditado: cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en [www.acreditacion.gob.ec](http://www.acreditacion.gob.ec)



Q. F. FERNANDO MARCOS V.  
Director Técnico



Q. F. LAURA YANQUI M.  
Coordinadora de calidad

**IMPORTANTE:**

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a la muestra analizada; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.



74361-5 29/11/18 09:42:27 AM Diego Q

**GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO**

Representante Legal: GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO  
Guayaquil Tercera Esada, Quevedo Los Rios, Tel. 0960190602  
Atención: Ing. Diego Garcia

Guayaquil, 29 DE NOVIEMBRE DEL 2018

**DATOS DE MUESTREO**

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 18/11/18 12:10 Quevedo - Estero Guayf  
Fecha/Hora Recepción Muestras: 18/11/18 11:46  
Punto e Identificación de la Muestra: Punto de muestreo Tramo 4.  
Matriz de la muestra: AGUAS NATURALES  
Muestreo por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO / Cliente / Simple  
Duración de Muestreo:  
Coordenadas Geográficas: 17M0659799 - 9881641—  
Norma Técnica de muestreo: N/A—  
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Acolíes y Grasas, TPH, Fosfatos, ST y SST.

**AGREGADOS ORGANICOS:**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K-2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	10.62	mgO <sub>2</sub> /l	0.51	PEE-GQM-FQ-05	19/11/18 LS

**SIMBOLOGÍA:**

— No Aplica  
<LD Menor al Límite Detectable  
N.E. No Efectuado

U K-2 Incertidumbre  
E.P.A. Environmental Protection Agency  
S.M. Standard Methods

L.M.P. Límite Máximo Permisible  
P.E.E. Procedimiento Especifico de Ensayo

**NOMENCLATURA:**

- (1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- (3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en [www.acreditacion.gob.ec](http://www.acreditacion.gob.ec)



Q. P. FERNANDO MARCOS V.  
Director Técnico



Q.F. LAURA YANQUI M.  
Coordinadora de calidad

**IMPORTANTE:**

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.



74361-6 29/11/18 09:42:39 AM Diego Q.

**GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO**

Representante Legal: GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO  
Guayaquil Tercera Etapa, Quevedo Los Rios, Tel. 0990130002  
Atención: Ing. Diego Garcia

Guayaquil, 29 DE NOVIEMBRE DEL 2018

**DATOS DE MUESTREO**

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 18/11/18 13:55 Quevedo - Estero Guayji  
Fecha/Hora Recepción Muestras: 19/11/18 11:46  
Punto e Identificación de la Muestra: Descarga de agua residual (Inicio tramo 1)  
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL  
Muestreo por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO / Cliente / Simple  
Duración de Muestreo:  
Coordenadas Geográficas: 17M0667497-8885293---  
Norma Técnica de muestreo: N/A---  
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

**AGREGADOS ORGANICOS:**

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K-2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	35,90	mgO <sub>2</sub> /l	0,76	PEE-GQM-FQ-05	19/11/18 LS

**SIMBOLOGÍA:**

--- No. Aplica

< LD Menor al Límite Detectable

N.E. No Efectuado

U K-2 Incertidumbre

E.P.A. Environmental Protection Agency

S.M. Standard Methods

L.M.P. Límite Máximo Permisible

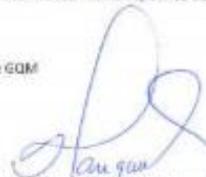
P.E.E. Procedimiento Específico de Ensayo

**NOMENCLATURA:**

- (1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- (3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO, ver alcance en [www.acreditacion.gob.ec](http://www.acreditacion.gob.ec).



**Q. F. FERNANDO MARCOS V.**  
Director Técnico



**Q. F. LAURA YANQUI M.**  
Coordinadora de calidad

**IMPORTANTE:**

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.

## 7.6.Fotografías



Fotografía 1. Limpieza del cauce previo a los aforos



Fotografía 2. Medición de los parámetros de pH, temperatura y conductividad eléctrica



Fotografía 3. Toma de muestra del tramo 4



Fotografía 4. Toma de muestra de la descarga principal del tramo 1



Fotografía 1 Ejecución de las mediciones del cauce en el punto de muestreo tramo 2

# CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCION DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADEMICO



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TESIS. ESTERO GUAYJÌ, GARCIA.docx (D50803014)  
**Submitted:** 4/18/2019 7:50:00 AM  
**Submitted By:** diego.garciaa@uteq.edu.ec  
**Significance:** 10 %

Sources included in the report:

TESIS ESTERO EL PITAL 2018.docx (D43520662)

Instances where selected sources appear:

19

Universidad Técnica Estatal | [Urkund] 31% de similitud | D30710834 - Practicas Ambie | Biblioteca UTEQ - Koha > De | +

https://secure.orkund.com/view/30406739-969726-869910#DcY7DoAgEAXAu2z9Yh6wLJ+RGATD1FBIQ2m8u041j9xtf

**URKUND**

**Documento:** [Practicas Ambientales 2 INFORME.docx](#) (D30710834)

**Presentado:** 2017-09-21 14:09 (-05:00)

**Presentado por:** diego.garciaa@uteq.edu.ec

**Recibido:** jpazmino.uteq@analysis.orkund.com

**Mensaje:** informe 2 practicas ambientales [Mostrar el mensaje completo](#)

9% de estas 7 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques
Categoría	Enlace/nombre de archivo
	<a href="http://www.holcim.com.ec/uploads/EC/Nuestros_procesos_de_produccion_01.pdf">http://www.holcim.com.ec/uploads/EC/Nuestros_procesos_de_produccion_01.pdf</a>
	<a href="#">INFORME PRACTICA AMBIENTAL 2.pdf</a>
	<a href="#">PRACTICAS AMBIENTALES 2 VICTORIA CORRALES.docx</a>
	<a href="#">Practicas Ambientales II ESTEFANIA CEPEDA CAJAS .pdf</a>
	<a href="#">INFORME PRACTICAS AMBIENTALES II.docx</a>
	<a href="http://www.sancarlos.com.ec/portal/es/web/ingeniosancarlos/quienes-somos">http://www.sancarlos.com.ec/portal/es/web/ingeniosancarlos/quienes-somos</a>

0 Advertencias. Reiniciar. Exportar. Compartir

**48%** #1 Activo

UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL NOVENO AÑO de

GESTIÓN AMBIENTAL módulo ix

INFORME PRÁCTICAS AMBIENTALES II (Guayas-Marcelino Maridueña) DOCENTE RESPONSABLE: Ing. Julio Pazmiño

R.

COORDINADORA DE CARRERA: Ing. Mariela Díaz Ponce

ESTUDIANTE:

García Arévalo Diego Armando

AÑO: 5to año -

Decimo módulo

INDICE 1. INTRODUCCION 4 2. OBJETIVOS 5 2.1. OBJETIVOS GENERALES 5 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5 3. JUSTIFICACION 6 4. METODOLOGÍA 7 4.1. UBICACIÓN 7 4.2.

**Archivo de registro Urkund:** UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO / Practicas Ambientales II... **48%**

UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA

GESTIÓN AMBIENTAL

INFORME PRÁCTICAS AMBIENTALES II (GUAYAQUIL) DOCENTE RESPONSABLE: Ing. Julio Pazmiño

COORDINADORA DE CARRERA: Ing. Mariela Díaz Ponce

ESTUDIANTE:

Estefanía

Cepeda Cajás

ACADÉMICO: 5to año - 9

ESP 13:31  
ES 21/9/2017



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

Telefax: (593-05) 759291

Telf. UTEQ: (593-05) 750320 – 751430

Casillas: Guayaquil 10672 – Quevedo 73  
Km. 1.5 vía a Santo Domingo  
Quevedo – Los Ríos - Ecuador

---

Quevedo, 18 de abril del 2019

**CERTIFICACION**

El suscrito **Ing. Julio Cesar Pazmiño Rodríguez, MSc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el proyecto de investigación del estudiante **GARCIA AREVALO DIEGO ARMANDO** con el tema de **“MODELIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL ESTERO GUAYJÌ, CANTÓN QUEVEDO, PROVINCIA DE LOS RIOS, AÑO 2018-2019”** fue ingresado al sistema URKUND y presentó el 10% de similitud, considerando el Reglamento e Instructivos de Proyecto de Investigación de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

---

Ing. Julio Cesar Pazmiño Rodríguez, MSc.  
DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

