



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
Ingeniera en Gestión Ambiental

Título del Proyecto de Investigación:

***“Modelización de la calidad del agua del estero El Pital, cantón Quevedo, estación seca,
año 2018”***

Autora:

García Figueroa Jazmín Margarita

Director de Proyecto de Investigación:

Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez, MSc.

Quevedo-Los Ríos-Ecuador

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Jazmín Margarita García Figueroa, 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.

Jazmín Margarita García Figueroa

C.C. # 094144372-3

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, Ing. Julio Pazmiño Rodríguez MSc., Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante: Srta. García Figueroa Jazmín Margarita, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado ***“Modelización de la calidad del agua del estero El Pital, cantón Quevedo, estación seca, año 2018”***, 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



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 El Pital, cantón Quevedo, estación seca, año 2018”

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

Aprobado por:

PRESIDENTA DEL TRIBUNAL DE TESIS

Dra. Lidia Vlassova

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS

Ing. Wiston Morales Rodríguez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS

Ing. Norma Guerrero Chúez

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR

2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por permitirme estar un día más de vida, y también por mantenerme con salud, energía y poder culminar mis metas; además a mi padre César García, a mi madre Margarita Figueroa y a mi hermano César que siempre me brindan su apoyo mutuo y constante, durante todos mis trayectos; a mis amigas quienes me han extendido su mano y gran apoyo en momentos difíciles para culminar mis proyectos, incluso a mi tutor de tesis Ing. Julio Pazmiño y demás docentes de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo de mi Facultad de Ciencias Ambientales, quienes me brindaron sus conocimientos sobre temas acorde a mi carrera y así lograr mi meta de obtener mi título tan anhelado por todo este tiempo, el de Ingeniera en Gestión Ambiental.

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo en primer lugar a **Dios** quién siempre me ha dado la fortaleza y un día más de vida para seguir adelante con mis proyectos propuestos. A **mi madre Margarita** quién siempre me brinda sus consejos de amiga para continuar con perseverancia y esmero mis metas, a **mi padre César** quien con su rectitud me ilustra la chispa que necesito para ser dinámica a la hora de emprender algo propuesto, a **mi hermano** que con su apoyo durante el desarrollo de mi investigación ha estado allí ayudándome en todo aspecto, a **mi primo** que con sus ocurrencias alegraban el día para seguir avanzando con más entusiasmo mi investigación y trabajo.*

*También dedico esta tesis a **mis amigos** y demás compañeros de curso quienes han contribuido a mi culminación de tesis, en momentos de apuros y demás inconvenientes que se han presentado durante el trayecto.*

*Además, dedico esta tesis a **King P.**, quién fue y será alguien muy especial en mi vida y que rezo siempre por su alma, y esta meta es por demostrarle que lo prometido es deuda.*

Jazmín Margarita García Figueroa

RESUMEN EJECUTIVO

El estero El Pital es un cuerpo de agua que forma parte de la red hídrica de la provincia de los Ríos, atravesando por la zona urbana de la ciudad de Quevedo y desembocando en el río Quevedo. El estero es fuente receptora de una descarga puntual proveniente de una procesadora de frutas, y de dos tributarios, uno proveniente del Sector Promejoras y el otro siendo un ojo de agua que nace desde el sector Gustavo Campi. La presente investigación tuvo como objetivo modelizar la calidad del agua del estero El Pital en la estación seca y como objetivos específicos: (1) determinar las características hidromorfológicas del estero El Pital, (2) caracterizar la calidad del agua del estero El Pital, (3) modelizar la calidad del agua del estero El Pital con el modelo de Streeter-Phelps, y, (4) simular la calidad del agua del estero El Pital con el programa de computadora QUAL2K.

Se llevó a cabo la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua los cuales fueron: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), temperatura (°C) y conductividad eléctrica (CE). Se establecieron siete puntos de muestreo que fueron: tramo 1, tramo 2, tramo 3, aguas arriba del tramo 1, descarga principal y los dos tributarios identificados, con 8 repeticiones quincenales de campañas de muestreo durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, considerados época seca. El modelo matemático aplicado, se basó en las ecuaciones de Streeter-Phelps, que permitió modelizar la calidad del agua del estero El Pital 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 estadístico 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 usando el programa QUAL2K, ingresando la información hidrodinámica del estero y las constantes calibradas.

Palabras clave: Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Calidad del agua, Streeter-Phelps, calibración, constantes cinéticas, simulación Monte Carlo, Qual2k.

ABSTRACT

The current The pital is a body of water that is part of the water network of the province of Los Ríos, which crosses the urban area of the city of Quevedo and ends at the Quevedo River. The current is the receiving source of a point discharge from a fruit processor, and two tributaries, one from the Promejoras Sector and the other being an eye of water that is born from the Gustavo Campi sector. The objective of this research was to model the water quality of the El Pital estuary in the dry season and as specific objectives: (1) determine the hydromorphological characteristics of the current The Pital, (2) characterize the water quality of the El Pital estuary, (3) model the water quality of the current El Pital with the Streeter-Phelps model, and, (4) simulate the water quality of El Pital stream with the QUAL2K computer program.

The characterization of the physicochemical parameters of water quality was carried out, which were: Biochemical oxygen demand (BOD), dissolved oxygen (DO), hydrogen potential (pH), temperature ($^{\circ}$ C) and electrical conductivity (CE). Seven sampling points were established: section 1, section 2, section 3, upstream of section 1, main discharge and the two tributaries identified, with 8 biweekly repetitions of sampling campaigns during the months of July, August, September and October, considered dry season.

The applied mathematical model was based on the Streeter-Phelps equations, which allowed the water quality of the El Pital stream to be modeled to obtain the BOD and DO profiles, where in the first stay the constants were obtained by applying the respective mathematical equations , to then calibrate the kinetic constants of reaaction (K_a), deoxygenation (K_d) and total removal of the BOD (K_r) using the 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 using the QUAL2K program, entering the 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.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN EJECUTIVO	vii
ABSTRACT	viii
TABLA DE CONTENIDO	ix
CÓDIGO DUBLIN	xv
Introducción.....	xvi
CAPÍTULO I.....	18
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.1. Problema de investigación	19
1.1.1. Planteamiento del problema	19
1.1.1.1. Diagnóstico	19
1.1.1.2. Pronóstico	20
1.1.2. Formulación del problema.....	20
1.1.3. Sistematización del problema.....	20
1.2. Objetivos.....	21
1.2.1. Objetivo general.....	21
1.2.2. Objetivos específicos	21
1.3. Justificación	21
CAPÍTULO II.....	22
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
2.1. Marco conceptual	23
2.1.1. Calidad del agua	23
2.1.1.1. Contaminación del agua	23
2.1.1.2. Fuentes de contaminación	23
2.1.1.3. Efectos de la contaminación del agua	24
2.1.1.4. Parámetros de calidad del agua superficial.....	25
2.1.1.4.1. Parámetros físicos	25
2.1.1.4.1.1. Temperatura	25
2.1.1.4.1.2. Olor	26
2.1.1.4.1.3. Color.....	26
2.1.1.4.1.4. Conductividad eléctrica	26

2.1.1.4.2.	Parámetros químicos	27
2.1.1.4.2.1.	pH.....	27
2.1.1.4.2.2.	Oxígeno disuelto (OD)	27
2.1.1.4.2.3.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	28
2.1.2.	Modelos de calidad del agua	28
2.1.2.1.	Modelo de Streeter-Phelps.....	28
2.1.2.2.	Programa QUAL-2K.....	29
2.1.2.3.	Calibración de los modelos de calidad del agua	30
2.2.	Marco referencial.....	32
CAPÍTULO III		37
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		37
37		
3.1.	Localización	38
3.1.1.	Características edafoclimáticas de la zona	39
3.1.1.1.	Altitud	39
3.1.1.2.	Temperatura.....	39
3.1.1.3.	Precipitación	39
3.1.1.4.	Suelo.....	40
3.1.1.5.	Cambios climáticos	40
3.2.	Tipo de investigación.....	40
3.3.	Métodos de investigación.....	40
3.4.	Fuentes de información.....	41
3.5.	Diseño de la investigación	41
3.5.1.	Determinación de las características hidrodinámicas del estero El Pital.....	41
3.5.2.	Caracterización de la calidad del agua del estero El Pital	42
3.5.2.1.	Identificación puntos de muestreo	43
3.5.2.2.	Recolección de muestras de agua.....	45
3.5.3.	Modelización de la calidad del agua del estero El Pital con el modelo matemático de Streeter-Phelps	45
3.5.4.	Simular la calidad del agua del estero El Pital con el programa de computadora QUAL2K48	
3.6.	Instrumentos de investigación.....	49
3.6.1.	Hojas de cálculo para caudales	49
3.6.2.	Hojas de calibración de Statgraphics	49
3.6.3.	Hoja del modelo de Streeter-Phelps.....	49
3.7.	Tratamiento de los datos	49
3.7.1.	Análisis de rendimiento.....	49

3.8.	Materiales y equipos	51
3.8.1.	Materiales y equipos	51
CAPÍTULO IV		52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		52
4.1.	Resultados de la investigación	53
4.1.1.	Características hidromorfológicas del estero El Pital	53
4.1.1.1.	Caudal	53
4.1.1.2.	Velocidad de la corriente.....	54
4.1.1.3.	Profundidad del cauce	56
4.1.2.	Caracterización de la calidad del agua del estero El Pital	57
4.1.2.1.	Oxígeno disuelto	57
4.1.2.2.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	59
4.1.2.3.	pH.....	61
4.1.2.4.	Conductividad eléctrica.....	62
4.1.3.	Modelización de la calidad del agua con el modelo de Streeter-Phelps.....	64
4.1.3.1.	Constantes cinéticas	64
4.1.3.1.1.	Constante de reaireación (ka)	64
4.1.3.1.2.	Constante de desoxigenación (kd)	65
4.1.3.1.3.	Constante de remoción total de la DBO (kr).....	65
4.1.3.2.	Comportamiento del Oxígeno Disuelto y la Demanda Bioquímica de Oxígeno	66
4.1.3.2.1.	Comportamiento del OD y la DBO en el mes de julio.....	66
4.1.3.2.2.	Comportamiento del OD y la DBO en el mes de agosto.....	69
4.1.3.2.3.	Comportamiento del OD y la DBO en el mes de septiembre	72
4.1.3.2.4.	Comportamiento del OD y la DBO en el mes de octubre	76
4.1.3.2.5.	Análisis de rendimiento.....	79
4.1.4.	Simulación de la calidad del agua del estero El Pital con QUAL2K.....	80
4.1.4.1.	Simulación del OD y la DBO en el mes de julio	80
4.1.4.2.	Simulación del OD y la DBO en el mes de agosto	82
4.1.4.3.	Simulación del OD y la DBO en el mes de septiembre.....	84
4.1.4.4.	Simulación del OD y la DBO en el mes de octubre.....	86
4.1.4.5.	Calibración de constantes cinéticas de QUAL2K.....	88
4.1.4.6.	Análisis de rendimiento.....	89
4.2.	Discusión.....	90
CAPÍTULO V		94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		94
5.1.	Conclusiones	95
5.2.	Recomendaciones	98

CAPÍTULO VI	99
BIBLIOGRAFÍA	99
6.1. Referencias Bibliográficas	100
CAPÍTULO VII.....	104
ANEXOS.....	104
7.1. Tablas de datos generales sobre las características hidromorfológicas del estero El Pital ..	105
7.2. Tablas de datos generales sobre las características físicoquímicas del estero El Pital	108
7.3. Hojas de cálculo del modelo de Streeter-Phelps	112
7.4. Hojas de datos de simulación con QUAL2K	116
7.5. Reportes del laboratorio.....	120
7.6. Fotografías	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos utilizados para la medición de parámetros físicos y químicos básicos	43
Tabla 2. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.....	44
Tabla 3. Requerimiento del laboratorio acreditado.....	45
Tabla 4. Fórmulas y rangos de profundidad y velocidad utilizados para estimar <i>ka</i>	47
Tabla 5. Medidas de bondad del ajuste	50
Tabla 6. Materiales y equipos utilizados en la investigación	51
Tabla 7. Caudales en l/s del estero El Pital en la estación seca	53
Tabla 8. Velocidad de la corriente principal en m/s del estero El Pital.....	55
Tabla 9. Profundidad de la corriente principal del estero El Pital, en m.....	56
Tabla 10. Niveles de oxígeno disuelto en el estero El Pital, en mg/l.....	58
Tabla 11. DBO ₅ en el estero El Pital, en mg/l	59
Tabla 12. Valores de pH en el estero El Pital.....	61
Tabla 13. Conductividad eléctrica en el estero El Pital, en $\mu\text{S}/\text{cm}$	63
Tabla 14. Valores calculados y calibrados de la constante de reaireación (<i>ka</i>)	64
Tabla 15. Valores calculados y calibrados de la constante de desoxigenación (<i>kd</i>)	65
Tabla 16. Valores calculados y calibrados de la constante de remoción total de la DBO (<i>kr</i>)	66
Tabla 17. Características de la cabecera, descarga y tributarios en el mes de julio.....	67
Tabla 18. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de julio.....	67
Tabla 19. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de julio, %	69
Tabla 20. Características de la cabecera, descarga y tributarios en el mes de agosto.....	70
Tabla 21. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de agosto.....	70
Tabla 22. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de agosto, %.....	72
Tabla 23. Características de la cabecera, descarga y tributarios en el mes de septiembre	73
Tabla 24. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de septiembre	73
Tabla 25. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica del mes de septiembre, en %.	75
Tabla 26. Características de la cabecera, descarga y tributarios en el mes de octubre	76

Tabla 27. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de octubre	76
Tabla 28. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica del mes de octubre, en %	78
Tabla 29. Rendimiento del modelo de Streeter-Phelps con respecto al OD.....	79
Tabla 30. Rendimiento del modelo de Streeter-Phelps con respecto a la DBO.....	79
Tabla 31. Valores calibrados de las constantes cinéticas en QUAL2K vs Streeter-Phelps.....	88
Tabla 32. Rendimiento de QUAL2K con respecto al OD.....	89
Tabla 33. Rendimiento de QUAL2K con respecto a la DBO.....	89
Tabla 34. Valores obtenidos en el cálculo del caudal por fechas de las campañas de muestreo en l/s	105
Tabla 35. Promedio de los caudales en m/s.....	105
Tabla 36. Valores obtenidos en el cálculo de la velocidad por fechas de las campañas de muestreo..	105
Tabla 37. Promedio de la velocidad en m/s.....	106
Tabla 38. Valores obtenidos en el cálculo de la profundidad por fechas de las campañas de muestreo	106
Tabla 39. Promedio de la profundidad en m	106
Tabla 40. Valores de DBO mg/l	108
Tabla 41. Promedio de DBO mg/l	108
Tabla 42. Valores de oxígeno disuelto mg/l.....	109
Tabla 43. Valores promedio de oxígeno disuelto mg/l	109
Tabla 44. Mediciones de pH.....	109
Tabla 45. Promedio pH	110
Tabla 46. Mediciones de temperatura, °C	110
Tabla 47. Promedio de temperatura °C	110
Tabla 48. Mediciones de conductividad eléctrica.....	111
Tabla 49. Promedio de conductividad eléctrica.....	111

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Variación del caudal promedio de la corriente principal del estero El Pital	54
Gráfico 2. Velocidad promedio de la corriente principal del estero El Pital, en m/s	55
Gráfico 3. Variación promedio de la profundidad en la corriente principal del estero El Pital.....	57
Gráfico 4. Variación promedio del oxígeno disuelto en el estero El Pital	58
Gráfico 5. Variación promedio de la DBO ₅ en el estero El Pital.....	60
Gráfico 6. Variación promedio del pH en la corriente principal del estero El Pital	62
Gráfico 7. Variación promedio de la conductividad eléctrica en la corriente principal del estero El Pital	63
Gráfico 8. Perfil del OD del mes de julio.....	68
Gráfico 9. Perfil de la DBO del mes de julio.....	69
Gráfico 10. Perfil del OD del mes de agosto.....	71
Gráfico 11. Perfil de la DBO del mes de agosto.....	72
Gráfico 12. Perfil del OD del mes de septiembre	74
Gráfico 13. Perfil de la DBO del mes de septiembre	75
Gráfico 14. Perfil del OD del mes de octubre	77
Gráfico 15. Perfil de la DBO del mes de octubre	78
Gráfico 16. Simulación del OD con QUAL2K del mes de julio	80
Gráfico 17. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de julio	81

Gráfico 18. Simulación del OD con QUAL2K del mes de agosto	82
Gráfico 19. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de agosto	83
Gráfico 20. Simulación del OD con QUAL2K del mes de septiembre	84
Gráfico 21. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de septiembre	85
Gráfico 22. Simulación del OD con QUAL2K del mes de octubre.....	86
Gráfico 23. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de octubre.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del sitio de estudio	38
Figura 2. Mapa de localización de los tramos y puntos de monitoreo	44
Figura 3. Curva sag de oxígeno disuelto en corrientes de agua superficial	46
Figura 4. Interfaz del software QUAL2K	48
Figura 5. Hojas de cálculo de caudales Aguas Arriba	106
Figura 6. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 1	107
Figura 7. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 2	107
Figura 8. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 3	108
Figura 9. Hoja de cálculo de Streeter-Phelps, mes de julio	112
Figura 10. Hojas de cálculo modelo Streeter-Phelps, mes de agosto	112
Figura 11. Hojas de cálculo modelo Streeter-Phelps, mes de septiembre	113
Figura 12. Hojas de cálculo modelo de Streeter-Phelps, mes de octubre	113
Figura 13. Hojas de Statgraphics, para el cálculo de las constantes cinéticas	114
Figura 14. Hojas de Statgraphics para el cálculo de las constantes cinéticas	114
Figura 15. Hojas de Statgraphics para el cálculo de las constantes cinéticas	115
Figura 16. Hoja de datos iniciales de QUAL2K	116
Figura 17. Hoja de datos de cabecera de QUAL2K	116
Figura 18. Hoja de Reach (tramos) de ingreso de datos para los tramos	117
Figura 19. Hoja donde se ingresan las tasas o constantes cinéticas (Reach rates)	117
Figura 20. Hoja donde se ingresan los datos de las descargas puntuales	118
Figura 21. Hoja donde se ingresan los datos de los puntos de muestreo	118
Figura 22. Visualización de gráficos de variación de parámetros	119
Figura 23. Hoja de resultados	119

CÓDIGO DUBLIN

Título:	“Modelización de la calidad del agua del estero El Pital, cantón Quevedo, estación seca, año 2018”				
Autora:	García Figueroa Jazmín Margarita				
Palabras clave:	Oxígeno Disuelto	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Calidad del agua	Streeter-Phelps	Calibración
	Qual2k	Simulación Monte Carlo	Constantes cinéticas		
Fecha de publicación:					
Editorial:					
Resumen: (hasta 300 palabras)	El estero El Pital es un cuerpo de agua que forma parte de la red hídrica de la provincia de los Ríos, atravesando por la zona urbana de la ciudad de Quevedo y desembocando en el río Quevedo. El estero es fuente receptora de una descarga puntual proveniente de una procesadora de frutas, y de dos tributarios, uno proveniente del Sector Promejoras y el otro siendo un ojo de agua que nace desde el sector Gustavo Campi. La presente investigación tuvo como objetivo modelizar la calidad del agua del estero El Pital en la estación seca y como objetivos específicos: (1) determinar las características hidromorfológicas del estero El Pital, (2) caracterizar la calidad del agua del estero El Pital, (3) modelizar la calidad del agua del estero El Pital con el modelo de Streeter-Phelps, y, (4) simular la calidad del agua del estero El Pital con el programa de computadora QUAL2K. Se llevó a cabo la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua los cuales fueron: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), temperatura (°C) y conductividad eléctrica (CE). Se establecieron siete puntos de muestreo que fueron: tramo 1, tramo 2, tramo 3, aguas arriba del tramo 1, descarga principal y los dos tributarios identificados, con 8 repeticiones quincenales de campañas de muestreo durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, considerados época seca. El modelo matemático aplicado, se basó en las ecuaciones de Streeter-Phelps, que permitió modelizar la calidad del agua del estero El Pital 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 estadístico 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 usando el programa QUAL2K, ingresando la información hidrodinámica del estero y las constantes calibradas.				
Descripción:					
URI:	<u>(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)</u>				

Introducción

En la actualidad la contaminación ambiental afecta constantemente a los diferentes recursos naturales que posee el planeta, como es el caso del agua, que es un elemento vital para asegurar la vida de los seres vivos y su continuidad en ella. El ser humano realiza muchas actividades diariamente en las que hace uso del recurso hídrico, sin embargo el problema se genera al momento de gestionar las aguas residuales, las cuales suelen ser la causa principal de contaminación ambiental de las corrientes naturales, debido a que se suelen descargar con altas concentraciones de contaminantes, afectando los niveles normales e ideales de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas superficiales.

El agua cubre más del 70 % de la superficie del planeta, la podemos encontrar en océanos, lagos, ríos, en el aire, en el suelo. Es la fuente de sustento de la vida, contribuye a regular el clima y con su fuerza modela la Tierra, posee propiedades únicas que la hacen especial y esencial para la subsistencia de los seres vivos. Es un solvente extraordinario, un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos, tiene una gran capacidad calorífica y tiene la propiedad de expandirse cuando se congela, siendo así que puede modelar el paisaje y afectar el clima. Los océanos representan casi el 97, 5 % del agua del planeta y únicamente el 2,5 % es agua dulce [1].

A pesar de ser un recurso que ocupa grandes territorios del planeta y que se genera por diversos procesos naturales, no quiere decir que sea inagotable, más bien es un recurso no renovable y que puede llegar a ser en un futuro un elemento escaso. Esto debido a la alteración de su composición, ya sean por causas naturales o antropogénicas como son los problemas causados por el incremento y expansión de la población, que provoca la generación de residuos, la contaminación de ríos, esteros, generación de aguas residuales domésticas o industriales que suelen ser descargadas en los cuerpos de aguas.

En el Ecuador la situación actual con respecto al cuidado del agua es un tema que ha tenido mucha relevancia en los últimos años por parte del gobierno, por ser un país rico en biodiversidad a nivel mundial, en donde, se puede encontrar ecosistemas únicos los cuáles merecen ser conservados. Muchas organizaciones ambientales han mostrado interés en promover políticas y hacer valer los derechos de la naturaleza, para hacer uso de estos recursos

de una manera consciente y viablemente sostenible, brindando el derecho a los ecuatorianos de acceder al recurso agua siendo de calidad para el consumo tal como lo establece la Constitución del Ecuador.

A pesar de ello, estas iniciativas no son llevadas a cabo o no se cumplen obligatoriamente por diversos motivos ya sean políticos, económicos o sociales, o simplemente porque el país o las pequeñas ciudades no cuentan con las herramientas especializadas para poder realizar análisis y llegar a determinar la calidad del agua que la población da uso.

La ciudad de Quevedo se caracteriza por poseer un cuerpo de agua con gran extensión llamado como su propio nombre, “río Quevedo”, que recorre varias partes de la ciudad y que en sus riberas muchas poblaciones se benefician del mismo, por lo cual, no es ninguna novedad que este río sea el receptor principal de descargas de aguas servidas domésticas e industriales que desde un inicio provienen de esteros que desembocan en el río, llegando a alterar la calidad y propiedades de estos recursos.

Por medio de la presente investigación, se busca determinar los niveles de oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno en el estero “El Pital” en la ciudad de Quevedo, a través de la utilización del modelo matemático de Streeter-Phelps, donde el modelo nos reflejará el potencial de autodepuración de este cuerpo de agua, y el grado de contaminación que posee, provocado por las aguas residuales.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

La contaminación hídrica o contaminación del agua se produce cuando se le agrega o deposita algún tipo de material o sustancia considerada tóxica que llegue a afectar sus propiedades naturales, estas sustancias pueden generarse a partir de fuentes naturales o de las actividades del ser humano. La realidad es que las actividades antropogénicas como la industrialización, utilizan en gran cantidad el agua y que después de ser usadas, estas serán aguas residuales que suelen ser depositadas en cuerpos de agua cercanas como los esteros o ríos, siendo una de las principales causas de contaminación a los cuerpos de agua [2].

El estero El Pital es una corriente superficial perteneciente a la red hidrográfica del cantón Quevedo, que por diversas causas, se ha convertido en receptor de descargas provenientes tanto de los hogares que se han asentado en sus riberas, como también por las industrias cercanas.

El problema radica en que la ciudad de Quevedo no cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) operativa, donde estas aguas sean tratadas adecuadamente y, por consiguiente, ser descargadas en los cuerpos de agua, pero con una menor carga contaminante, asegurando no causar un alto impacto a los demás ecosistemas y los organismos que viven en ellos. Al no contar con una PTAR operativa para una ciudad en crecimiento como lo es el cantón Quevedo, las aguas que genera la ciudad son generalmente descargadas a sus esteros, llegando a degradar poco a poco estos ecosistemas que en sus condiciones naturales brindan vida a diversos organismos y permiten la realización de diferentes actividades domésticas e industriales relacionadas con el recurso hídrico.

1.1.1.1. Diagnóstico

El desordenado crecimiento poblacional en el cantón Quevedo ha producido la ocurrencia de asentamientos residenciales y agroindustriales en los márgenes del estero El Pital. Este problema tiene como consecuencia la alteración del flujo natural de la corriente, y al mismo tiempo, se generan descargas de aguas servidas, situación que se agrava por el hecho de que los sectores por donde atraviesa El Pital (El Pital 1, Cooperativa La Libertad, 15 de

Noviembre, El Pital 2, Cooperativa Puerto López, Lotización Rosita Elena y Cooperativa Los Chapulos) no cuentan con servicio de alcantarillado sanitario. Consecuentemente, las aguas contaminadas son descargadas sin previo tratamiento al estero, y posteriormente, contribuyen a la contaminación del río Quevedo. Además, la contaminación del estero tiene el potencial de perjudicar la salud de los pobladores, incluyendo a los niños que suelen utilizar las aguas para actividades recreativas.

1.1.1.2. Pronóstico

La falta de acciones y proyectos tendientes a dotar de servicio de alcantarillado, fomentar el ordenamiento territorial, y poner en operación la PTAR, acarrearía el agravamiento de los conflictos socioambientales y sanitarios identificados en el lugar de estudio, incluyendo el deterioro de la calidad hídrica del estero El Pital a niveles en que sea muy difícil mantener y preservar su ictiofauna, así como que sea prohibitivo las diferentes opciones de uso de sus aguas para el desarrollo de actividades domésticas, recreativas, comerciales e industriales.

1.1.2. Formulación del problema

¿Es factible la evaluación y predicción del impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad hídrica del estero El Pital 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 El Pital?

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

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

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

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Modelizar la calidad del agua del estero El Pital, en la estación seca.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar las características hidromorfológicas del estero El Pital.
- Caracterizar la calidad del agua del estero El Pital.
- Modelizar la calidad del agua del estero El Pital con el modelo de Streeter-Phelps.
- Simular la calidad del agua del estero El Pital con el programa de computadora QUAL2K.

1.3. Justificación

La importancia de la investigación radica en el alto grado de contaminación que caracterizan a los cuerpos de agua en la actualidad debido a las acciones poco amigables con el ambiente del ser humano al realizar sus actividades productivas y domésticas. El consumo de agua de las poblaciones humanas genera aguas residuales y producen desechos, los que llegan a ser contaminantes que afectan la calidad del agua de los cuerpos superficiales. Existen zonas que han sido privilegiados al disponer de agua dulce aprovechable para el uso del ser humano y que corren peligro de ser limitados debido a la creciente contaminación [3].

Estos cuerpos de agua amparan diversidad de organismos que necesitan de sus condiciones naturales para poder subsistir; un estero limpio conlleva a la existencia de vida acuática, a un consumo sano y apto para los seres vivos y a una mejora del entorno natural. Entonces, el estudio de los cambios en las condiciones naturales de un cuerpo de agua que se dan por diferentes causas, mediante el uso de herramientas de modelización matemática, ayudará a tomar mejores decisiones en relación con la prevención y control de la contaminación del estero El Pital, ya que los modelos matemáticos han sido utilizados en las últimas décadas por la necesidad de estudiar o evaluar la contaminación generada por las aguas vertidas y su impacto en el medio, porque afectan no solo a la calidad del ambiente, sino también a los seres vivos que dependen de este recurso [4].

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Calidad del agua

La calidad del agua se relaciona con las condiciones óptimas en las que se encuentra un recurso hídrico, que se basa en el grado de contaminación y pureza. Para determinar la calidad del agua tanto para consumo humano u otro uso, se necesita evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas, las cuales deberán encontrarse en las condiciones adecuadas para favorecer a prevenir enfermedades por agentes patógenos. La principal causa de la contaminación del agua dulce, son los vertidos incontrolados de las aguas residuales urbanas e industriales, muchas veces sin previo tratamiento [1].

2.1.1.1. Contaminación del agua

La contaminación de las aguas se ha incrementado desde la Revolución Industrial debido al vertido de residuos agrícolas, industriales y domésticos formados por compuestos biodegradables y no biodegradables. La cantidad total de agua permanece prácticamente en equilibrio gracias a los procesos del ciclo hidrológico que permiten el continuo intercambio de agua dentro de la hidrosfera, entre la atmósfera, el agua superficial y subterránea y los organismos vivos [5].

La contaminación puede definirse como la introducción de una sustancia en el medio ambiente a niveles que llevan a la pérdida del uso benéfico de un recurso o la degradación de la salud de los seres humanos, la vida silvestre o los ecosistemas. Los contaminantes se descargan en sistemas acuáticos desde fuentes puntuales (ubicaciones estacionarias como una tubería de efluentes) y desde fuentes no puntuales (también llamadas difusas) como el escurrimiento de la tierra y la atmósfera. El flujo de masa de un contaminante se denomina su carga y se expresa en unidades de masa por unidades de tiempo [6].

2.1.1.2. Fuentes de contaminación

Una gran variedad de fuentes contaminantes determinan el grado de calidad de agua, sean materiales químicos, tales como metales, pesticidas, herbicidas, productos industriales, etc.; también las grandes cantidades de micro-organismos patógenos pueden contaminar el agua.

Algunas enfermedades pueden aparecer como además el aumento de muertes en especies vegetales y animales que a su vez se convierten en biodegradables [7].

Algunas fuentes son:

- Agrícola ganadero (tipo difusa, materia orgánica, nutrientes, microorganismos)
- Doméstico (aguas residuales, alimentos, basuras, jabones, biodegradable, tratamientos biológicos)
- Urbana (lluvia aceites, materia orgánica, contaminantes de la atmósfera, pesticidas, abonos)
- Industrial (procesos, aguas de enfriamiento, sustancias tóxicas, iones metálicos, productos químicos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, etc.) [8].

Con frecuencia, la intensificación de la agricultura viene acompañada de un aumento de la erosión de los suelos, mayores cargas de sedimentos en el agua y un uso excesivo de los insumos agrícolas para mejorar la productividad. Cuando el uso de estos productos supera la capacidad de asimilación de los sistemas agrícolas, las cargas de contaminantes en el medio ambiente son mayores. Desde el siglo XIX, las fuentes contaminantes son diversas y entre las más conocidas son aquellas residuales por parte de empresas que liberan diversos tipos de contaminantes, los cuales afectan los ecosistemas acuáticos como consecuencia de su pasaje por las explotaciones agrícolas, industriales, etc.; las principales vías de contaminación están: i) percolación hacia las aguas subterráneas; ii) escorrentía superficial; iii) aguas residuales [9].

2.1.1.3. Efectos de la contaminación del agua

Los principales efectos que ocasiona el agua contaminada en el ambiente son contaminación por microorganismos (transmisión de enfermedades), pérdida de flora y fauna acuática, exposición a infecciones crónicas en el ser humano (contaminación química), pérdida de proteínas contenidas en los peces, entre otros [1].

Los contaminantes en el agua pueden causar incontables daños a la salud humana y el equilibrio de los ecosistemas. La presencia de nitratos en el agua potable, en algunos casos, puede conducir a la muerte de los niños. Los residuos industriales contienen una gran variedad de contaminantes y su composición varía de acuerdo con el tipo de proceso de producción, su

impacto sobre el medio ambiente es complejo: las sustancias tóxicas contenidas a menudo en estos tubos de escape refuerzan mutuamente sus efectos nocivos y entonces el daño total es mayor que la suma de los efectos individuales [10]. Todas estas concentraciones de contaminantes en aguas de consumo dan como efecto la transmisión de enfermedades mortales tanto para adultos e infantes, como además causando el deterioro vegetal y degradando su calidad para uso de fuente acuática, ya que los agricultores y ganaderos hacen uso de este recurso, siendo los principales afectados [11].

2.1.1.4. Parámetros de calidad del agua superficial

Los principales parámetros necesarios para conocer y evaluar la calidad del agua de un recurso hídrico son los físico-químicos, los cuales dan información de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas. La ventaja de estos parámetros a diferencia de los biológicos, es que son análisis que suelen ser más rápidos de obtener y con frecuencia pueden ser monitoreados [12].

2.1.1.4.1. Parámetros físicos

2.1.1.4.1.1. Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros físicos de calidad del agua, tiene un efecto significativo en la tasa de crecimiento de los microorganismos, aquellos que operan en un intervalo de temperatura más alta tienen una mayor tasa de crecimiento que los operarios en un intervalo inferior es relativamente estrecho. Al aumentar la temperatura, se observa un aumento gradual de la tasa de crecimiento hasta que se observa una caída abrupta debido a la desnaturalización de las proteínas a una temperatura más alta [11]. Aparte, la temperatura también afecta los procesos físicos (volatilización, solubilidad de sales y gases como el oxígeno, estratificación de estanques), los procesos químicos (pH, equilibrio de ionización o concentración de amoníaco, velocidades de reacción) y los procesos biológicos (tasa metabólica, descomposición de materia orgánica) y por lo tanto, repercute en el efecto de los agentes contaminantes [13].

2.1.1.4.1.2. Olor

El olor se determina mediante el método de las diluciones, que consiste en un panel de cata que determina el grado de dilución necesario para conseguir que desaparezca un determinado tipo de olor presente en el agua. Si tiene un olor aromático como hierba o madera indica que existe materia orgánica en las aguas superficiales; pero si el olor es nauseabundo indica que hay sulfuro hidrógeno o contaminaciones nocivas disueltas en el agua [5]. Este parámetro es fundamental en la clasificación de calidad de las aguas, es considerado una característica organoléptica [14]. La excesiva presencia y concentración de amoníaco en los ríos o arroyos, indican por lo general la existencia de contaminantes agrícolas o civiles, que puede llegar a alterar el olor y sabor del agua [15].

2.1.1.4.1.3. Color

El color es otra característica organoléptica, se puede medir visualmente, empleando la luz diurna difusa sobre fondo blanco, o con un espectrofotómetro visible. Este equipo emite un haz de luz monocromática a través de la muestra y mide la cantidad de luz absorbida en el procedimiento, indicando la naturaleza de la sustancia en la muestra y la cantidad de sustancia presente; estos equipos también pueden utilizarse para cuantificar sustancias y microorganismos. El color puede llegar a dar una idea de la causa que los provoca, sin embargo existen muchas y por ello es difícil definirlo, sin embargo por el color del agua se puede llegar a rechazar un cuerpo hídrico por estética [5].

2.1.1.4.1.4. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se define como una medida del grado de mineralización de las aguas, como también de la carga iónica presente en un cuerpo hídrico. Los altos valores de conductividad, indican una importante cantidad de iones en el medio [16]. A menudo, se incorpora este parámetro, porque sirve como señal de ingreso de fertilizantes inorgánicos y por la relación con las concentraciones relativas de iones, cloruros, sulfato y potasio [13].

2.1.1.4.2. Parámetros químicos

2.1.1.4.2.1. pH

Es una variable común cuando se habla de Índices de Calidad del Agua, por su potencial como indicador general de la calidad del agua, grado de contaminación por agentes y de la extensión de la contaminación producida por la descarga de un afluente. La variabilidad del pH puede indicar el ingreso de diferentes tipos de contaminantes como los fertilizantes, particularmente cuando se reportan mediciones continuas junto con la conductividad del agua, y también indicador de niveles de eutrofización [13]. El pH indica la concentración de iones hidronios en el agua y usado como una medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa:

pH=7 medio neutro

pH<7 medio ácido

pH>7 medio básico

El pH en el agua neutral depende de la concentración de CO₂, las aguas con pH entre 6 a 7, dos permiten el desarrollo de una gran biomasa [8].

2.1.1.4.2.2. Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto se requiere para mantener una comunidad balanceada de organismos en lagos ríos y el océano. Cuando un desperdicio demandante de oxígeno (medido como DBO) se añade al agua, la velocidad a la que el oxígeno es consumido al oxidar dicho desperdicio (desoxigenación) puede exceder la velocidad a la que el oxígeno se vuelve a suplir desde la atmósfera (aireación). Esto puede llevar al agotamiento de los recursos de oxígeno, con concentraciones muy por debajo de los niveles de saturación. Cuando los niveles de oxígeno son muy por debajo de los 4 a 5 mg/l, la reproducción de los peces se ve perjudicada [6]. El oxígeno disuelto se incluye en la mayoría de estudios para determinar la calidad de un cuerpo de agua, porque define en gran parte la biodiversidad y la supervivencia de la comunidad biótica [13].

2.1.1.4.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO es la cantidad de oxígeno (expresada en mg/l) consumida, en condiciones de ensayo (20°C, presión atmosférica y oscuridad) y en un tiempo dado, como consecuencia de la oxidación “por vía biológica” de las materias biodegradables presentes en el agua residual (es decir, involucra la materia orgánica fácilmente oxidable). Este índice depende fuertemente de la temperatura y débilmente de la presión. Para el control de los procesos de depuración o autodepuración suele adoptarse como índice la DBO a 5 días (DBO5), cuyo valor se aproxima suficientemente al valor asintótico de la DBO correspondiente al ciclo del carbono [17].

2.1.2. Modelos de calidad del agua

El objetivo primordial de los modelos de análisis ambiental es convertirse en una herramienta útil que permita realizar una estimación correcta de las variables ambientales y una identificación eficiente de los factores que generan estos impactos, de tal manera se puede tener un mejor conocimiento de los problemas presentes y de las posibles soluciones a los mismos [18].

2.1.2.1. Modelo de Streeter-Phelps

Un modelo matemático es una ecuación o un conjunto de ellas que relacionan parámetros de entrada y variables para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad; basados en suposiciones y simplificaciones específicas del sistema real que está siendo modelado [19].

El modelo fue estructurado por primera vez por Streeter-Phelps (1925) para describir el comportamiento del Río Ohio. El modelo establece que la carga de materia orgánica de Demandad Bioquímica de Oxígeno (DBO) es el alimento principal de las bacterias presentes en el río, estas llevan a cabo un proceso de oxidación mediante el cual consumen oxígeno disuelto en el agua y materia orgánica. Como resultado de este proceso, la cantidad de oxígeno disuelto (OD) debería reducirse hasta hacerse cero, llevando el río a la anoxia, con los consecuentes cambios en las rutas de degradación de algunos compuestos, especialmente aquellos que contienen hierro y azufre, originando el H_2S , con el característico olor a huevos descompuestos sumado la presencia de iones ferrosos [20].

2.1.2.2. Programa QUAL-2K

Existen herramientas que fueron diseñados para el análisis de la calidad del agua, entre ellas, los modelos informáticos tales como el River and Stream Water Quality Model (QUAL2K), desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés). Este modelo, ayuda a describir los procesos de autodepuración presentes en los ríos tomando en cuenta las condiciones hidráulicas y ambientales [18].

El modelo QUAL2K fue desarrollado por Steven Chapra en el año 2001 como continuación y modificación de los diversos modelos QUAL que se habían desarrollado desde la década de los 80's por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). Este modelo considera los procesos de oxigenación presentes en los ríos, además de los ciclos de nitrógeno (sobre todo la nitrificación) e incluye ciclos de fósforo y algas. Por lo tanto, el QUAL2K es más completo que los modelos anteriores, ya que considera más componentes [18].

El modelo permite múltiples descargas de desechos, retiros, flujos tributarios y entradas y salidas incrementales. También tiene la capacidad de calcular los flujos de dilución necesarios para el aumento de flujo para cumplir con cualquier nivel de oxígeno disuelto previamente especificado [21].

Es aplicable a corrientes bien mezcladas en las cuales puede asumirse que la calidad del agua es importante en la dirección del flujo (modelo unidimensional) y que las condiciones de flujo en la cuenca y las cargas o fuentes de contaminación son constantes. El programa simula los contaminantes convencionales del agua:

- Oxígeno disuelto
- DBO (Distingue entre DBO rápida y lenta)
- Ciclo del nitrógeno
- Ciclo del fósforo
- Conductividad
- Sólidos suspendidos inorgánicos
- Materia orgánica particulada (detritos)
- Fitoplancton como clorofila a

- Patógenos
- Tres constituyentes conservadores arbitrarios [22]

2.1.2.3. Calibración de los modelos de calidad del agua

La calibración consiste en aplicar el modelo a un conjunto conocido de datos y analizar los resultados simulados. Luego se deben conciliar los valores observados con los estimados por el modelo, esto se realiza ajustando los parámetros del modelo, de modo tal que los valores simulados coincidan con los observados dentro de un margen de error aceptable. Para calibrar un modelo existen diferentes como son el ajuste de curvas y métodos numéricos de identificación de parámetros. La calibración debe realizarse hasta que haya coincidencia de al menos un 80 % entre los valores observados y los simulados; si no significará que el modelo no va a ser confiable al ser utilizado en la etapa de predicción [21].

Se reconoce a esta etapa del proceso de modelación como la actividad en la cual se “sintoniza” el modelo para que reproduzca adecuadamente el sistema que se está modelando. Esta actividad consiste en variar los parámetros del modelo hasta que los resultados del modelo concuerden óptimamente con los datos reales o de campo [22].

Antes de seleccionar un modelo es necesario revisar:

- Las variables y los procesos que simula el programa.
- Las escalas de tiempo y espacio que usa
- Las técnicas de solución [22].

El proceso de calibración también consiste en ajustar las constantes y coeficientes incluidos en el modelo de la manera que este sea capaz de reproducir la calidad del agua en la corriente con una alta confiabilidad. Para calibrar el modelo se selecciona un evento “típico” para el cual se conocen las características físicas de la corriente y se tienen medidos algunos parámetros en el campo o en el laboratorio. Siempre será preferible medir los parámetros en el campo o en el laboratorio. Para los parámetros faltantes se pueden usar los valores que por defecto trae el software, hacer correlaciones o utilizar datos de la literatura [22].

Antes de iniciar el procedimiento de calibración, se deben tener evaluadas para el evento, las cargas contaminantes puntuales y distribuidas, además tener establecidas las condiciones de frontera y las condiciones iniciales. También se debe tener la corriente segmentada y todos los datos físicos del río (pendiente, secciones, altitud, longitudes, etc.,) medidos con la precisión deseada. El procedimiento de calibración se debe desarrollar en dos fases; primero se calibra la hidráulica o hidrodinámica (caudales, velocidades y profundidad del agua), y luego la calidad del agua. Existen varios métodos para realizar los ajustes. La forma más práctica es hacerlo por ensayo y error, sin embargo, existen técnicas automatizadas que pueden implementarse como el método de Monte Carlo [22].

2.2. Marco referencial

En la actualidad se han llevado a cabo una diversidad de investigaciones, para determinar la calidad del agua en relación al comportamiento del OD y de la DBO, aplicando el modelo matemático de Streeter-Phelps, diseñado por Harold Streeter y Earle Phelps, respectivamente, que fue calibrado y validado por dichos autores en su estudio de la contaminación y purificación natural del río Ohio, Estados Unidos, comprendido entre mayo de 1914 y abril de 1915, siendo pionero en el área de la modelización de la calidad del agua. A continuación, se presentan investigaciones realizadas en varias partes del mundo, llevadas a cabo por varios autores de renombre:

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 [23].

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 [23].

Otra investigación basada en determinar la calidad del agua, se realizó en el año 2006, llevada a cabo por Hahn et al., quienes en su investigación de monitoreo de la calidad del agua en el río Texcoco mediante sensores selectivos de iones en el año 2016, monitorearon diez puntos en el río Texcoco, con sensores selectivos de iones para medir amonio, Ca, conductividad eléctrica, temperatura, nitratos, oxígeno disuelto, pH y Cl. El manantial fue el sitio inicial, pasando por varios sitios en diferentes pueblos antes de llegar a Texcoco. Mediante un análisis de regresión múltiple se determinó que los nitratos podían calcularse eficientemente por medio de sensores de conductividad y pH, mientras que el oxígeno disuelto era dependiente del Cl, el cual aumentó de cero en el manantial a 921 ppm en Texcoco. Ocho meses después se tomaron mediciones de Cl, conductividad eléctrica y temperatura *in situ* en el poblado de Nativitas. Los valores de los nitratos y oxígeno disuelto fueron predichos mediante las regresiones obtenidas y comparadas con los valores reales adquiridos, obteniéndose aproximaciones de 90%. También concluyeron que el monitoreo permitió determinar los sitios de mala calidad de agua en el río, que el oxígeno disuelto después del sitio 5 fue muy bajo y riesgoso para los peces y los sensores son efectivos, pero requieren recalibrarse cada dos horas [24].

De acuerdo al estudio sobre la Aplicación del Modelo de Calidad de Agua QUAL2K, y su dispersión de Contaminantes en el Río Ndarugu en Kenia; por los autores: Hadgu, Nyadawa, Mwangi, Kibetu y Mehari en el año 2014, se observó que el modelo del QUAL2K representaba satisfactoriamente los datos de campo, garantizando en futuras opciones la calidad del agua en el río, pues este modelo se aplicó con el fin de tener en cuenta varias opciones de la gestión de las cargas contaminantes y controlar el OD y la oxigenación local, puesto a que su efectividad es comprobada para elevar los niveles de OD, en este estudio se calibró el QUAL2K para confirmar los datos del monitoreo de campo que se realizó en el invierno del año 2009 y en la primavera del año 2010. Los resultados simulados se correlacionaron mediante datos precisos con el objetivo de modelar la calidad del agua contaminada del río Ndarugu mediante la aplicación del QUAL2K y así evaluar el rendimiento del mismo utilizando estadísticas basadas en el coeficiente de correlación y el error estándar. De tal manera los resultados generados por el modelo QUAL2K mostraron una

correlación entre los valores simulados y observados para todos los parámetros, mostrando un alto coeficiente de correlación y errores estándar más bajos, lo que nos muestra que este modelo es perfectamente confiable en el modelo de flujos cuando se detalla y los datos complejos no están disponibles debido a una coincidencia aceptable de los datos simulados con los datos medidos [25].

También, hacemos referencia al siguiente estudio, cuyo título es: Determinación de los Coeficientes de Oxigenación y Desoxigenación para la curva de Comportamiento de Oxígeno Disuelto en el Río Fucha, Bogotá-Colombia, cuyos autores Nataly Moreno y Javier Escobar, llegaron a un análisis metódico sobre su estudio haciendo referencia bases matemáticas con datos tomados de varios estudios realizados por la SDA (Secretaría Distrital de Ambiente) conjuntamente con la Universidad de los Andes de Bogotá – Colombia, en los periodos 2006 al 2015, pues debido a que estos métodos eran imprecisos, se verificó y calibró las constantes mediante el QUAL2K, cuya finalidad fue determinar el OD presente el principal afluente del Río Fucha. Mediante el primer modelo matemático (Streeter Phelps), se obtuvo resultados de manera resumida sobre las curvas de comportamiento del OD y el DBO durante el recorrido en el río Fucha; pues el comportamiento del OD se ve representado por cambios muy notables, lo cual resalta los diversos fenómenos que se presentasen en una corriente de agua, pero en el DBO se identificó aumentos considerables de contaminantes debido a las aguas residuales, generando una minúscula recuperación de DBO suministrada a la corriente del río; pero en el resultado propuesto por el QUAL2K, se determinan constantes de desoxigenación y también la re aireación debido que deben relacionarse con los perfiles de OD y DBO medido anteriormente, además que las simulaciones de este modelo mostraron las condiciones del río, observando también el nivel de saturación que debe estar y la calibración de las gráficas respecto a las representadas por los datos medidos y así obtener sus constantes [26].

Seguido, tenemos otro estudio de interés académico, titulado: Índice Físicoquímico de la Calidad de Agua para el manejo de Lagunas Tropicales de Inundación, realizado por Ana Pérez y Alexis Rodríguez 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 [13].

En otras investigaciones relacionado a la modelización de calidad del agua, en el año 2015, Cunha de Menezes et al., llevaron a cabo un estudio, donde determinaron la tasa de desoxigenación, reaeración y potencial de auto-purificación de una pequeña corriente urbana tropical, publicado por la Universidad Federal Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brasil. El objetivo del estudio fue evaluar el impacto de la contaminación orgánica en la calidad del agua y la capacidad de asimilación de la materia orgánica en el arroyo Ribeirão Vermelho ubicado en la ciudad de Lavras en Minas Gerais. La tasa de desoxigenación (K1) y la reaeración (K2) se determinaron y probaron en tres segmentos del Ribeirão Vermelho durante dos temporadas (verano e invierno). La simulación del proceso de purificación se realizó utilizando el modelo de Streeter-Phelps. Los valores más altos de K1 y K2 ocurrieron durante el período de invierno, que se caracterizó por flujos más bajos. La simulación del perfil de oxígeno disuelto y la demanda biológica de oxígeno se ajustó bien al modelo, lo que indica la prevalencia de la desoxigenación carbonosa debida a la nitrificación y también demuestra la importancia de la reaeración natural como parte del proceso de purificación [27].

Como resultado de dicho estudio, los niveles de OD aumentaron junto con los valores de la demanda biológica de oxígeno (DBO); Los niveles más altos de OD de invierno reflejan mayores niveles de productividad primaria y eutrofización del río, aunque en otras instancias se muestra una tendencia de purificación, las concentraciones de DBO no cayeron a lo largo del río, posiblemente debido a la senescencia de la descarga de residuos agroindustriales de algas en la columna de agua del río, además de otras fuentes de materia orgánica, también influyeron en el proceso debido a la calidad del agua del río durante el período de invierno.

Por otra parte, las constantes de velocidad de desoxigenación (K_1) se calcularon a partir de los datos de DBO y se ajustó de acuerdo con las curvas correspondientes utilizando el método propuesto por Thomas (1950), así como el ajuste de temperatura propuesto por Tebbut (1998) [27].

Analizar el comportamiento del oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno, resultó ser primordial para Streeter-Phelps en el campo de calidad del agua, en este contexto, el estudio llevado a cabo por Urrego E., en el año 2017, en el cual determinó el comportamiento del oxígeno disuelto en la cuenca alta del río Tunjuelo, mediante las ecuaciones de Streeter-Phelps, denota la importancia de lo antes mencionado. En primer lugar, hallaron los valores de las constantes (K_1) y (K_2), usando las ecuaciones de Streeter-Phelps, tomando los datos e información publicada por la Secretaría Distrital de Ambiente, la Universidad de los Andes y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. De acuerdo a datos resultantes se operan las ecuaciones matemáticas para generar la curva SAG y los valores característicos para calibrar el modelo QUAL2K. Se analizan las curvas resultantes en términos de calidad del agua (OD y DBO) y evidencia las concentraciones máximas obtenidas y las máximo permitidas, para la creación de escenarios que permitan la recuperación del río. Los coeficientes de desoxigenación (K_1) y oxigenación (K_2) calculados con el modelo matemático generan valores altos, por ello se realiza la corrección de los coeficientes con la aplicación de las ecuaciones de Streeter y Phelps y como se resultado se evidencian valores más pequeños permitiendo así el grafico del perfil. Mientras que, los gráficos del perfil de comportamiento del río reflejaron un decaimiento importante en el OD para la estación Yomasa con índices bajos, generados por aireación anaerobia. El comportamiento de la DBO entre el punto Yomasa y Doña Juana es acelerado, ya que duplica la carga contaminante por vertimientos de aguas [28].

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

La investigación se desarrolló en el estero “El Pital” perteneciente al cantón Quevedo, de la provincia de Los Ríos, donde predomina un clima Tropical Húmedo con una temperatura ambiental promedio de 25,7 °C y un porcentaje de humedad (% H) de 82 %. El recorrido del estero lo hace atravesando pequeñas localidades como El Pital 1, Cooperativa La Libertad, 15 de Noviembre, El Pital 2, Cooperativa Puerto López, Lotización Rosita Elena, Cooperativa Los Chapulos, hasta llegar a desembocar en el Río Quevedo.

Figura 1. Mapa de localización del sitio de estudio



Fuente: IGM/INEC

3.1.1. Características edafoclimáticas de la zona

3.1.1.1. Altitud

El cantón Quevedo se localiza al centro de la región litoral del Ecuador, en una extensa llanura, atravesada por el río Quevedo, a una altitud de 72 msnm y con un clima lluvioso tropical de 28 °C en promedio. Se encuentra ubicada al 1° 20' 30" de Latitud Sur y los 79° 28' 30" de Longitud occidental, dentro de una zona subtropical. [29].

3.1.1.2. Temperatura

Su temperatura habitual es de unos 20 a 33 °C y a veces llega a los 38 °C [29]. En el territorio del cantón Quevedo predomina el ecosistema del Bosque Tropical Húmedo. Uno de los agentes que interviene en su formación es el clima Tropical Monzónico con la temporada de calor y lluvias fuertes que duran desde diciembre a mayo y la época seca de junio a diciembre. La temperatura promedio anual es de 25 °C. La curva de distribución de la temperatura media multianual presenta su máximo en los meses de marzo-abril y su mínimo en los meses de julio-agosto [30].

3.1.1.3. Precipitación

Se caracteriza por ser una zona climática lluviosa subtropical. 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 [29]. La curva de distribución anual de las precipitaciones de carácter modal con un máximo en el mes de febrero y un mínimo en el mes de agosto. El flujo anual de la precipitación ocurre dentro de los siguientes términos: el 85-90 % del total de la precipitación anual ocurre durante la época lluviosa, mientras que el 10-15 % restante durante la 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 predominante en la agricultura para la gran variedad de cultivos como banano, café, maíz, cacao, soya, palma africana, entre otros., que tienen gran demanda para la exportación. El principal tipo de suelo es derivado de cenizas volcánicas recientes con texturas desde franco arenosa hasta arcillosa lo que explica su fácil erosión. A nivel de orden pertenecen a los Andisoles a la serie Pichilingue [30].

3.1.1.5. Cambios climáticos

En la última década la cantidad y 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. Las variaciones climáticas, días nublados, escasas precipitaciones, presencia de lluvias fuera del tiempo normal, están afectando al comportamiento natural de algunos cultivos. La presencia del fenómeno del Niño puede producir graves inundaciones en zonas bajas y deslaves en las pendientes [30].

3.2. Tipo de investigación

Para 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 El Pital.

3.3. Métodos de investigación

Para lograr cumplir los objetivos se debe llevar a cabo un conjunto de procedimientos que guíen al investigador a estudiar el 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 hidromorfológicas del estero El Pital, y al mismo tiempo a determinar las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos del estero estudiados necesarios para 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 El Pital.

3.4. Fuentes 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 El Pital

El cuerpo de agua seleccionada para la investigación, fue segmentado en 3 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 [22].

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 julio, agosto, septiembre y

octubre 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 [22]:

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

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 [22].

3.5.2. Caracterización de la calidad del agua del estero El Pital

Paralelamente a los aforos, se recolectaron muestras de agua quincenales *in situ* en los 7 puntos de muestreo designados en el cauce para poder modelizar la calidad del agua del estero El Pital; es decir, en los tres tramos, aguas arriba del tramo 1, en la descarga principal y en los dos tributarios identificados, 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, respectivamente. Asimismo, se realizaron análisis de los parámetros físico-químicos en los 7 sitios de muestreo, durante 2 repeticiones para cada mes (julio, agosto, septiembre y octubre), 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) [31] [32].

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 1. 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

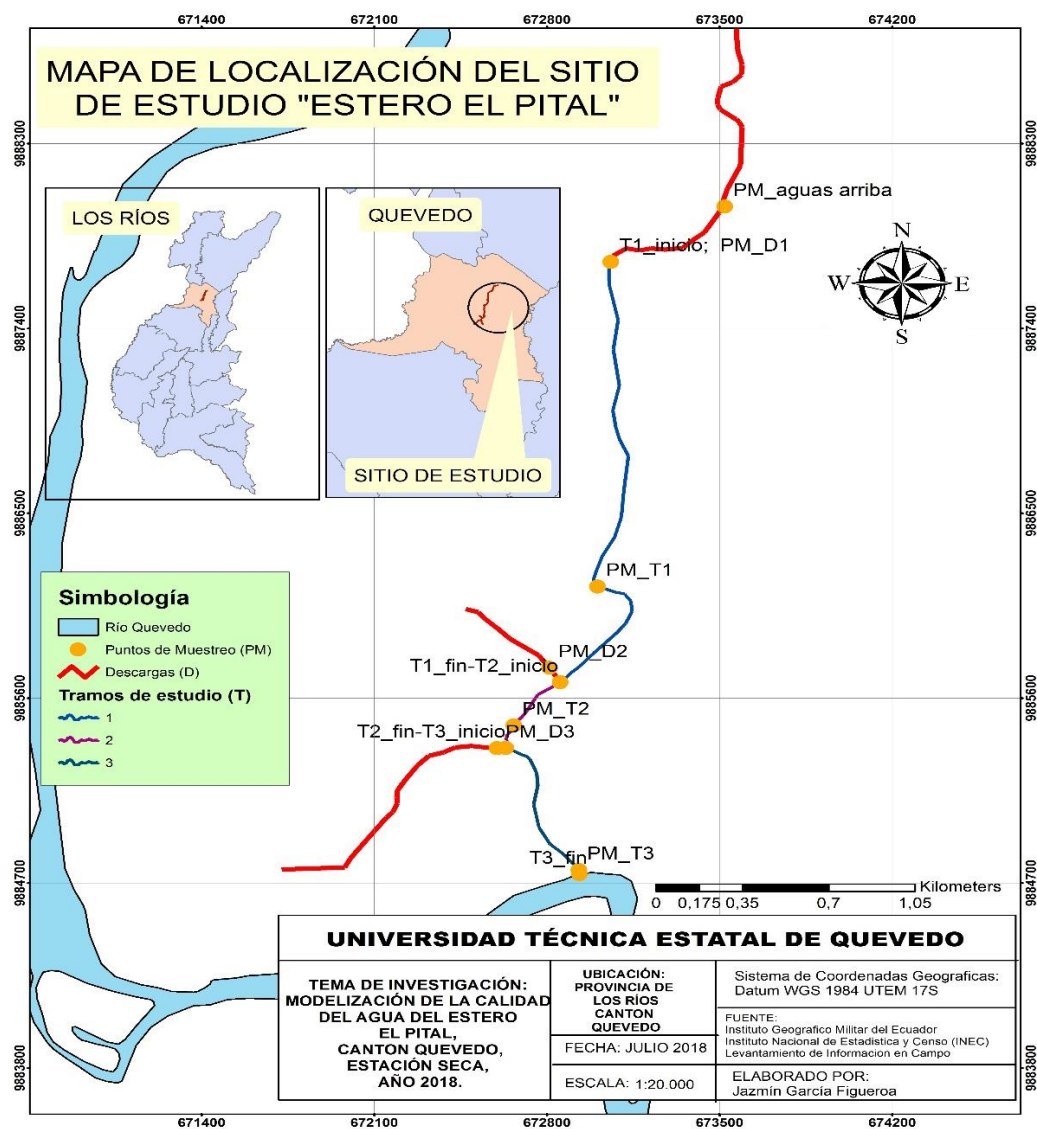
3.5.2.1. Identificación puntos de muestreo

Para la modelización de la calidad del agua del estero El Pital, se realizó el recorrido de reconocimiento del lugar de estudio, donde finalmente se establecieron 3 tramos y 3 afluentes, con un segmento total de 4,04 km de longitud. El primer afluente consistía en ser una tubería de descarga continua de aguas residuales proveniente de una industria procesadora de frutas, el otro siendo un tributario proveniente del sector Promejoras y finalmente el último tributario siendo un ojo de agua que se origina desde la Cooperativa Gustavo Campi. A continuación se detallan los puntos de muestreo:

Tabla 2. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	COORDENADAS UTM (m)	
	LONGITUD E	LATITUD N
Aguas arriba	673523	9887993
Descarga	673061	9887724
Tramo 1	673007	9886143
Tributario 1	672813	9885747
Tramo 2	672667	9885467
Tributario 2	672599	9885356
Tramo 3	672931	9884763

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



Fuente: IGM/INEC

3.5.2.2. 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 El Pital con el modelo matemático de 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 El Pital. 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 [33] [22]:

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

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 reaeración, y t es el tiempo de viaje de la corriente de agua [34].

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

$$L = L_o e^{-kt}$$

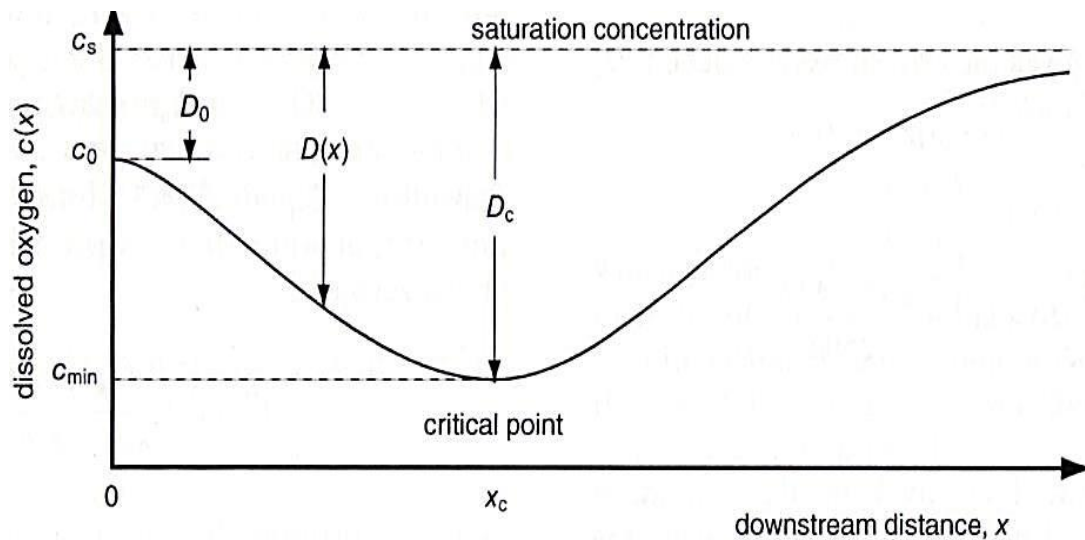
El oxígeno disuelto en cada tramo fue calculado mediante la siguiente expresión [34]:

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

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 reaeración 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 [35].

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 DBO₅, manteniendo constantes los parámetros ya ajustados y manipulando las variables externas, principalmente las cargas contaminantes y las características hidrodinámicas del estero [22].

3.5.4. Simular la calidad del agua del estero El Pital con el programa de computadora QUAL2K

Se utilizó el software de modelización de la calidad del agua superficial QUAL2K, versión 2.12, desarrollado por la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) para simular computacionalmente el comportamiento del OD y la DBO en el agua del estero El Pital.

Figura 4. Interfaz del software QUAL2K

System ID:	
River name	Boulder Creek
Saved file name	BC092187v2_11b8
Directory where file saved	C:\QUAL2K\DataFiles
Month	9
Day	21
Year	1987
Local time hours to UTC	.7
Daylight savings time	Yes
Calculation:	
Calculation step	0,1 hours
Final time	30 day
Solution method (integration)	Euler
Solution method (pH)	Brent
Time zone	Mountain Standard Time
Program determined calc step	0,093750 hours
Time of last calculation	0,08 minutes
Time of sunrise	6:46 AM
Time of solar noon	12:53 PM
Time of sunset	6:59 PM
Photoperiod	12,22 hours

At the bottom, there are tabs for 'QUAL2K', 'Time Zones', 'Headwater', and 'Downstream'. The status bar shows 'Listo' and a zoom level of 100%.

Fuente: U.S. Environmental Protection Agency, 2015

3.6. Instrumentos de investigación

3.6.1. Hojas de cálculo para caudales

Se utilizaron hojas estadísticas para el cálculo de los caudales de los tres tramos, aguas arriba, descarga y los dos tributarios, 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. Hojas 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 del 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 reaireación, 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 los 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) [34]:

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 equipos

3.8.1. Materiales y equipos

A continuación se detallan los materiales que se hicieron uso para el desarrollo de la investigación de campo, también los materiales de oficina, los equipos utilizados para las mediciones, software y demás bases de datos que fueron implementados en la modelización:

Tabla 6. Materiales y equipos utilizados en la investigación

1.- Materiales campo	2.- Equipos
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	
3.- Materiales de oficina	4.- Software
Computadora	ArcGis 10.1
Útiles de oficina	Statgraphics
Pendrivel	Qual2k

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

4.1.1. Características hidromorfológicas del estero El Pital

En la fase de campo se determinaron las siguientes características hidromorfológicas del estero El Pital, las cuales fueron: caudal, velocidad de la corriente, profundidad del cauce, el área de la sección transversal y el ancho. Asimismo, para representar la variación de cada una de las variables hidrodinámicas y fisicoquímicas, se obtuvieron los promedios mensuales, que facilitaron la interpretación de los datos.

4.1.1.1. Caudal

El caudal fue determinado mediante la fase de campo (aforos) durante 8 campañas de muestreo desarrolladas a lo largo de los meses de julio, agosto, septiembre y octubre (época seca), en los puntos de muestreo de la corriente principal, descarga principal, así como también en el tributario 1 y 2. Cabe recalcar que el caudal de la descarga suele incrementar en ciertas fechas donde se especula que aparte de esta descarga, exista otra proveniente de alguna otra industria ubicada en el sitio. La información se detalla en la tabla 7:

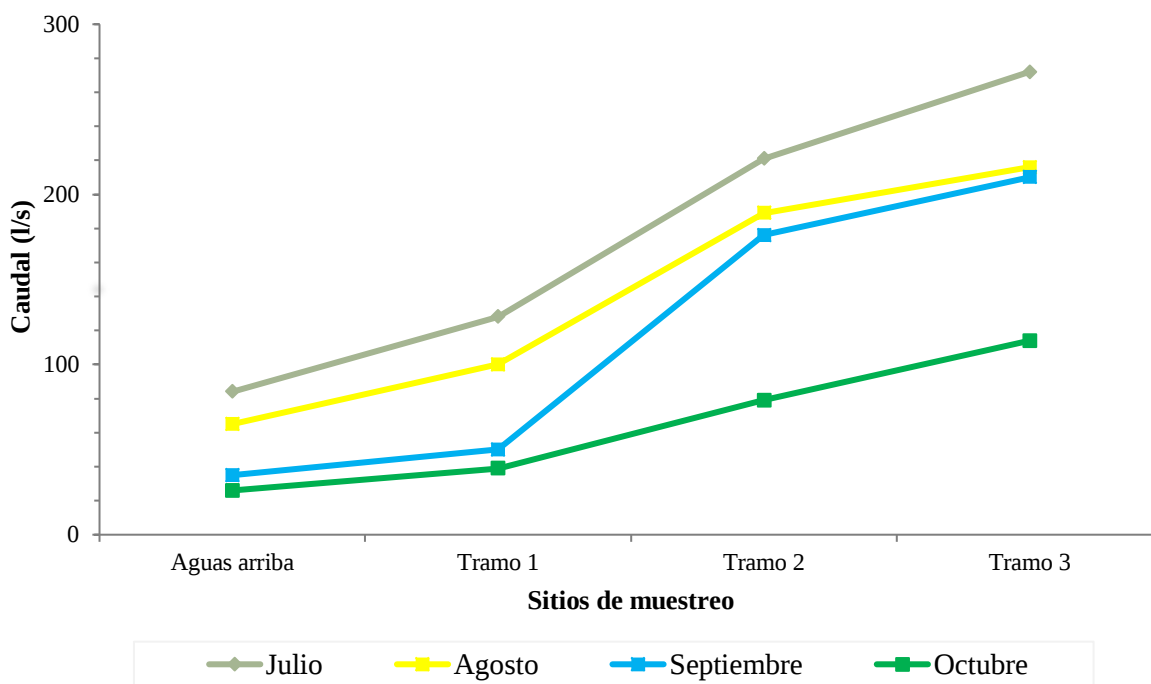
Tabla 7. Caudales en l/s del estero El Pital en la estación seca

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tributario 1	Tramo 2	Tributario 2	Tramo 3
07-Jul-18	93	34	127	21	256	54	310
21-Jul-18	74	54	128	45	187	48	234
04-Ago-18	72	32	104	42	207	22	229
18-Ago-18	58	38	97	21	171	32	203
08-Sep-18	25	15	40	23	129	32	161
22-Sep-18	45	16	61	16	222	36	258
11-Oct-18	39	15	54	31	80	51	130
20-Oct-18	12	12	24	25	79	18	97

En la tabla 7, se observa que los caudales experimenta una disminución en la corriente principal a medida que pasan los meses. Los mayores caudales se registraron en el mes de julio igual a 128 l/s en el tramo 1, 256 l/s en el tramo 2 y 310 l/s en el tramo 3, mientras que,

los valores mínimos se observaron en el mes de octubre, los cuales fueron 24 l/s, 79 l/s y 97 l/, para el tramo 1, 2 y 3, respectivamente. Este comportamiento es similar para la descarga principal y los tributarios, presentando caudales máximos en el mes de julio y mínimos en octubre.

Gráfico 1. Variación del caudal promedio de la corriente principal del estero El Pital



En el gráfico 1 se observa que el caudal promedio disminuye de julio a octubre, presentando caudales mínimos medios en el mes de octubre los cuales fueron 26 l/s, 39 l/s, 79 l/s y 114 l/s, para aguas arriba, tramo 1, tramo 2, y tramo 3, respectivamente. Así también, en el mes de julio se registran los caudales máximos medios igual a 84 l/s (aguas arriba), 128 l/s (tramo 1), 221 l/s (tramo 2) y 272 l/s (tramo 3).

4.1.1.2. Velocidad de la corriente

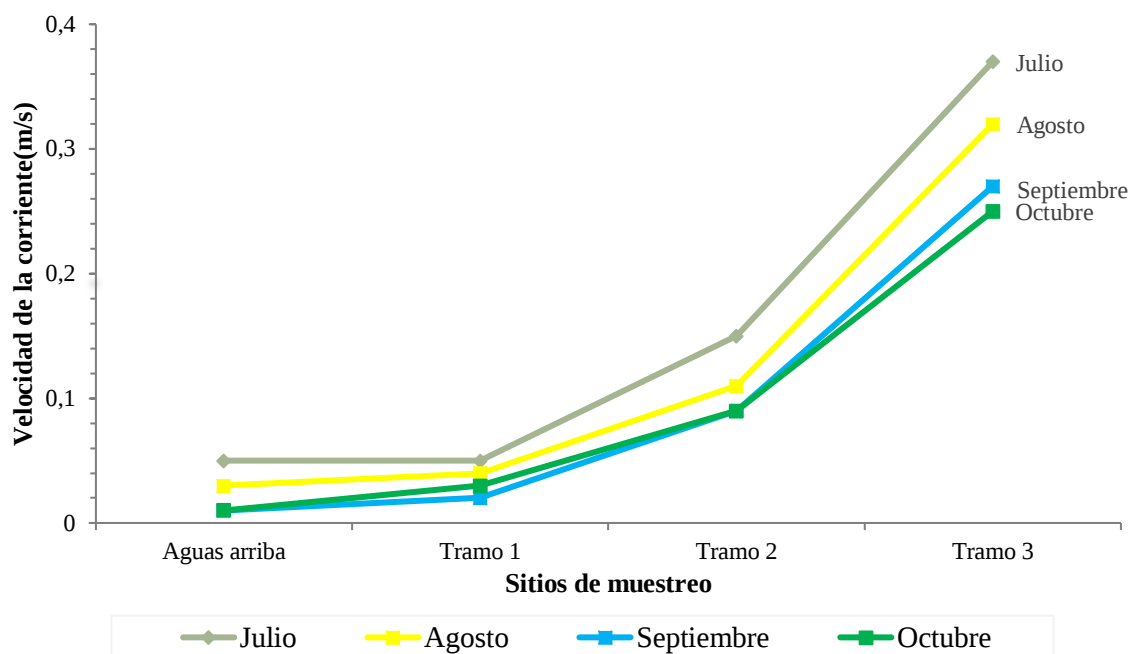
En la tabla 8 se observan los valores de la velocidad de la corriente obtenidos en las 8 campañas de muestreo, que fueron fundamentales para el cálculo del caudal de la corriente.

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

Fecha de campaña	Aguas arriba	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
07-Jul-18	0,05	0,06	0,20	0,35
21-Jul-18	0,05	0,05	0,10	0,39
04-Ago-18	0,03	0,04	0,11	0,38
18-Ago-18	0,03	0,03	0,10	0,25
08-Sep-18	0,02	0,02	0,10	0,30
22-Sep-18	0,01	0,02	0,09	0,24
11-Oct-18	0,01	0,02	0,08	0,23
20-Oct-18	0,01	0,04	0,09	0,26

En la tabla 8 se puede observar que las corrientes más lentas se registran aguas arriba, seguido del tramo 1, con valores máximos en el mes de julio de 0,05 m/s y 0,06 m/s, respectivamente. Y valores mínimos de 0,01 m/s (aguas arriba) y 0,02 m/s (tramo 1) en el mes de octubre y septiembre. Por otro lado, las mayores velocidades se presentan en el tramo 3, con un valor mínimo de 0,23 m/s en octubre y un máximo de 0,39 m/s en julio.

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



En el gráfico 2 se puede apreciar que las velocidades aumentan a medida que la corriente se acerca a la desembocadura en el río Quevedo, obteniendo las mayores velocidades promedio en el tramo 3, de 0,37 m/s, 0,32 m/s, 0,27 m/s y 0,25 m/s, para los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, paralelamente. Mientras que, las menores velocidades promedio se presentan en aguas arriba iguales a 0,05 m/s, 0,03 m/s, 0,01 m/s, 0,01 m/s (julio, agosto, septiembre y octubre), y en el tramo 1 de 0,05 m/s, 0,04 m/s, 0,02, 0,03 m/s, para julio, agosto, septiembre y octubre, respectivamente.

4.1.1.3. Profundidad del cauce

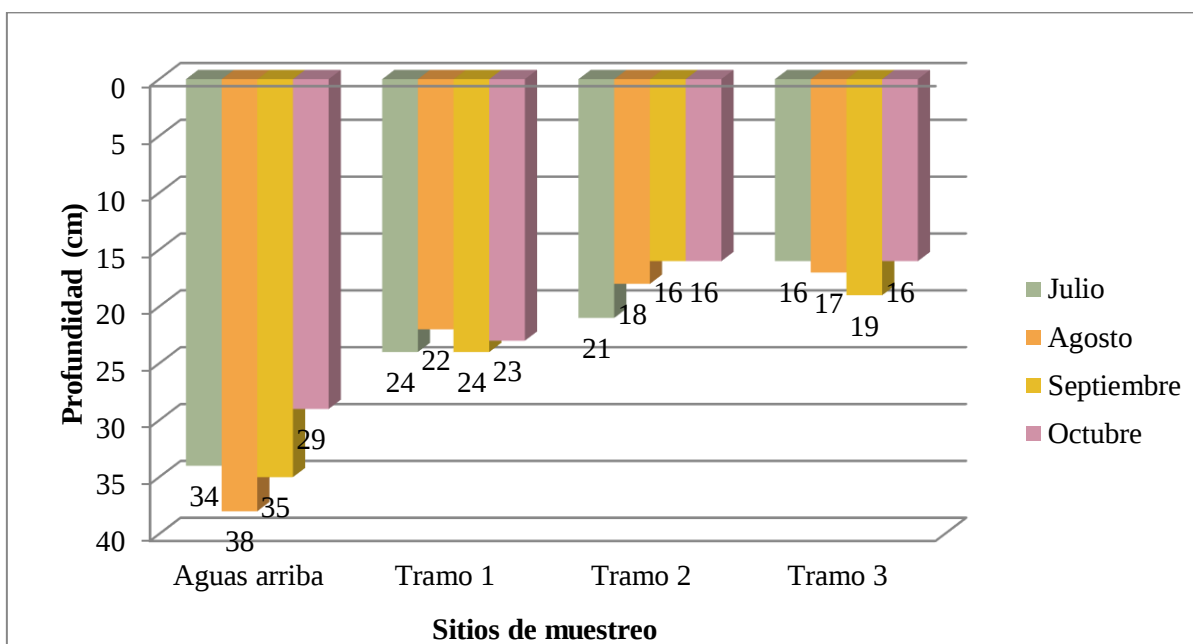
Los datos calculados para las profundidades de la corriente principal se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Profundidad de la corriente principal del estero El Pital, en m

Fecha de campaña	Aguas arriba	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
07-Jul-18	0,34	0,24	0,20	0,17
21-Jul-18	0,34	0,24	0,22	0,15
04-Ago-18	0,38	0,22	0,18	0,16
18-Ago-18	0,38	0,23	0,19	0,17
08-Sep-18	0,36	0,24	0,16	0,19
22-Sep-18	0,34	0,24	0,16	0,18
11-Oct-18	0,33	0,23	0,15	0,18
20-Oct-18	0,26	0,23	0,17	0,14

La tabla 9 se caracteriza por presentar las mayores profundidades en aguas arriba y en el tramo 1. La mayor profundidad que se registra en aguas arriba es de 38 cm en agosto y la menor es de 26 cm en octubre. Por otra parte, la máxima profundidad en el tramo 1 es de 24 cm en julio y septiembre, y la mínima igual a 22 cm en el mes de agosto. En cambio, el tramo 3 presenta las menores profundidades, siendo 14 cm en el mes de octubre la profundidad más baja.

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



El gráfico 3 muestra que aguas arriba registra las mayores profundidades promedio, llegando a una profundidad máxima de 38 cm en el mes de agosto, seguido del mes de septiembre, julio y octubre, con 35 cm, 34 cm y 29 cm, respectivamente. Mientras que, el tramo 3 presenta las menores profundidades, similar al tramo 2, siendo la mayor profundidad de 19 cm en el mes de septiembre, 17 cm en agosto, y 16 cm para julio y octubre.

4.1.2. Caracterización de la calidad del agua del estero El Pital

4.1.2.1. Oxígeno disuelto

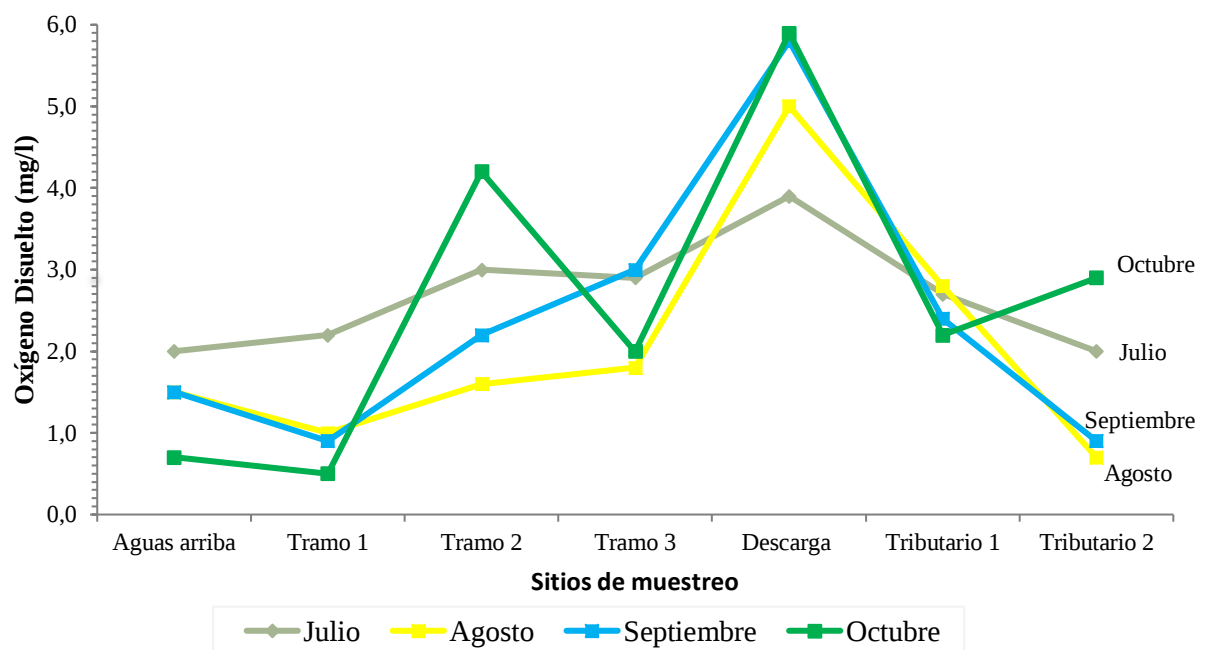
Las concentraciones de oxígeno disuelto medidos en cada uno de los puntos de muestreo en el estero El Pital, se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Niveles de oxígeno disuelto en el estero El Pital, en mg/l

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tributario 1	Tramo 2	Tributario 2	Tramo 3
07-Jul-18	1,9	4,7	1,9	3,1	3,4	2,2	3,5
21-Jul-18	2,0	3,0	2,4	2,2	2,6	1,7	2,2
04-Ago-18	1,8	4,7	1,5	2,8	2,8	0,9	2,5
18-Ago-18	1,2	5,2	0,4	2,8	0,3	0,5	1,0
08-Sep-18	1,4	7,6	1,2	2,6	3,2	1,0	3,3
22-Sep-18	1,6	4,0	0,5	2,1	1,1	0,8	2,6
11-Oct-18	0,8	5,7	0,4	2,3	4,8	2,9	2,0
20-Oct-18	0,6	6,1	0,5	2,1	3,6	2,9	2,0

En la tabla 10 se observa que los niveles más bajos de oxígeno disuelto se presentan en el tramo 1, siendo el valor más bajo de 0,4 mg/l en el mes de agosto y octubre, del mismo modo, en el tramo 2 con una concentración de 0,3 mg/l y de 1,0 mg/l en el tramo 3 en el mes de agosto. Aguas arriba también presenta niveles de OD bajos que se dan en el mes de octubre de 0,6 mg/l. El tributario 2 también registra valores menores de OD siendo el más bajo de 0,5 mg/l en el mes de agosto a diferencia del tributario 1 donde el valor más bajo es de 2,1 mg/l.

Gráfico 4. Variación promedio del oxígeno disuelto en el estero El Pital



De acuerdo al gráfico 4, las concentraciones promedio más bajas de OD se presentan en el tramo 1, igual a 2,2 mg/l (julio), 1,0 mg/l (agosto), 0,9 (septiembre) y 0,5 mg/l (octubre), correspondientemente. Por el contrario, los promedios más altos de OD se observaron en el tramo 2, los cuales fueron de 4,2 mg/l, 3,0 mg/l, 2,2 mg/l y 1,6 mg/l, para los meses de octubre, julio, septiembre y agosto, respectivamente. Asimismo, en el tramo 2 y 3 el nivel más bajo de OD es 1,6 mg/l y 1,8 mg/l, en el mes de agosto para los dos casos. Es decir, en el mes de agosto se presentan los niveles más bajos de concentraciones de oxígeno disuelto.

4.1.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La tabla 11 presenta los valores del análisis de la DBO en cada punto de muestreo en los tramos 1, 2 y 3, aguas arriba, descarga principal (industria procesadora de frutas), tributario 1 proveniente del sector Promejoras y tributario 2 del sector Gustavo Campi.

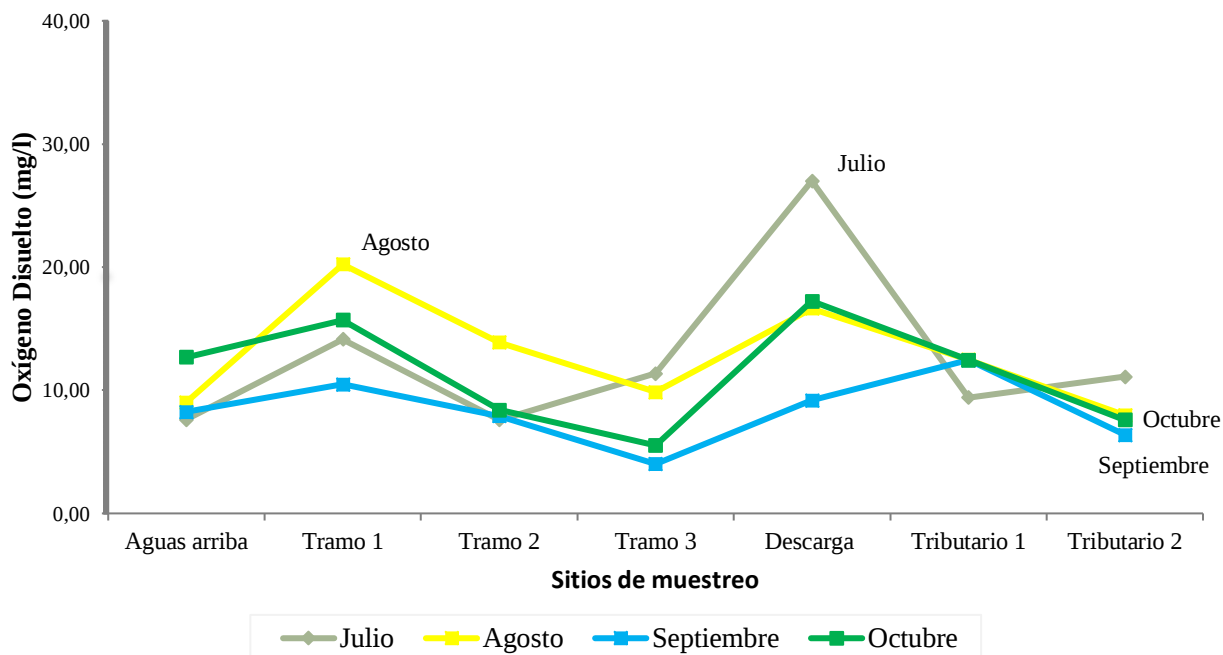
Tabla 11. DBO₅ en el estero El Pital, en mg/l

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tributario 1	Tramo 2	Tributario 2	Tramo 3
07-Jul-18	6,2	6,0	11,2	6,4	7,6	6,0	6,4
21-Jul-18	9,06	48,00	17,07	12,42	7,56	16,20	16,29
04-Ago-18	8,49	24,06	12,48	12,72	10,11	9,72	10,08
18-Ago-18	9,57	9,21	27,96	12,24	17,64	6,24	9,60
08-Sep-18	10,68	3,48	11,58	12,46	9,24	8,16	3,60
22-Sep-18	5,79	14,88	9,36	12,46	6,57	4,56	4,41
11-Oct-18	11,28	20,28	9,09	12,46	6,99	5,61	3,84
20-Oct-18	14,10	14,19	22,32	12,46	9,81	9,57	7,20

Como se observa en la tabla 11, las concentraciones más altas de la DBO se determinaron en el tramo 1, con una concentración máxima y mínima de 27,96 mg/l y 9,09 mg/l, en el mes de agosto y octubre, respectivamente. Seguido del tramo 2 con 17,64 mg/l (máximo) en agosto y 6,57 mg/l (mínimo) para septiembre. Así en el tramo 3, el mayor valor de DBO es de 16,29 mg/l en el mes de julio y el menor de 3,60 mg/l en septiembre. En aguas arriba el mayor valor de la DBO se registra en el mes de octubre, igual a 14,10 mg/l. En relación a la descarga, se presentan generalmente valores altos donde la mayor concentración de DBO es de 48,00 mg/l

en julio. Con respecto al tributario 1, los resultados de la DBO no varían significativamente, con una máxima concentración de 12,72 mg/l, y el tributario 2 con 16,20 mg/l.

Gráfico 5. Variación promedio de la DBO₅ en el estero El Pital



En el gráfico 5 se muestra que las concentraciones promedio más altas de la DBO se registraron en el tramo 1, los cuales fueron de 20,22 mg/l (agosto), 15,71 mg/l (octubre), 14,14 mg/l (julio) y 10,47 mg/l (septiembre). Por otra parte, las concentraciones más bajas de la DBO, las cuales disminuyeron a medida que la corriente avanza hacia la desembocadura, se presentan en el tramo 3, los cuales son 11,35 mg/l (julio), 9,84 mg/l (agosto), 5,52 mg/l (octubre) y 4,01 mg/l (septiembre). El valor máximo de la DBO en la descarga se da en el mes de julio con 27 mg/l y el mínimo en septiembre de 9,18 mg/l. En relación a los tributarios 1 y 2, los valores más altos se dan en el primero proveniente del Sector Promejoras (12,46 mg/l) y en caso del tributario 2, el valor mayor en el mes de julio (11,10 mg/l), del sector Gustavo Campi,

4.1.2.3. pH

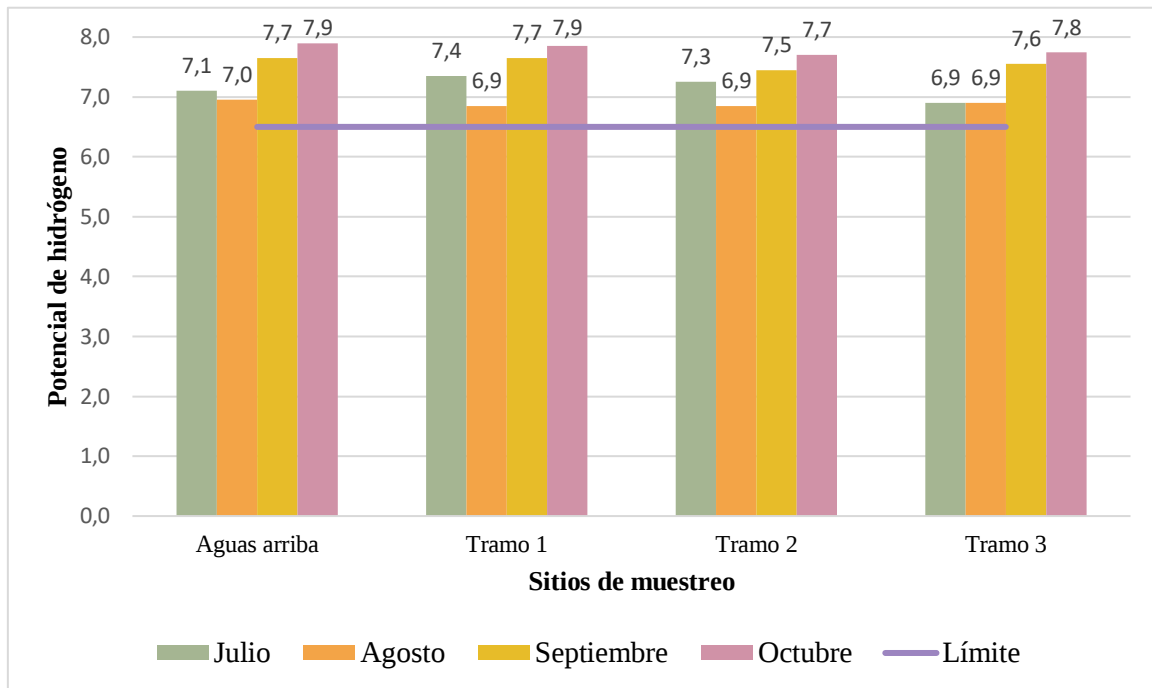
Las mediciones de pH, correspondiente al tramo 1, tramo 2, tramo 3, aguas arriba, descarga principal, tributario 1 y tributario 2, se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Valores de pH en el estero El Pital

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tributario 1	Tramo 2	Tributario 2	Tramo 3
<i>07-Jul-18</i>	7,0	7,5	7,3	7,5	7,3	7,0	7,3
<i>21-Jul-18</i>	7,2	7,7	7,4	7,5	7,2	6,8	6,5
<i>04-Ago-18</i>	6,9	7,2	6,8	6,9	6,7	6,6	6,8
<i>18-Ago-18</i>	7,0	7,2	6,9	7,3	7,0	6,7	7,0
<i>08-Sep-18</i>	7,7	8,6	7,6	7,8	7,4	7,2	7,5
<i>22-Sep-18</i>	7,6	7,7	7,7	7,9	7,5	7,2	7,6
<i>11-Oct-18</i>	7,6	7,9	7,8	8,0	7,7	7,4	7,7
<i>20-Oct-18</i>	8,2	8,1	7,9	8,1	7,7	7,6	7,8

Como se observa en la tabla 12, el estero posee un potencial de hidrógeno dentro de un rango de 6,5 a 9 siendo un pH parcialmente neutro establecido en la Tabla 2 de Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios, del libro VI, Anexo 1 del TULSMA. Las mediciones en la corriente principal (aguas arriba, tramo 1, tramo 2 y tramo 3) reflejan valores semejantes, donde el mes de octubre presenta los valores de pH más altos de 8,2 en aguas arriba.

Gráfico 6, Variación promedio del pH en la corriente principal del estero El Pital



En el gráfico 6 se presentan los valores promedio de las variaciones del potencial de hidrógeno en los respectivos meses para la corriente principal del estero, como se observa, los niveles de pH en todos los meses se encuentran dentro del límite establecido por la normativa vigente.

4.1.2.4. Conductividad eléctrica

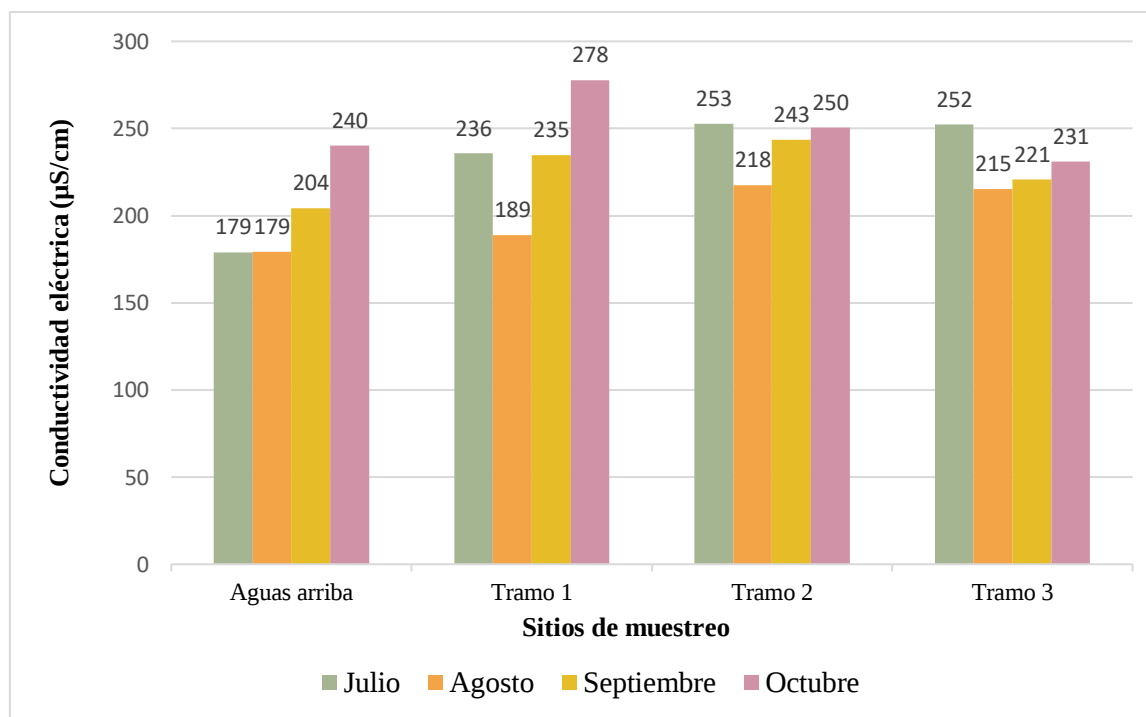
A continuación en la tabla 13, se detallan los valores determinados para la conductividad eléctrica en el estero para cada tramo establecido, la descarga principal y los tributarios.

Tabla 13. Conductividad eléctrica en el estero El Pital, en $\mu\text{S}/\text{cm}$

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tributario 1	Tramo 2	Tributario 2	Tramo 3
07-Jul-18	202	233	278	329	301	379	300
21-Jul-18	156	268	193	237	204	265	204
04-Ago-18	172	353	203	232	220	262	215
18-Ago-18	187	317	175	211	215	248	215
08-Sep-18	211	275	218	218	239	276	218
22-Sep-18	198	473	251	211	248	289	223
11-Oct-18	215	518	276	204	251	289	234
20-Oct-18	265	501	279	218	250	289	228

En la tabla 13 se observan las mediciones en relación a CE (conductividad eléctrica), donde los mayores valores se dan en la descarga principal llegando a un valor de $518 \mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de octubre. En relación a la corriente principal, el tramo 2 y 3 presentan el mayor valor de CE igual a $301 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $300 \mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de julio, por el contrario los valores más bajos se encuentran en aguas arriba en el mes de julio con $156 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Gráfico 7. Variación promedio de la conductividad eléctrica en la corriente principal del estero El Pital



En el gráfico 7 se observa que los valores promedio más altos de conductividad eléctrica se dan en el tramo 1 y 2, con valores máximos de 278 $\mu\text{S/cm}$ (octubre) y 253 $\mu\text{S/cm}$ (julio), respectivamente. Los valores menores de CE se dan en aguas arriba, registrando valores de 179 $\mu\text{S/cm}$ (julio y agosto), 204 $\mu\text{S/cm}$ (septiembre) y 240 $\mu\text{S/cm}$ (octubre).

4.1.3. Modelización de la calidad del agua con el modelo de Streeter-Phelps

4.1.3.1. Constantes cinéticas

4.1.3.1.1. Constante de reaireación (k_a)

Para la modelización de la calidad del agua se llevó a cabo el cálculo de la constante de reaireación (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). En la tabla 14 se detallan los valores de 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	
	<i>Ka calculada</i>	<i>Ka calibrada</i>	<i>Ka calculada</i>	<i>Ka calibrada</i>	<i>Ka calculada</i>	<i>Ka calibrada</i>
<i>Julio</i>	1,899	3,341	4,653	2,575	15,589	2,208
<i>Agosto</i>	1,683	0,479	4,198	2,403	12,350	2,292
<i>Septiembre</i>	0,740	0,281	4,025	4,972	9,108	6,571
<i>Octubre</i>	1,164	0,104	4,031	17,642	10,571	3,026

Se puede observar en la tabla 14, que los valores más bajos de la constante de reaireación calculada con la ecuación de Lanbeing y Durum, se dan en el tramo 1, asimismo, las constantes calibradas tienden a ser mucho menor que las calculadas, lo cual se le atribuye a la lentitud del estero en este sitio (Sector Puerto López) donde existe muy poco movimiento del agua, disminuyendo el proceso natural de reaireación. En el tramo 2 las constantes calculadas y calibradas aumentan a diferencia del tramo 1, por el motivo que a partir de este tramo la

corriente del estero tiende a ser ligeramente más rápida que el tramo anterior. Finalmente, en el tramo 3 las constantes calculadas empíricamente y las calibradas son considerablemente altas debido a que en esta sección cerca de la desembocadura la corriente es rápida y con menor profundidad que los anteriores tramos.

4.1.3.1.2. 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). En la tabla 15 se puede observar los valores calculados por la fórmula empírica Hydrosience y los calibrados mediante Statgraphic:

Tabla 15. Valores calculados y calibrados de la constante de desoxigenación (k_d)

Meses	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3	
	<i>Kd calculada</i>	<i>Kd calibrada</i>	<i>Kd calculada</i>	<i>Kd calibrada</i>	<i>Kd calculada</i>	<i>Kd calibrada</i>
Julio	0,997	0,953	1,076	1,117	1,216	1,033
Agosto	1,009	0,459	1,113	0,232	1,151	0,228
Septiembre	0,948	0,280	1,149	0,674	1,103	1,058
Octubre	0,948	0,226	1,166	0,930	1,194	11,628

Como se observa, los valores calculados y calibrados más altos de oxidación de materia orgánica (k_d) se dan en el tramo 2 y 3, mientras que el tramo 1 presenta valores menores, tanto para la k_d calculada como la calibrada.

4.1.3.1.3. Constante de remoción total de la DBO (k_r)

Los valores calculados para la constante de remoción total de la DBO, fueron obtenidas por las ecuaciones propuestas por Sierra (2011), para ser utilizadas en el ajuste inicial del modelo de Streeter-Phelps. En la tabla 16, se puede observar los valores calculados y calibrados de k_r :

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

Meses	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3	
	<i>Kr calculada</i>	<i>Kr calibrada</i>	<i>Kr calculada</i>	<i>Kr calibrada</i>	<i>Kr calculada</i>	<i>Kr calibrada</i>
<i>Julio</i>	0,997	1,516	1,076	23,950	1,216	13,535
<i>Agosto</i>	1,009	0,799	1,113	3,085	1,151	0,542
<i>Septiembre</i>	0,948	0,305	1,149	6,905	1,103	19,389
<i>Octubre</i>	0,948	0,238	1,166	8,973	1,194	12,963

Se observa que en los tramos 2 y 3 se presentan valores calibrados considerablemente altos en relación a los calculados, esto debido a que estas secciones poseen poca profundidad y corrientes muy lentas, lo que genera sedimentación en el fondo del cauce, elevando el valor de la k_r .

4.1.3.2. Comportamiento del Oxígeno Disuelto y la Demanda Bioquímica de Oxígeno

A continuación se detalla el comportamiento del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno en base a los datos obtenidos en la fase de campo con la ejecución de las campañas de muestreo, en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre. En primer lugar se detallan las características de la cabecera, descarga principal procedente de una industria procesadora de frutas, tributario 1 proveniente del Sector Promejoras y tributario 2 del Sector Gustavo Campo. También, se presentan las condiciones iniciales de cada tramo para los meses considerados, cálculos que fueron fundamentales para la modelización de la DBO y el OD. Cabe recalcar, que en la selección de los valores de entrada para el modelo de Streeter-Phelps, se escogieron datos promedios, máximos o mínimos, de acuerdo a la necesidad de obtener un ajuste eficiente del modelo al momento de calibrar.

4.1.3.2.1. Comportamiento del OD y la DBO en el mes de julio

En la tabla 17, se muestran los valores de entrada para el mes de julio, los cuales fueron ingresados al modelo de Streeter-Phelps para la modelización del OD y la DBO.

Tabla 17. Características de la cabecera, descarga y tributarios en el mes de julio

	Q (m ³ /s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (°C)
Corrientes aguas arriba	0,084	9,06	2,0	24,05
Descarga tramo 1	0,044	70,08	3,0	25,05
Tributario tramo 2	0,033	12,42	2,7	26,35
Tributario tramo 3	0,051	16,20	2,0	25,20

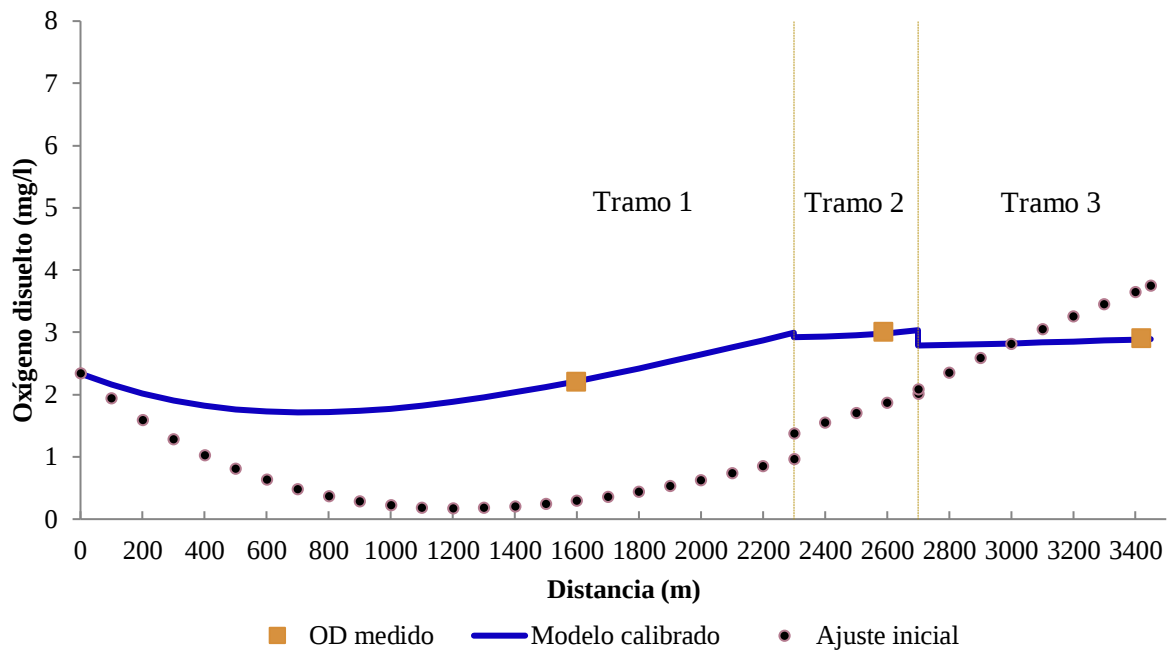
En la tabla 18 se observan las condiciones iniciales calculadas para cada tramo en el mes de julio como fueron temperatura del agua (T_0), DBO última inicial (L_0), oxígeno disuelto inicial (OD_0), oxígeno de saturación (OD_{sat}) y el déficit inicial de oxígeno (D_0), los cuales fueron empleados en el modelo matemático de Streeter-Phelps, para finalmente obtener los perfiles de oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno, tanto del ajuste inicial como del modelo calibrado.

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

Tramo	L_0 (mg/l)	OD_0 (mg/l)	T_0 (°C)	OD_{SAT} (mg/l)	D_0 (mg/l)
1	30,04	2,34	24,39	8,36	6,02
2	13,20	2,93	24,79	8,30	5,37
3	8,68	2,79	24,89	8,28	5,49

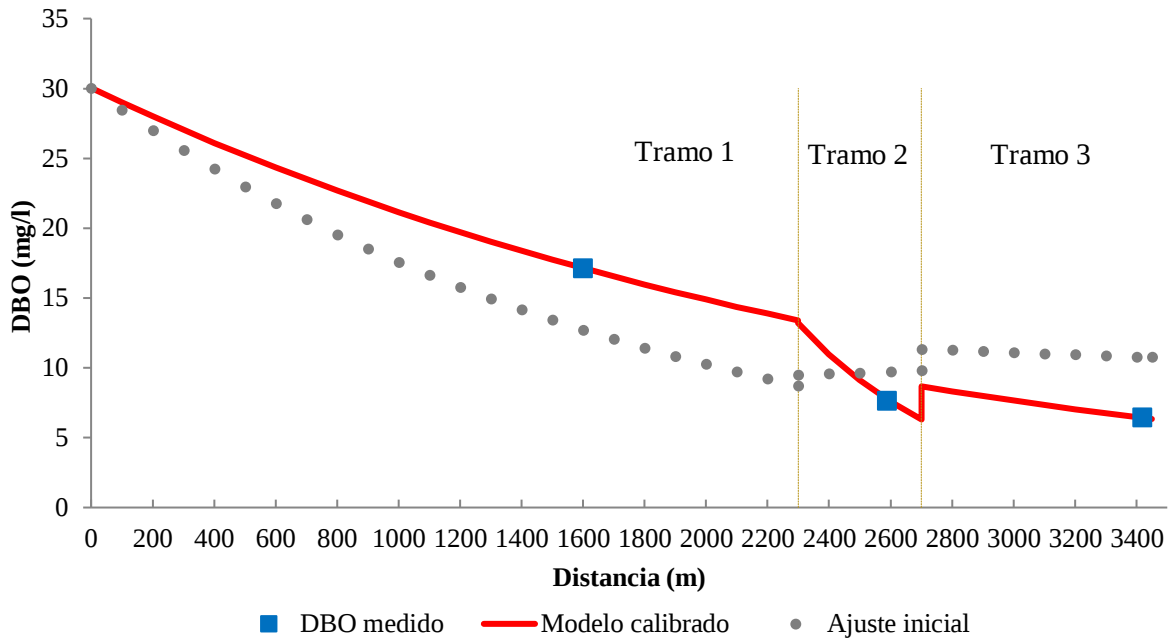
El gráfico 8 presenta el perfil del OD en el mes de julio, que se caracteriza por presentar una ligera elevación de las concentraciones partiendo con una concentración de 2,34 mg/l, manteniéndose constante hasta el inicio del tramo 3 (2700 m) llegando a los 3,04 mg/l al final del tramo 2. Sin embargo, a partir de los 2700 m, se experimenta un decrecimiento de los niveles de OD, obteniendo una concentración de 2,89 mg/l en la desembocadura del estero en el río Quevedo, que se le atribuye a la influencia del tributario 2 por el aporte de carga contaminante. Por otro lado, se observa que luego de la calibración paramétrica, se obtuvo un nivel de ajuste óptimo en relación con el ajuste inicial.

Gráfico 8. Perfil del OD del mes de julio



En el caso del perfil de la DBO que se muestra en el gráfico 9, se observa un nivel de ajuste óptimo de la calibración del modelo de Streeter-Phelps en relación con las mediciones tomadas en campo en cada punto de muestreo. Con respecto a la curva, se observa una disminución pronunciada a lo largo de todos los tramos, partiendo de una concentración inicial de 30 mg/l que disminuye a lo largo de la longitud del tramo 1. Sin embargo, a partir del tramo 2 (2300 m) se experimenta una disminución brusca de la DBO llegando a una concentración de 6,30 mg/l; no obstante, a partir de los 2700 m de distancia, donde da inicio el tramo 3, se produce un ligero aumento de los niveles de la DBO que se le atribuye al aporte de materia orgánica por el tributario 2, obteniendo una concentración de 6,4 mg/l en la desembocadura del estero en el río Quevedo.

Gráfico 9. Perfil de la DBO del mes de julio



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 1,86 % para la DBO en el tramo 2.

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

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
OD	0,69	0,56	0,45
DBO	0,38	1,86	0,01

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

En la tabla 20 se presentan los valores de entrada empleados en la modelización del OD y la DBO con Streeter-Phelps, para el mes de agosto.

Tabla 20. Características de la cabecera, descarga y tributarios en el mes de agosto

	Q (m ³ /s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (°C)
Corrientes aguas arriba	0,065	9,03	1,5	23,70
Descarga tramo 1	0,035	35,13	5,0	24,05
Tributario tramo 2	0,031	12,48	2,8	24,85
Tributario tramo 3	0,054	9,72	0,7	24,75

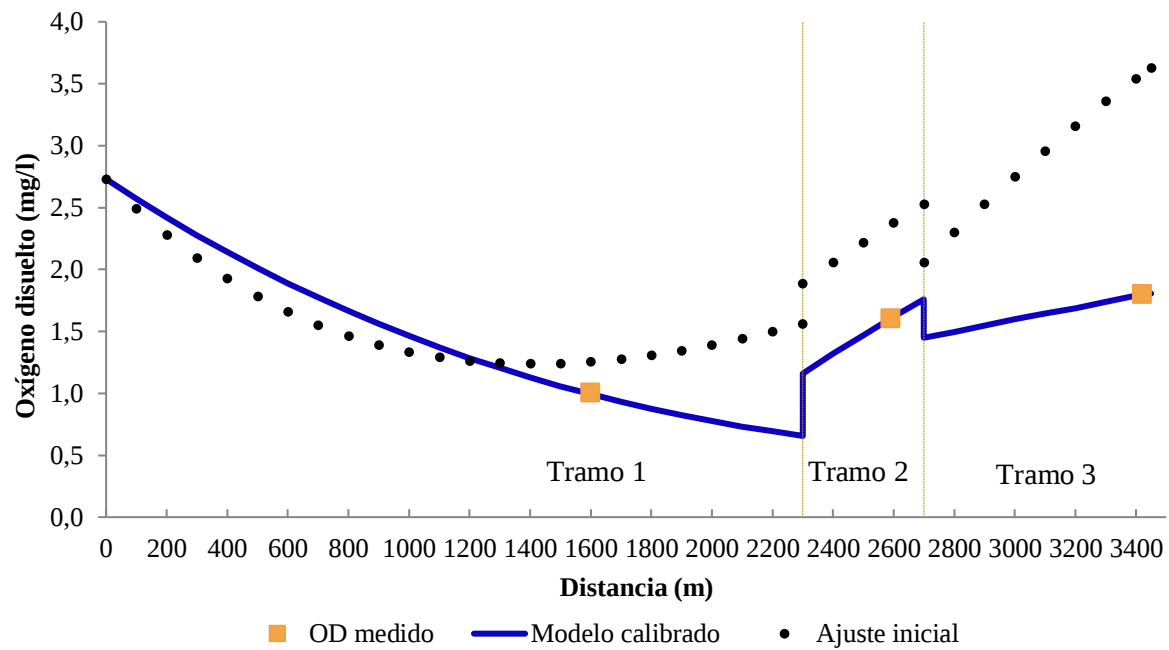
En la tabla 21 se puede observar las condiciones iniciales determinadas para el mes de agosto en los tramos segmentados, que formaron parte en la aplicación del modelo matemático y finalmente obtener los perfiles del OD y de la DBO, tanto para el ajuste inicial como del modelo calibrado:

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

Tramo	L _o (mg/l)	OD ₀ (mg/l)	T _o (°C)	OD _{SAT} (mg/l)	D _o (mg/l)
1	18,17	2,73	23,82	8,45	5,72
2	11,10	1,16	24,06	8,41	7,25
3	9,74	1,45	24,26	8,38	6,93

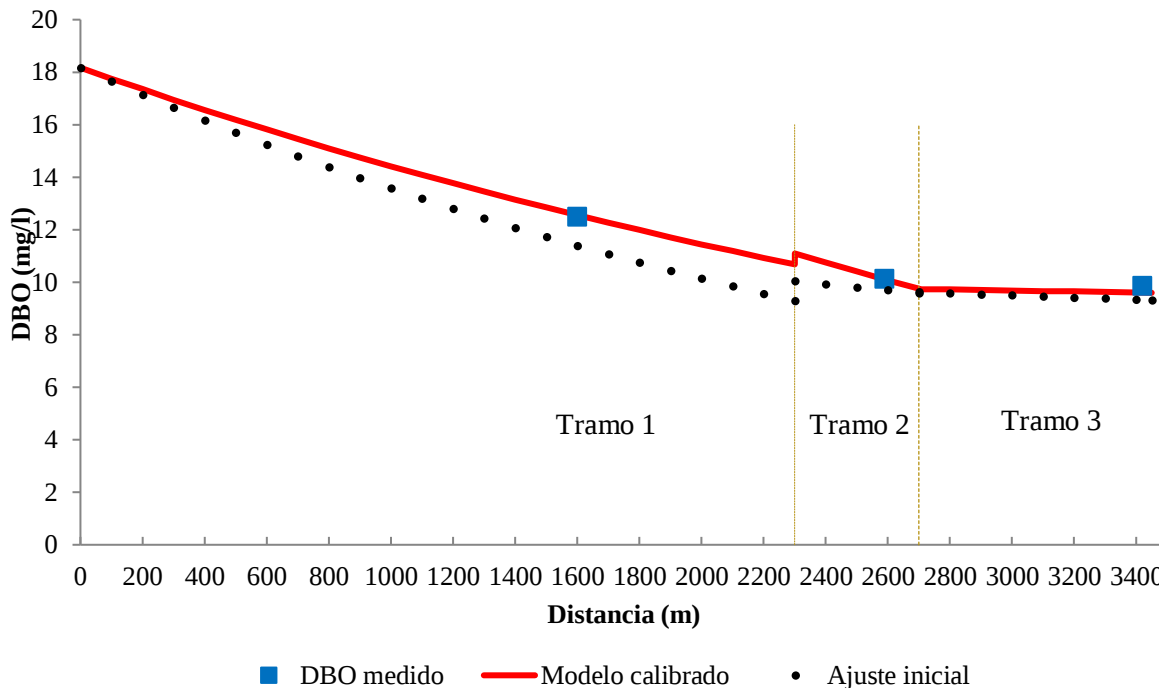
En el gráfico 10 se observa el perfil del OD en el mes de agosto, la curva se caracteriza por una pronunciada disminución del OD a lo largo del tramo 1, que parte con una concentración inicial de 2,7 mg/l llegando a concentraciones de 0 mg/l al final de dicho tramo, sin embargo, a partir del inicio del tramo 2 (2300 m), los niveles de OD se elevan moderadamente llegando a una concentración de 1,76 mg/l, que se le atribuye a la influencia del tributario 1 en el aporte de oxígeno a partir de este punto, no obstante, a partir del tributario 2 que da inicio al tramo 3, se experimenta nuevamente una disminución de los niveles de OD, atribuida a la carga contaminante del tributario mencionado, llegando a desembocar al río Quevedo con 1,8 mg/l. Así mismo, se observa que después de la calibración paramétrica, el ajuste fue óptimo en relación con el ajuste inicial.

Gráfico 10. Perfil del OD del mes de agosto



En relación al perfil de la DBO en el mes de agosto mostrado en el gráfico 11, se observa que la curva experimenta una moderada disminución de la concentración de la DBO a lo largo de todos los tramos hasta la finalización del tramo 3, partiendo con una concentración inicial de 18 mg/l y finalmente desembocando en el río Quevedo con una concentración de 9 mg/l, esto debido a las profundidades pequeñas del cauce en el tramo 3. También se observa que, luego de la calibración paramétrica, el nivel de ajuste es óptimo en relación con el ajuste inicial.

Gráfico 11. Perfil de la DBO del mes de agosto



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 muy pequeños, que fueron menores al 10 % como lo describe la literatura especializada, donde el error relativo más alto es de 2,46 % para la DBO en el tramo 3.

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

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
OD	0,86	0,02	0,24
DBO	0,58	0,07	2,46

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

En la tabla 23 se observan los valores de entrada empleados en la modelización del OD y la DBO con Streeter-Phelps, para el mes de septiembre.

Tabla 23. Características de la cabecera, descarga y tributarios en el mes de septiembre

	Q (m ³ /s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (°C)
Corrientes aguas arriba	0,035	10,68	1,5	23,10
Descarga tramo 1	0,015	21,72	4,0	23,75
Tributario tramo 2	0,020	12,46	2,4	24,50
Tributario tramo 3	0,034	8,16	0,9	25,90

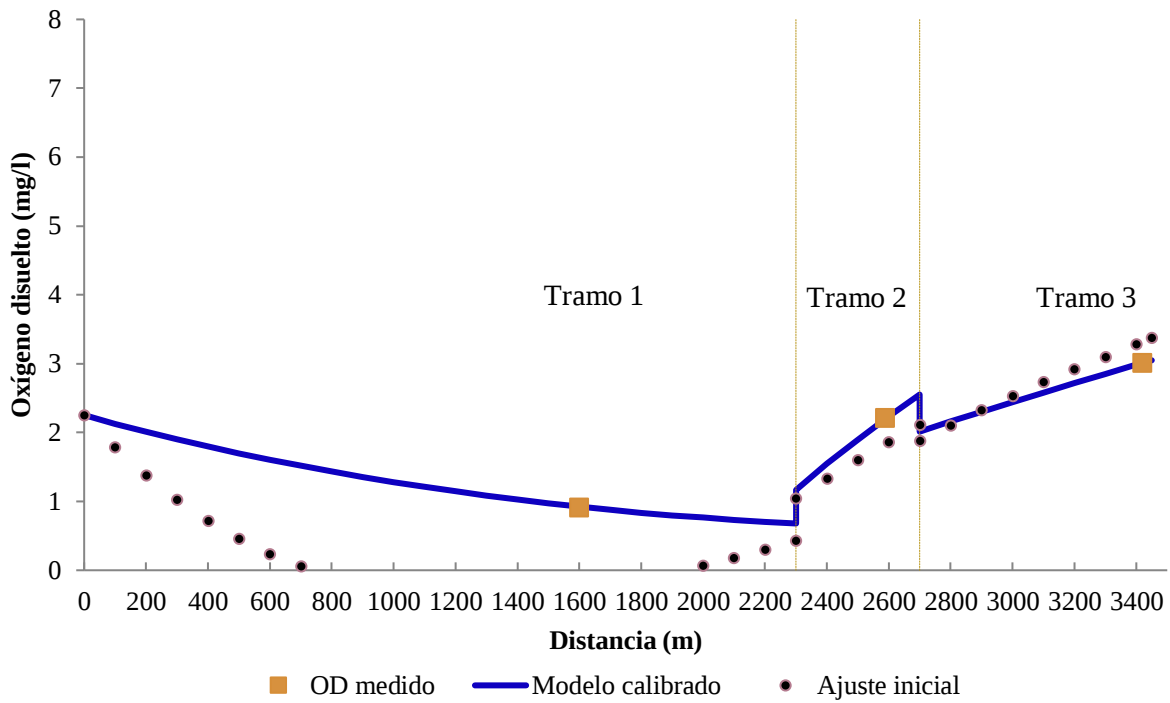
En la tabla 24 se observan las condiciones iniciales para cada tramo en el mes de septiembre, que sirvieron para la aplicación del modelo matemático y obtener los perfiles de oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno, tanto para el ajuste inicial como del modelo calibrado.

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

Tramo	L _o (mg/l)	OD ₀ (mg/l)	T _o (°C)	OD _{SAT} (mg/l)	D _o (mg/l)
1	13,99	2,25	23,30	8,53	6,28
2	10,22	1,17	23,64	8,48	7,31
3	7,49	2,01	24,38	8,36	6,35

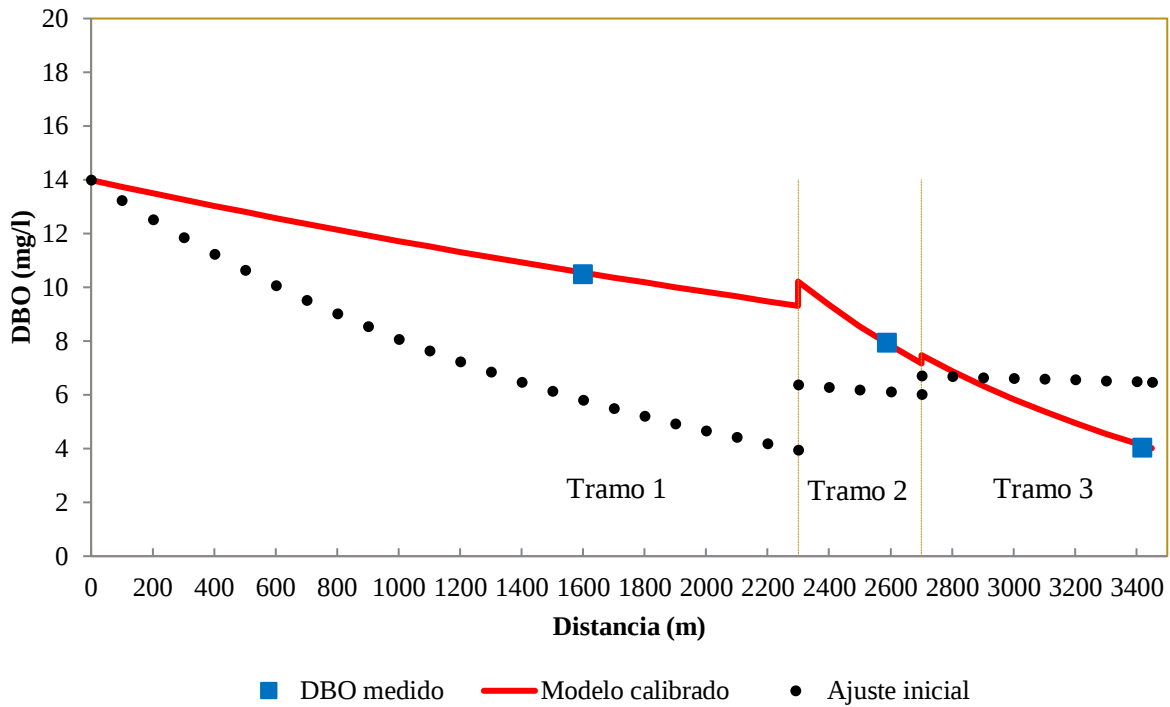
Se observa en el gráfico 12 el perfil del OD para el mes de septiembre, donde las concentraciones en el tramo 1 tienden a bajar a medida que llega al final del tramo, que se le atribuye a la influencia de la descarga, la disminución de los caudales a medida que transcurren los meses (época seca) y corrientes extremadamente lentas en este sitio. No obstante, la concentración de OD tiende a elevarse ligeramente a los 2300 m donde da inicio al tramo 2, alcanzando un valor máximo de 2,56 mg/l, dando a conocer el aporte de oxígeno que recibe por el tributario 1, finalmente en el tramo 3, desde el tributario 2, nuevamente sufre un descenso de los niveles de OD debido al aporte contaminante del tributario, llegando a la desembocadura del río Quevedo con una concentración de 3,04 mg/l. Por otra parte, se observa que, después de la calibración paramétrica, se obtuvo un nivel de ajuste óptimo en relación con el ajuste inicial.

Gráfico 12. Perfil del OD del mes de septiembre



En el caso del perfil de la DBO que se observa en el gráfico 13, la curva muestra una inclinación moderada a disminuir a lo largo del tramo 1, partiendo con una concentración inicial de 14 mg/l que va decreciendo a medida que llega al primer tributario que da inicio al tramo 2, en donde se produce una disminución notable de la concentración de la DBO hasta donde concluye el tramo 3 siendo la desembocadura del estero en el río Quevedo, alcanzando un valor de 4,01 mg/l, que se lo relaciona por el nivel de turbulencia de esta zona y menos profundidad del cauce. Finalmente, se puede observar que se obtuvo un ajuste óptimo en la calibración del modelo de Streeter-Phelps con relación a los valores medidos en campo para cada sitio de muestreo.

Gráfico 13. Perfil de la DBO del mes de septiembre



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 muy pequeños, debido a que no hubo errores mayores al 10 % tal como lo sugiere la literatura especializada, siendo el error relativo más alto de 2,60 % tanto para el tramo 1 (OD) y tramo 3 (DBO).

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

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
OD	2,60	0,06	0,35
DBO	0,69	0,13	2,60

4.1.3.2.4. Comportamiento del OD y la DBO en el mes de octubre

En la tabla 26 se observan los valores de entrada utilizados en la modelización del OD y la DBO para el mes de octubre.

Tabla 26. Características de la cabecera, descarga y tributarios en el mes de octubre

	Q (m ³ /s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (°C)
Corrientes aguas arriba	0,026	12,69	0,7	22,75
Descarga tramo 1	0,013	29,61	5,9	23,15
Tributario tramo 2	0,028	12,46	2,2	25,5
Tributario tramo 3	0,034	9,57	2,9	25,5

En la tabla 27 se observan las condiciones iniciales determinadas para cada tramo en el mes de octubre, que sirvieron para la aplicación del modelo matemático y obtener los perfiles de oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno, tanto para el ajuste inicial como del modelo calibrado.

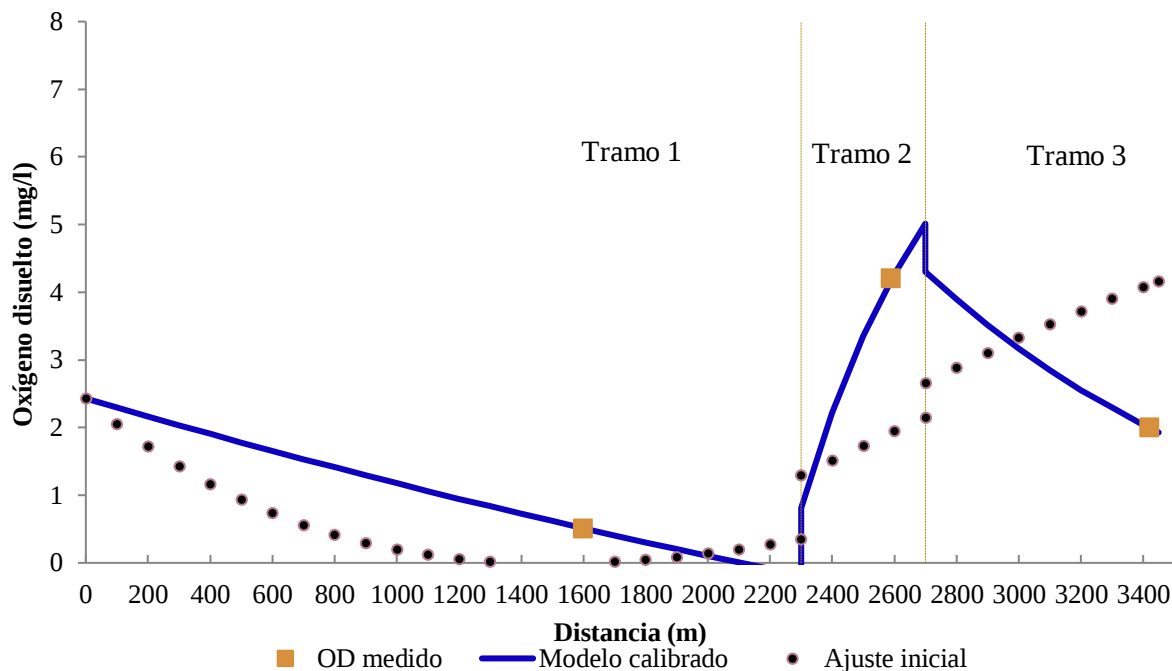
Tabla 27. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de octubre

Tramo	L _o (mg/l)	OD ₀ (mg/l)	T _o (°C)	OD _{SAT} (mg/l)	D _o (mg/l)
1	18,33	2,43	22,88	8,60	6,17
2	13,85	0,81	23,97	8,42	7,61
3	9,35	2,40	24,49	8,34	5,94

El perfil del OD en el mes de octubre mostrado en el gráfico 14 se caracteriza por una disminución de su concentración hasta el agotamiento total, que produce una zona anaeróbica al final del tramo 1, aunque de corta longitud (menor a 200 m). Sin embargo, a partir de los 2300 m de distancia, en el inicio del tramo 2, los niveles de OD experimentan un rápido incremento, alcanzando un valor de 5 mg/l hasta el inicio del tramo 3, lo cual revela la influencia del tributario 1 en el aporte de oxígeno a la corriente; aunque, desde el tributario 2 se produce una vez más la disminución del OD, produciendo una concentración de 2mg/l en la desembocadura del estero en el río Quevedo, atribuida a la carga contaminante aportada por el

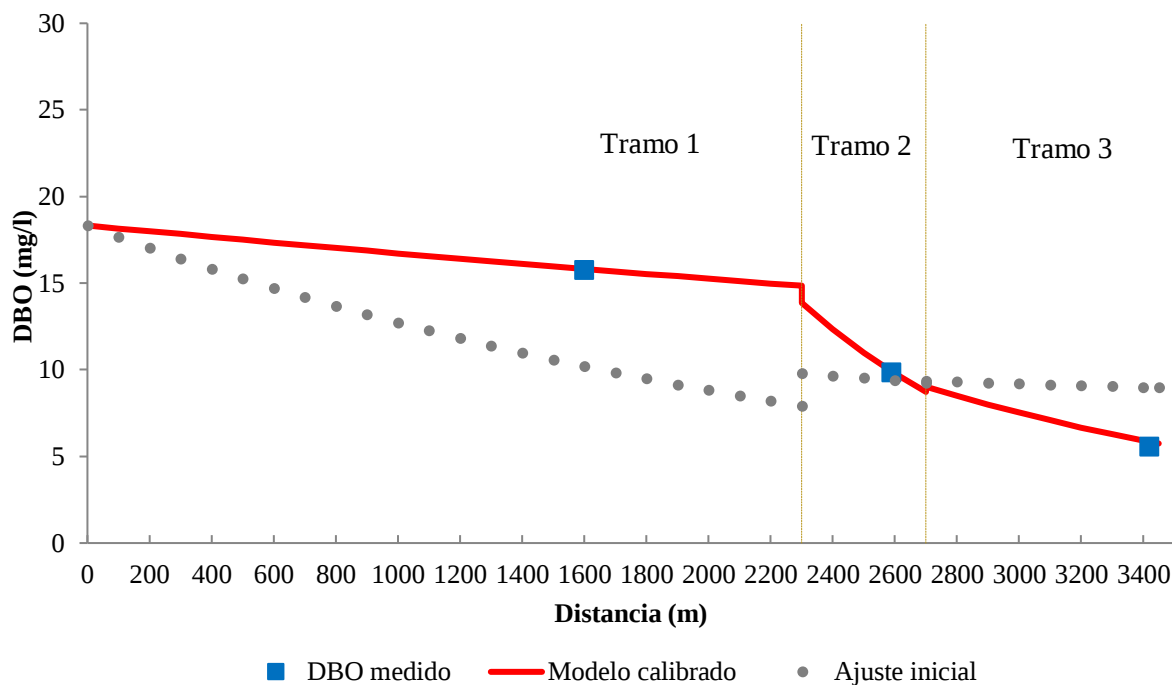
referido tributario. Se observa también que, luego de la calibración paramétrica, se obtuvo un nivel de ajuste óptimo en relación con el ajuste inicial.

Gráfico 14. Perfil del OD del mes de octubre



En el caso del perfil de la DBO mostrado en el gráfico 15, se observa un ajuste óptimo de la calibración del modelo de Streeter-Phelps en relación con las mediciones de campo en cada punto de muestreo. Al respecto, la curva revela una variación mínima desde una concentración inicial de 18 mg/l a lo largo de la longitud del tramo 1; no obstante, la disminución se torna más pronunciada desde el tributario 1 hasta la finalización del tercer tramo en la desembocadura del estero en el río Quevedo, donde la concentración toma un valor de 6 mg/l, debido a la pequeña profundidad del cauce y un efecto significativo de la sedimentación de la materia orgánica regulado por los valores altos determinados para la constante de remoción total de la DBO (k_r).

Gráfico 15. Perfil de la DBO del mes de octubre



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 muy pequeños, menores al 10 % como sugiere la literatura especializada, siendo el error relativo más alto de 5,62 % el tramo 3 para la DBO.

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

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
OD	1,67	0,35	0,01
DBO	0,73	1,01	5,62

4.1.3.2.5. Análisis de rendimiento

El análisis de rendimiento del modelo calibrado de Streeter-Phelps en el mes de octubre indica un ajuste óptimo para el parámetro OD entre los valores observados en la corriente y los valores predichos por el modelo, con valores iguales a 1,0 tanto en el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe como en el coeficiente de determinación. Por otro lado, el rendimiento del modelo para la DBO también presenta un valor óptimo en ambos estadísticos, aun cuando el valor de los índices del error empleados son un poco más bajos para los tramos dos y tres de la corriente. Los resultados de los estadísticos utilizados para tal efecto se muestran en las tablas 29 y 30:

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

Tramo	Origen datos	Meses				Media	Error	
		JUL	AGO	SEP	OCT		NSE	R2
T1	Medición	2,20	1,00	0,90	0,50	1,15	0,999	1,000
	Predicción	2,22	0,99	0,92	0,51	1,16		
T2	Medición	3,00	1,60	2,20	4,20	2,75	1,000	1,000
	Predicción	2,99	1,60	2,21	4,18	2,75		
T3	Medición	2,90	1,80	3,00	2,00	2,43	1,000	1,000
	Predicción	2,89	1,80	3,01	2,00	2,43		
Media	Medición	2,70	1,47	2,03	2,23			
	Predicción	2,70	1,46	2,05	2,23			
Error	NSE	0,999	1,000	0,999	1,000			
	R2	1,000	1,000	1,000	1,000			

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

Tramo	Origen datos	Meses				Media	Errores	
		JUL	AGO	SEP	OCT		E	R2
T1	Medición	17,07	12,48	10,47	15,71	13,93	0,999	1,000
	Predicción	17,13	12,55	10,55	15,83	14,02		
T2	Medición	7,58	10,11	7,91	9,81	8,85	0,994	0,997
	Predicción	7,72	10,10	7,90	9,91	8,91		
T3	Medición	6,40	9,84	4,01	5,52	6,44	0,990	0,996
	Predicción	6,40	9,60	4,12	5,85	6,49		
Media	Medición	10,35	10,81	7,46	10,35			
	Predicción	10,42	10,75	7,52	10,53			
Error	NSE	0,977	0,981	0,993	0,974			
	R2	1,000	0,996	1,000	1,000			

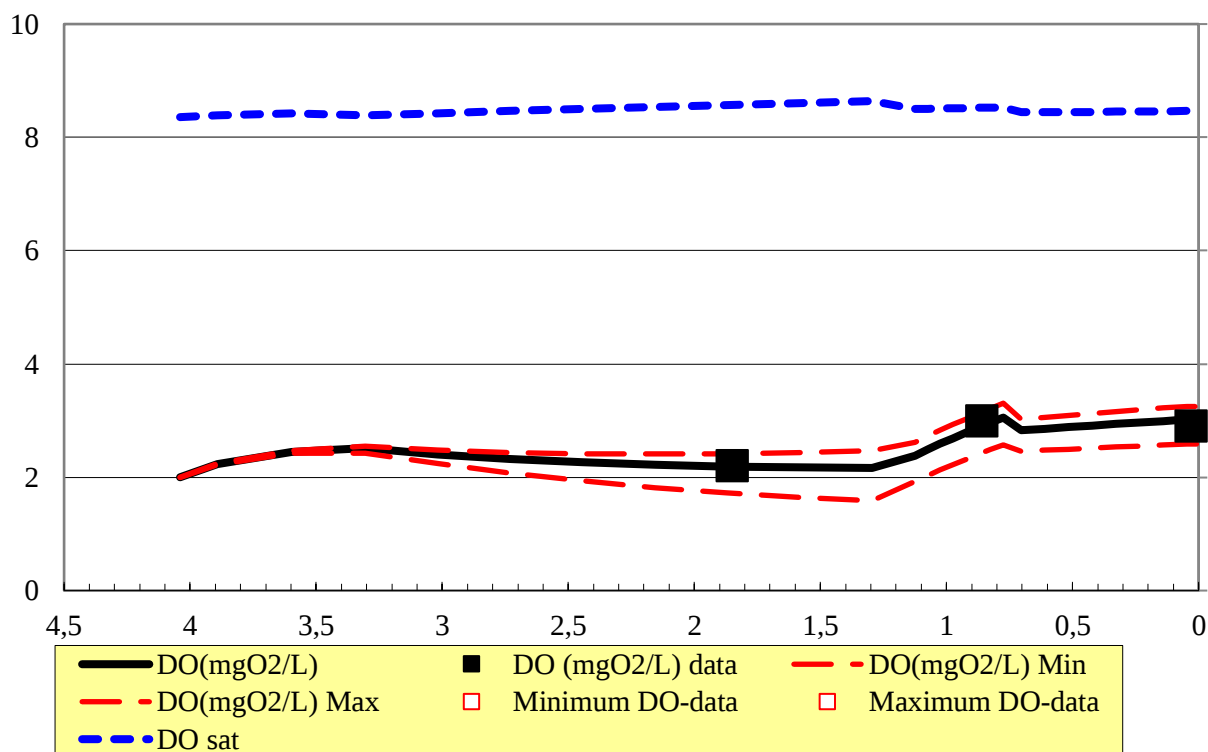
4.1.4. Simulación de la calidad del agua del estero El Pital con QUAL2K

Para la simulación de la calidad del agua del estero El Pital 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, 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 (3 puntos) con sus valores observados en la fase de campo para cada tramo y la curva de variación predicha por el programa.

4.1.4.1. Simulación del OD y la DBO en el mes de julio

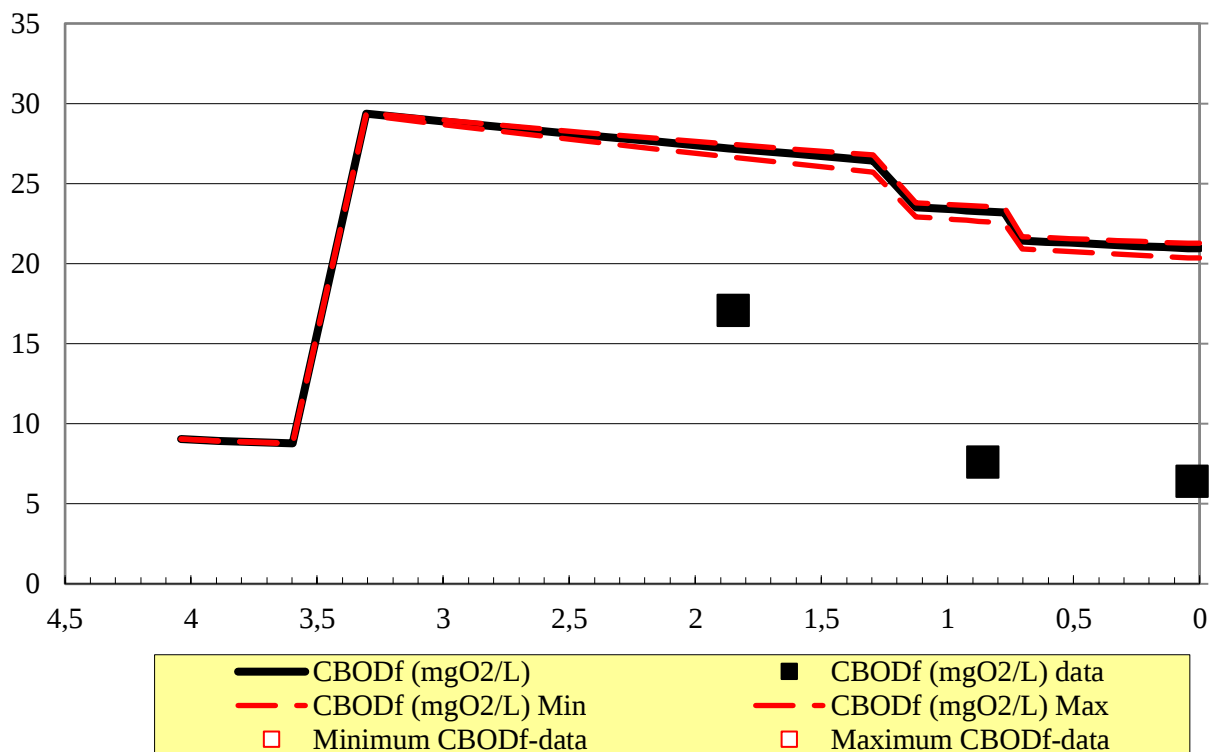
La simulación de la calidad del agua en términos del OD y la DBO a través del programa QUAL2K para el mes de julio, se muestra en los gráfico 16 y 17 respectivamente:

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



En el gráfico 16 se puede observar la simulación en relación al OD con el modelo QUAL2K para el mes de julio, donde se observa que el ajuste es óptimo en el primer y tercer tramo, debido al acercamiento de los valores observados en campo y los predichos por el programa, mientras que en el segundo tramo, se genera un ajuste menor de la concentración de OD.

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

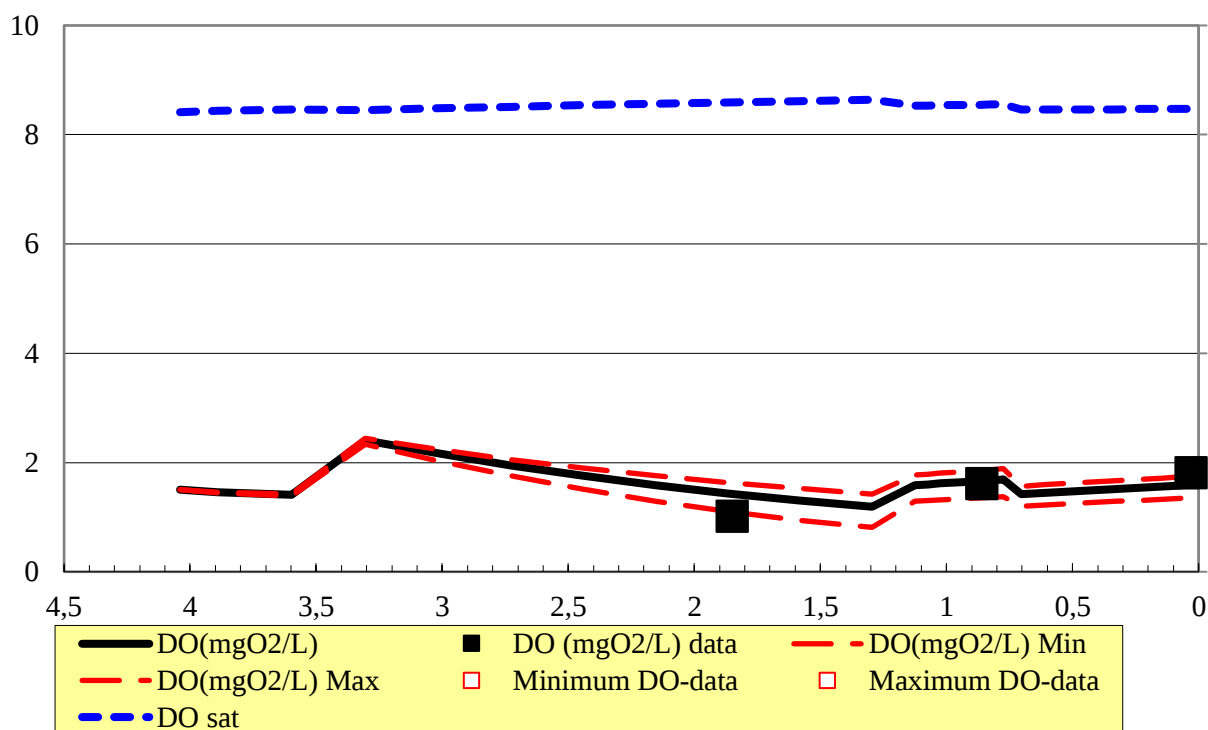


En relación con la simulación de la DBO en el mes de julio con QUAL2K, mostrado en el gráfico 17, se observa que no se presenta un buen ajuste de los datos observados en campo con los predichos por el programa, sobreestimando considerablemente los valores de la variable en los tres tramos.

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

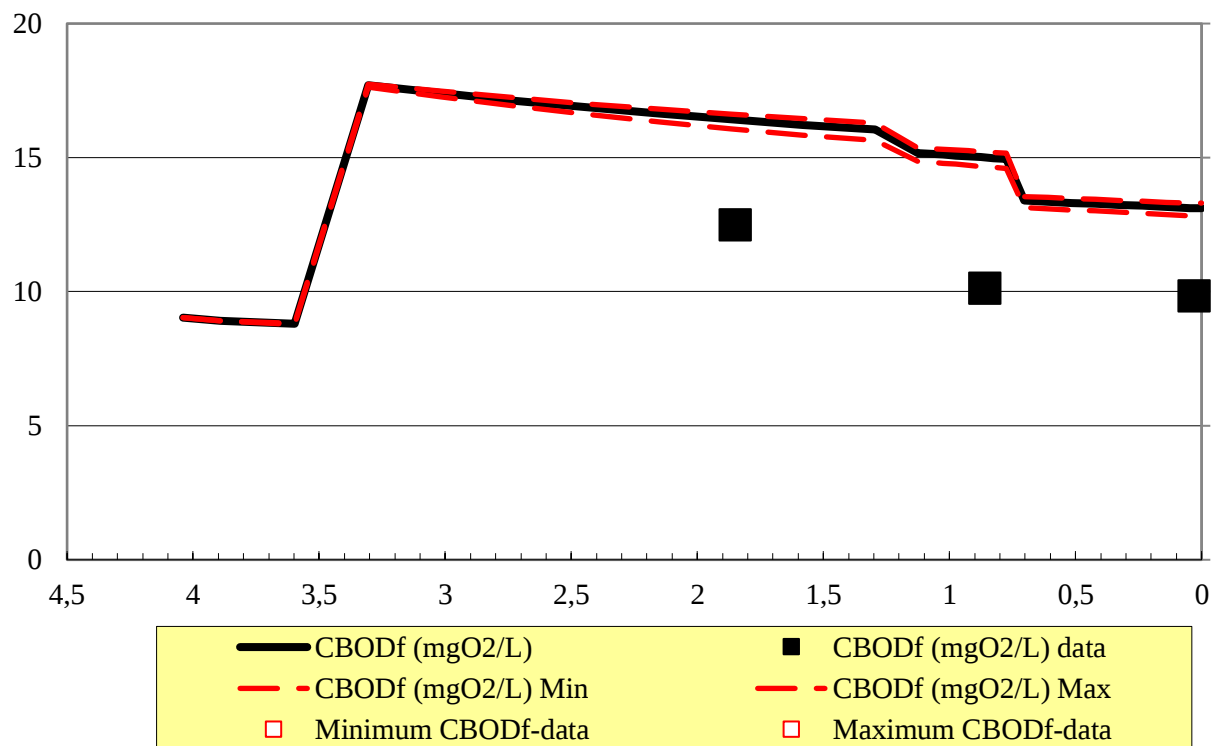
La simulación del OD y de la DBO con QUAL2K para el mes de agosto, se observa en los gráficos 18 y 19 respectivamente:

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



La simulación del OD realizado por QUAL2K para el mes de agosto se observa en el gráfico 18, en el cual se presenta un ajuste óptimo en el segundo (Coop. Los Chapulos) y tercer tramo de la corriente (desembocadura), por el contrario, el programa sobreestima la concentración de OD en el tramo 1 (Sector Puerto López).

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

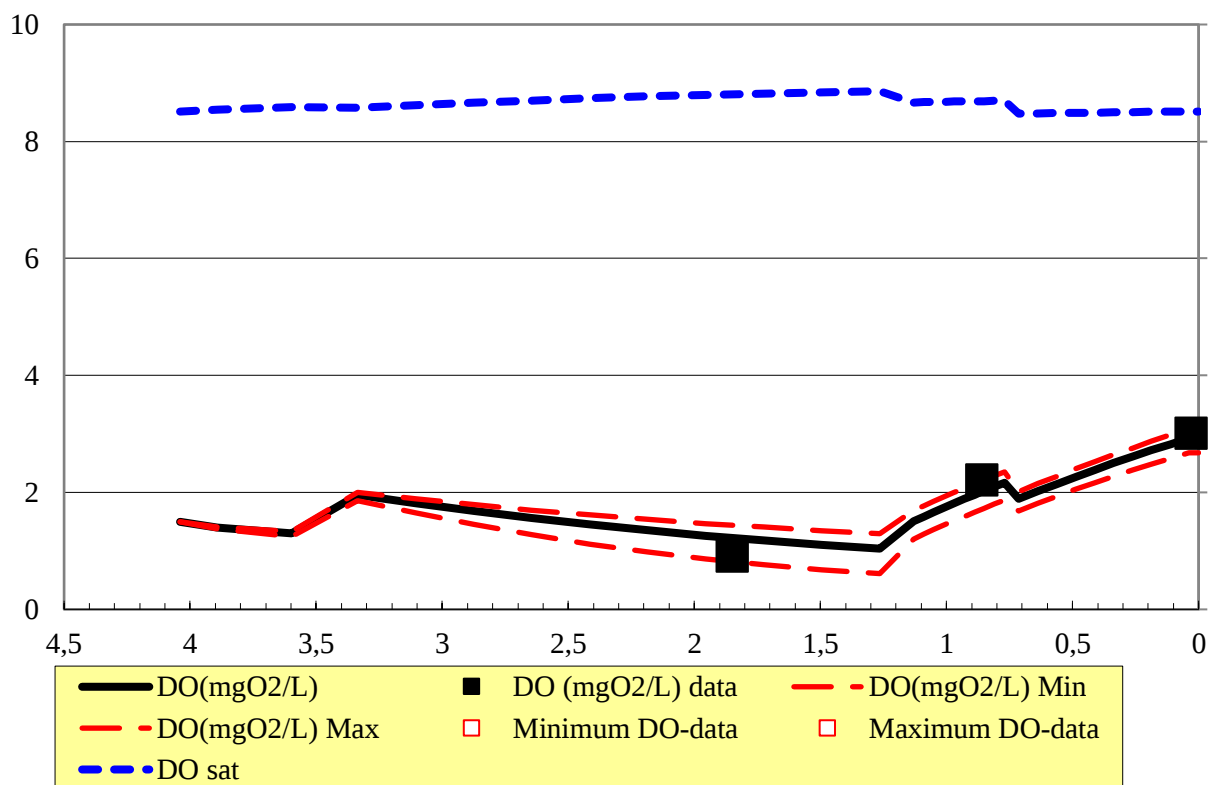


Con respecto a la simulación de la DBO por QUAL2K para el mes de agosto, se observa en el gráfico 19, que no se obtiene un buen ajuste entre los valores observados en campo en relación a los que predice, debido a que el programa sobreestima ampliamente las concentraciones de la DBO en los tres tramos.

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

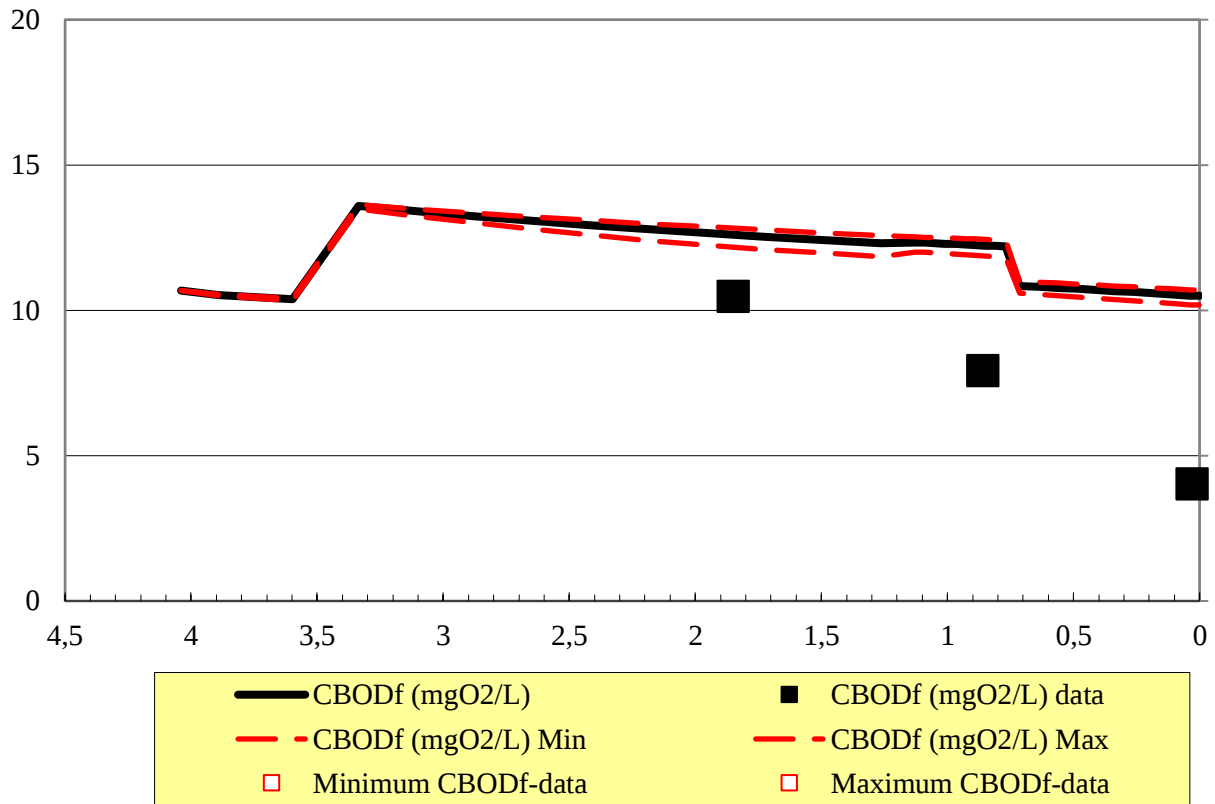
La simulación con QUAL2K en términos del OD y la DBO, se muestran en los gráficos 20 y 21, correspondiente al mes de septiembre:

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



Como puede observarse en el gráfico 20, el ajuste en relación al OD es óptimo en los dos últimos tramos (Coop. Los Chapulos y desembocadura), acercándose los valores de campo a los predichos por el modelo, por otra parte, el programa sobreestima ligeramente la concentración de OD en el primer tramo (Sector Puerto López).

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

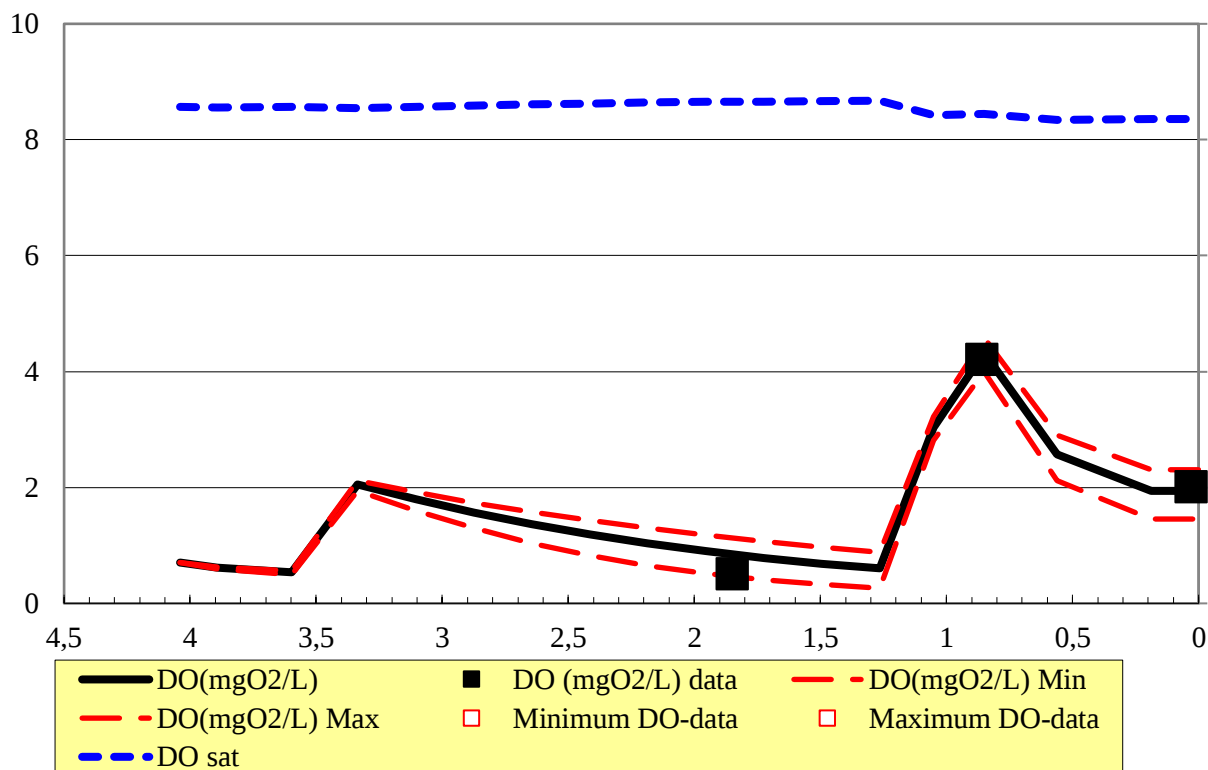


Una vez más se observa en el gráfico 21 que el ajuste de las concentraciones de la DBO con QUAL2K no es óptimo, debido a que el programa sobreestima las concentraciones de la DBO en los tres tramos, al igual que en los meses anteriores los valores tomados en campo no se acercan a los predichos por el modelo.

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

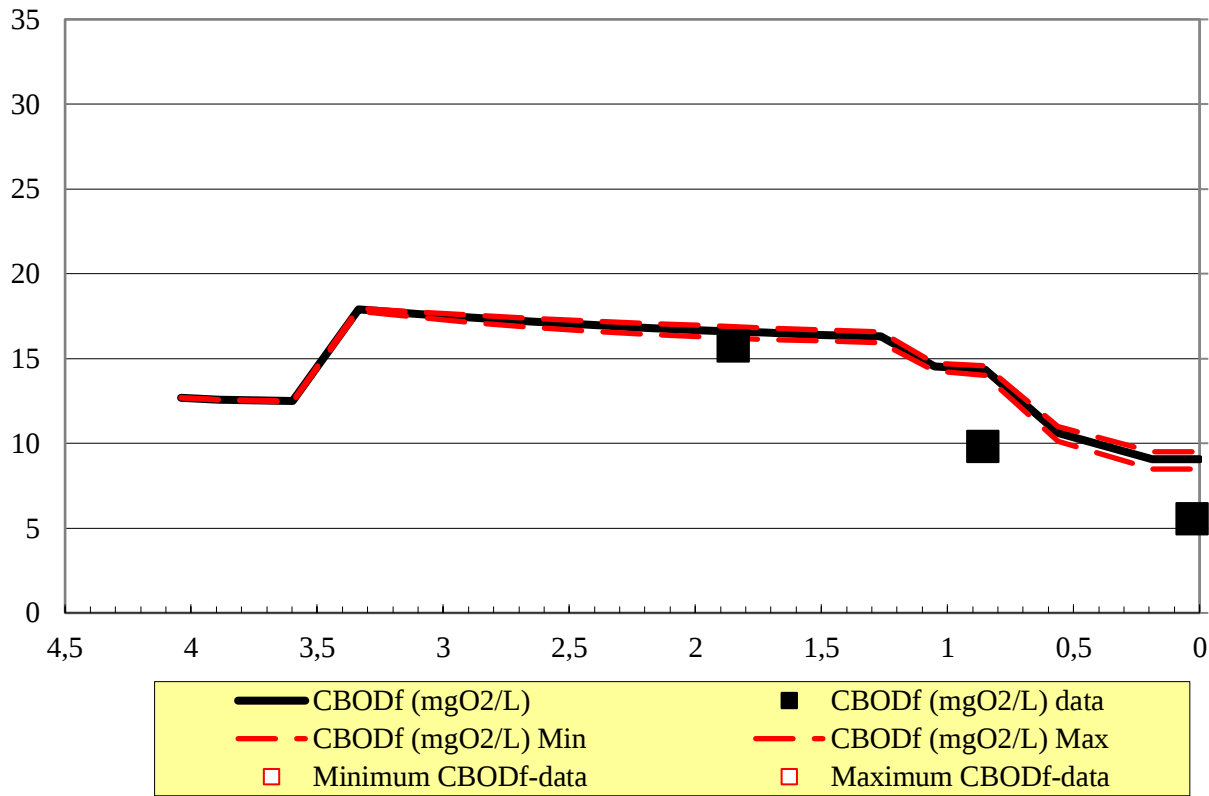
La simulación del OD y la DBO correspondiente al mes de octubre mediante QUAL2K, se muestran en los gráficos 22 y 23:

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



En el gráfico 22 se muestra la simulación del OD para el mes de octubre, donde se observa que el ajuste en relación a los valores medios observados en campo y los predichos por QUAL2K es ligeramente óptimo en el tramo 2 y 3, mientras que en el tramo 1, QUAL2K subestima la concentración de oxígeno disuelto.

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



Por su parte, el gráfico 23 muestra la simulación de QUAL2K, en el cual se observa un ajuste más cercano entre los datos promedio observados en campo y los predichos por el programa en comparación a los meses anteriores, especialmente en el tramo 1, a pesar de ello, el programa una vez más sobreestima las concentraciones de la DBO en los tramos 2 y 3.

4.1.4.5. Calibración de constantes cinéticas de QUAL2K

En la tabla 31, se muestran las constantes cinéticas utilizadas para la calibración de QUAL2K y los valores calibrados obtenidos por Streeter-Phelps:

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

Constante cinética	Tramos	Julio		Agosto		Septiembre		Octubre	
		Streeter-Phelps	Qual2k	Streeter-Phelps	Qual2k	Streeter-Phelps	Qual2k	Streeter-Phelps	Qual2k
K_a	T1	3,341	3,341	0,479	0,479	0,281	0,281	0,104	0,104
	T2	2,575	10,121	2,403	2,403	4,972	4,972	17,642	26,099
	T3	2,208	4,653	2,292	2,292	6,571	6,571	3,026	7,301
K_d	T1	0,953	1,076	0,459	1,1130	0,280	0,948	0,226	0,948
	T2	1,117	0,953	0,232	1,1130	0,674	0,674	0,930	0,930
	T3	1,033	0,953	0,228	1,1510	1,058	1,058	11,628	11,628

4.1.4.6. Análisis de rendimiento

El análisis de rendimiento de la calibración del programa QUAL2K indica un ajuste ligeramente óptimo para la variable de OD entre los valores predichos por el modelo y los medidos en la corriente, presentando valores inferiores a 1, tanto en el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe como en el coeficiente de determinación. Por otro lado, el rendimiento del modelo para la DBO presenta un ajuste mucho menor en relación al OD en ambos estadísticos, especialmente en los valores determinados por el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe. Los resultados de los estadísticos utilizados para tal efecto se muestran en las tablas 32 y 33:

Tabla 32. Rendimiento de QUAL2K con respecto al OD

Tramo	Origen datos	Meses				Media	Error	
		JUL	AGO	SEP	OCT		NSE	R2
T1	Medición	2,20	1,00	0,90	0,50	1,15	0,755	0,974
	Predicción	2,20	1,44	1,18	0,85	1,42		
T2	Medición	3,00	1,60	2,20	4,20	2,75	0,981	0,998
	Predicción	2,93	1,60	2,10	3,96	2,65		
T3	Medición	2,90	1,80	3,00	2,00	2,43	0,949	0,975
	Predicción	2,9	1,80	3,00	1,76	2,37		
Media	Medición	2,70	1,47	2,03	2,23			
	Predicción	2,68	1,61	2,09	2,19			
Error	NSE	0,995	0,806	0,912	0,812			
	R2	0,994	0,886	0,983	0,984			

Tabla 33. Rendimiento de QUAL2K con respecto a la DBO

Tramo	Origen datos	Meses				Media	Error	
		JUL	AGO	SEP	OCT		NSE	R2
T1	Medición	17,07	12,48	10,47	15,71	13,93	-3,552	0,703
	Predicción	27,21	16,42	12,53	16,60	18,19		
T2	Medición	7,58	10,11	7,91	9,81	8,85	-60,860	0,203
	Predicción	23,25	15,01	12,24	14,43	16,23		
T3	Medición	6,40	9,84	4,01	5,52	6,44	-15,221	0,055
	Predicción	21,68	13,12	10,51	8,77	13,52		
Media	Medición	10,35	10,81	7,46	10,35			
	Predicción	24,05	14,85	11,76	13,27			
Error	NSE	-350,780	-41,083	-23,989	-21,338			
	R2	0,969	0,758	0,928	0,887			

4.2. Discusión

El caudal de la corriente principal disminuye de julio a octubre significativamente, lo cual se le atribuye a la influencia de la época de estiaje en estos meses, presentándose los mayores caudales en el mes de julio, con un valor promedio máximo y mínimo de $0,272 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0,084 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. Datos similares han sido registrados por Cunha Menezes et al., en su investigación 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, quienes en época de ausencia de lluvias, obtuvieron un caudal máximo y mínimo de $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$, en ese orden [27].

Las mediciones de oxígeno disuelto indican niveles bajos en todos los meses de muestreo (estación seca), con un valor máximo de $4,8 \text{ mg/l}$ y un valor mínimo de $0,3 \text{ mg/l}$, constituyendo concentraciones inferiores al 80% de saturación exigidos por la normativa ambiental ecuatoriana, que sugieren, consecuentemente, la contaminación de las aguas del estero El Pital por actividades antrópicas. Datos similares han sido reportados por Hahn et al., en su estudio de monitoreo de la calidad del agua en el río Texcoco realizado en el año 2006, quienes obtuvieron concentraciones bajas de oxígeno disuelto, en los puntos de muestreo caracterizados por la descarga de aguas residuales con gran contenido de materia orgánica, siendo $3,79 \text{ ppm}$ el valor más bajo. Así, concluyen que por los bajos valores del oxígeno disuelto y la baja aireación de la corriente del río en tales tramos, hay una situación de riesgo para los peces, debido a que la mayoría de los riachuelos requieren un mínimo de 5 ppm de oxígeno disuelto para soportar una vida acuática diversa. Pérez y Rodríguez en el año 2008, desarrollaron un ICA (Índice de Calidad del Agua) fisicoquímico, para evaluar la condición del agua de las lagunas tropicales de inundación en Costa Rica, los cuales llegan a la conclusión que la mayoría de los peces toleran una concentración baja de oxígeno disuelto por cierto período de tiempo, sin embargo, reducciones por debajo del porcentaje de saturación, generan efectos negativos sobre la biodiversidad, crecimiento, reproducción y actividad de estos [36] [24] [13]

La variación de la DBO_5 se caracterizó por altas concentraciones en el tramo 1, a lo largo de los cuatro meses considerados en la estación seca, con valores máximo y promedio mayores de 28 mg/l y 20 mg/l , respectivamente, correspondientes al mes de agosto; asimismo, se

observó una tendencia común a todos los meses de muestreo, que muestra la disminución constante de la DBO_5 hasta la desembocadura en el río Quevedo, con valores medios mensuales más altos iguales a 20 mg/l (agosto), 14 mg/l (agosto) y 11 mg/l (julio), y valores medios mensuales más bajos iguales a 10 mg/l (septiembre), 8 mg/l (julio) y 4 mg/l (septiembre), para los tramos uno, dos y tres, en ese orden; atribuyéndose este comportamiento a la ausencia de fuentes puntuales de carga contaminante importante, a la reaireación rápida de la corriente, y a procesos de sedimentación significativos, en los últimos dos tramos, produciendo una mayor eliminación de la materia orgánica. El mismo patrón de variabilidad fue determinado por Pazmiño et al., en el año 2017, quienes modelaron la calidad del agua del estero Aguas Claras, en el cantón Quevedo, y también observaron una tendencia descendente de la DBO_5 a medida que avanzaba la corriente a lo largo de los tramos modelizados, que fue explicada en términos de la influencia de la constante de remoción total de la DBO en el proceso de autodepuración de la corriente [23].

En los perfiles del oxígeno disuelto (curvas sag) obtenidos para cada uno de los cuatro meses considerados en la estación seca, se hace evidente la ocurrencia de un punto crítico hacia el final del primer tramo, y una ligera recuperación de los niveles de oxígeno en la corriente a partir del segundo tramo. No obstante, se determinó también la ocurrencia de una zona anaeróbica en el final del tramo 1 (mes de octubre), que se puede relacionar con la reducción del caudal y velocidad de la corriente hacia el final de la estación seca y el consecuente agotamiento del oxígeno en los tramos más lentos y más profundos. 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. El mismo acontecimiento fue reportado por Urrego en su estudio del comportamiento del oxígeno disuelto en la cuenca alta del Río Tunjuelo, mediante la utilización de las ecuaciones de Streeter-Phelps, quien obtuvo en los perfiles del OD, un decaimiento importante para la estación Yomasa, generando un proceso anaerobio y posiblemente anóxico [37] [28].

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 autopurificación de El Pital, cuya variación osciló entre $0,104 \text{ d}^{-1}$ y $17,642 \text{ d}^{-1}$. En este contexto, el ajuste estadístico relacionado con la variable oxígeno disuelto mostró valores de 1,0 para el coeficiente de determinación y de 0,999 para el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe, de julio a octubre, y en cada uno de los tres tramos de la corriente; no obstante, la calibración del parámetro DBO se caracterizó por un ajuste ligeramente menor, con valores superiores a 0,974 y a 0,996 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 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 Pital al momento de seleccionar el modelo de Streeter-Phelps [27].

El análisis de rendimiento de la calibración del programa QUAL2K refleja un ajuste estadístico ligeramente óptimo en relación con los perfiles del OD, en el cual los valores predichos se acercaron a los medidos en campo, mostrando valores de 0,886 a 0,994 para el coeficiente de determinación y de 0,806 a 0,995 para el índice de Nash-Sutcliffe, de julio a octubre; asimismo, en los tramos valores de 0,974 a 0,998 y de 0,755 a 0,981, para el coeficiente de determinación y el índice de Nash-Sutcliffe, respectivamente. Por el contrario, el ajuste del parámetro DBO, obtuvo un ajuste ligeramente inferior con respecto al OD de acuerdo a los valores de coeficiente de determinación. En este contexto, investigaciones similares como la llevada a cabo por Hadgu et al., en el año 2014, quienes aplicaron el modelo de calidad del agua QUAL2K para modelar la dispersión de contaminantes en el río Ndarugu,

en Kenya, en el cual evaluaron el rendimiento del modelo, 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 [25].

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los mayores caudales se registraron en el mes de julio, obteniéndose un caudal promedio máximo de 128 l/s en el tramo 1, 221 l/s en el tramo 2 y 272 l/s en el tramo 3; sin embargo, hasta el último mes de estudio, el caudal disminuyó, siendo el caudal promedio más bajo de 39 l/s en el mes de octubre (tramo 1). Esto se atribuye al avance de la época de estiaje y a las modificaciones en ciertos puntos del cauce, donde se extrae el agua para el regadío de pequeños cultivos agrícolas ubicados en las orillas del estero, en el sector Los Chapulos,
- Con respecto a la velocidad de la corriente del estero, se determinó que el tramo tres es el más veloz, en el sector Los Chapulos, llegando a velocidades máximas de 0,39 m/s y un valor promedio de 0,37 m/s. Por otra parte, las corrientes más lentas se presentan aguas arriba de la fuente puntual de contaminación, con valores que varían entre 0,01 m/s y 0,05 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 4,2 mg/l y 0,5 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 0,9 y 0,5 mg/l en los meses de septiembre y octubre.
- El monitoreo quincenal de la DBO reveló que las concentraciones más altas en la corriente principal se presentaron en el tramo 1 (Sector Puerto López), igual a 28 mg/l y un valor promedio de 20 mg/l en el mes de agosto. Asimismo, estas concentraciones disminuyeron a lo largo del estero, llegando a la desembocadura con niveles bajos que varían de 4,01 mg/ a 11,35 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.

- La determinación de la constante de remoción de la DBO (k_r) presentó valores altos, principalmente en los tramos 2 y 3, con un máximo valor de $23,95 \text{ d}^{-1}$, cuya explicación es que, a partir de del inicio del segundo tramo, existe un proceso de sedimentación importante de la materia orgánica presente en el cauce. Sin embargo, existen excepciones, como en el mes de agosto, cuyo máximo valor es $3,085 \text{ d}^{-1}$, atribuyéndose a que en este mes se presentaron las mayores concentraciones de la DBO, debido al alto grado de contaminación producida por la descarga industrial del tramo 1.
- En el caso de la constante de reaeración, los valores más altos oscilaron en el rango de $6,571 \text{ d}^{-1}$ a $17,642$ en los tramos 2 y 3, respectivamente. Además, todos los valores de la constante de reaeración son mayores en comparación a los valores de la constante de desoxigenación, a excepción del tramo 3 en el mes de octubre con un valor de $11,628 \text{ d}^{-1}$; sin embargo, se deduce que la reaeración del estero es mayor principalmente en los tramos 2 y 3, debido a que, a partir de este punto, la turbulencia aumenta y disminuyen las profundidades, siendo estos factores contribuyentes al aumento del fenómeno de reaeración en la corriente.
- En el proceso de calibración del modelo de Streeter-Phelps hubo errores relativos menores al 10 % entre los valores observados y los valores predichos, obteniéndose, en consecuencia, un buen ajuste del modelo, determinándose el error más alto de 5,62 % para la DBO, en el mes de octubre.
- El análisis de rendimiento del modelo matemático de Streeter-Phelps presentó un ajuste óptimo, evidenciado por el índice de Nash-Sutcliffe, con valores de 0,999 a 1,0 para el OD; y de 0,974 a 0,999 para la DBO. De igual forma, el coeficiente de determinación mostró valores iguales a 1,0 para el OD y valores de 0,996 a 1,0 para la DBO.

- 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 0,995 para el OD, y el coeficiente de determinación con valores hasta 0,994; 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.

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 El Pital, 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.
- Asimismo, se recomienda que se implementen planes de remediación, monitoreo de calidad y de educación ambiental que beneficien a la protección del estero El Pital, generando estrategias o alternativas que aporten a cumplir lo antes indicado, debido a que en ciertas zonas del Estero existen actividades agroindustriales que, de una u otra manera, afectan la calidad del agua.
- Los programas de simulación como QUAL2K merecen una mayor consideración en los estudios de calidad del agua, debido a que puede llegar a ser una herramienta eficaz para las estrategias de gestión de saneamiento de ríos, siendo útil en determinar las concentraciones de OD requeridas para sustentar la vida acuática, o también para buscar estrategias que permitan mantener las concentraciones de oxígeno disuelto en los niveles permitidos por la normativa vigente.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1. Referencias Bibliográficas

- 1 Fernández A. El Agua: Un recurso esencial. Química Viva. 2012;11(3):136.
- 2 Marín G. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. [Internet]. [cited 2018 junio 18]. Available from: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48101/componente48099.pdf.
- 3 Chán M, Peña W. Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala. Cuadernos de Investigación UNED. 2015;7(1):19.
- 4 Torres F, Ramírez H, Rodríguez C, Tejera M, Vásquez M. Validación de un modelo hidrodinámico y calidad del agua para el Río Magdalena, en el tramo adyacente a Barranquilla, Colombia. Hidrobiológica. 2015;25(1):8.
- 5 Grijalbo L. Elaboración de inventarios de focos contaminantes. San Millán: Tutor Formación; 2016.
- 6 Mihelcic J, Zimmerman J. INGENIERIA AMBIENTAL: Fundamentos, sustentabilidad, diseño. Primera edición ed. Ciudad de México: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR S.A. de C.V., México; 2011.
- 7 Flores C. Contaminación del agua. [Internet]. 2016 [cited 2018 junio 20]. Available from: [http://www.ugr.es/~fgarciac/pdf_color/tema4%20\[Modo%20de%20compatibilidad\].pdf](http://www.ugr.es/~fgarciac/pdf_color/tema4%20[Modo%20de%20compatibilidad].pdf).
- 8 Korbut S. Contaminación del agua. [Internet]. 2015 [cited 2018 junio 20]. Available from: <http://www.ingenieroambiental.com/agua2.pdf>.
- 9 UNESCO. Aguas residuales: el recurso desaprovechable. Informe mundial de las naciones sobre el desarrollo de los recursos hídricos. París: ONU; 2017 UNESCO.
- 10 Labrada J. CultivarSalud.com. [Internet]. 2016 [cited 2018 junio 20]. Available from: http://www.cultivarsalud.com/medio-ambiente/causas-efectos-la-contaminacion-del-agua/#Efectos_de_la_contaminacion_del_agua.
- 11 Lopez C, Buitrón G, Cervantes F, Hernández H. Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño. Monterrey: IWA Publising; 2017.
- 12 González M, Orozco C, Pérez A, Alfayate M, Rodríguez F. Contaminación ambiental: una visión desde la química. Tercera ed. Editorial Paraninfo; 2005.

- 13 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 Jimenez M, Cova R, Trías L, Vega C, Manganiello L. Parámetros relativos a propiedades químicas y calidad organoléptica de aguas que confluyen a embalses destinados al consumo humano. *Revista INGENIERÍA UC*. 2017;24(1).
- 15 Espinosa T, Rodriguez C. Nota tecnica: Determinación del índice de calidad del agua (ICA), de los ríos Moron y Patanemo del Estado Carabobo, en Venezuela. *Revista INGENIERÍA UC*. 2016;23(2).
- 16 Rivera NR, Encina F, A. M, Mejias P. La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile. *Información tecnológica*. 2004;15(5).
- 17 Menéndez A. TRANSPORTE DE CONTAMINANTES DEL MEDIO ACUÁTICO. Buenos Aires: UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL: MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL; 2010.
- 18 Villalobos H. Calibración del modelo matemático QUAL2K para el análisis de calidad del agua para el caso de un río específico en Costa Rica. Informe de Trabajo de Graduación para Obtener el Grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. San José, Costa Rica. : UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ; 2008.
- 19 Cárdenas J. Propuesta y análisis de un modelo matemático para la determinación de la calidad del agua de aguas superficiales. Santa Clara: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas; 2016.
- 20 Sanint E. Métodos cuantitativos para la toma de decisiones ambientales. 2nd ed. Medellín: Universidad Nacional de Colombia; 2004.
- 21 Espinoza C. Programa de Diplomado en Contaminación Ambiental. [Internet]. 2007 [cited 2018 junio 20]. Available from: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Apunte_Analisis_de_Sistemas_Ambientales.pdf.
- 22 Sierra C. Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico. 1st ed. Medellín: Ediciones de la U; 2011.
- 23 Pazmiño J, Zambrano G, Coello A. Modelización de la calidad del agua del estero Aguas Claras, del cantón Quevedo, Ecuador. *DYNA*. 2017 10-12.
- 24 Hahn Schlam F, Miranda Salgado G, Pérez López F, Mayo Díaz O, Rojas Serrano F, Coras Merino P. Monitoreo de la calidad del agua en el río texcoco mediante sensores selectivos

- de iones. *Agrociencia*. 2006;40(3).
- 25 Hadgu L, Nyadawa M, Mwangi J, Kibetu P, Mehari B. Application of Water Quality Model QUAL2K to Model the Dispersion of Pollutants in River Ndarugu, Kenya. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*. 2014 162-169.
 - 26 Arroyave Gómez D, Toro Botero F, Moreno Tovar A, Gallego Suárez D, Carvajal Serna L. Estudio del modelamiento de la calidad del agua del río Sinú. *Ingenierías Universidad de Medellín*. 2013.
 - 27 Cunha de Menezes J, Parreira R, De Sá Farias M, Pinheiro I, Coutinho de Oliveira L, Fia R. Deoxygenation rate, reaeration and potential for self-purification of a small tropical urban stream. *Ambiente & Água*. 2015;10(4).
 - 28 Urrego E. Determinación del comportamiento del oxígeno disuelto en la cuenca alta del río Tunjuelo mediante la utilización de las ecuaciones de Streeter y Phelps. *Universidad Católica de Colombia*. 2017.
 - 29 Quevedo GM. GAD Municipal Quevedo. [Internet]. [cited 2018 noviembre 29]. Available from: <http://www.quevedo.gob.ec/quevedo-en-la-historia/>.
 - 30 SENPLADES. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Quevedo. [Internet]. 2014 [cited 2018 julio 29]. 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.
 - 31 [Anonymous]. INEN, NTE INEN 2176: Agua. Calidad de agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. Quito 1998.
 - 32 [Anonymous]. INEN, NTE INEN 2226: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo. Quito 2000.
 - 33 Chapra SC. *Surface water-quality modeling*. Segunda ed. Long Grove: Waveland PRESS, INC; 2008.
 - 34 Chin DA. *Water-Quality Engineering in Natural Systems: Fate and Transport Processes in the Water Environment*. Segunda ed. Jhon Wiley & Son, Inc., Publication; 2013.
 - 35 Vargas A. Estudio del comportamiento de modelos hidrológicos bajo un análisis de sensibilidad e incertidumbre. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*. 2011.

- 36 Ambiente Md. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Quito 2015.
- 37 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.
- 38 USEPA. QUAL2K. [Internet]. 2015 [cited 2018 noviembre 28]. Available from: <http://www.qual2k.com/home/default.html>.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1.Tablas de datos generales sobre las características hidromorfológicas del estero El Pital

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 34, 35, 36, 37, 38 y 39.

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

Punto	Caudal (l/s)							
	7-Jul-18	21-Jul-18	4-Ago-18	18-Ago-18	8-Sept-18	22-Sept-18	11-Oct-18	20-Oct-18
Aguas arriba	93	74	72	58	25	45	39	12
Descarga 1	34	54	32	38	15	16	15	12
Tramo 1	127	128	104	97	40	61	54	24
Descarga 2	21	45	42	21	23	16	31	25
Tramo 2	256	187	207	171	129	222	80	79
Descarga 3	54	48	22	32	32	36	51	18
Tramo 3	310	234	229	203	161	258	130	97

Tabla 35. Promedio de los caudales en m/s

PROMEDIO CAUDAL m3/s				
Promedio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Aguas arriba	0,084	0,065	0,035	0,026
Descarga 1	0,044	0,035	0,015	0,013
Tramo 1	0,128	0,100	0,050	0,039
Descarga 2	0,033	0,031	0,020	0,028
Tramo 2	0,221	0,189	0,176	0,079
Descarga 3	0,051	0,054	0,034	0,034
Tramo 3	0,272	0,216	0,210	0,114

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

Punto	Velocidad cm/s							
	7-Jul-18	21-Jul-18	4-Ago-18	18-Ago-18	8-Sept-18	22-Sept-18	11-Oct-18	20-Oct-18
Aguas arriba	5,26	5,43	2,51	2,58	1,67	1,10	0,87	0,71
Tramo 1	5,68	4,96	4,35	2,82	2,10	1,88	1,94	3,55
Tramo 2	20,00	9,86	10,77	10,29	9,72	8,64	8,43	9,46
Tramo 3	35,29	38,89	38,10	25,00	30,43	24,14	23,33	25,93

Tabla 37. Promedio de la velocidad en m/s

PROMEDIO VELOCIDAD m/s				
Promedio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Aguas arriba	0,05	0,03	0,01	0,01
Tramo 1	0,05	0,04	0,02	0,03
Tramo 2	0,15	0,11	0,09	0,09
Tramo 3	0,37	0,32	0,27	0,25

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

Punto	Profundidad cm							
	7-Jul-18	21-Jul-18	4-Ago-18	18-Ago-18	8-Sept-18	22-Sept-18	11-Oct-18	20-Oct-18
Aguas arriba	34	34	38	38	36	34	33	26
Tramo 1	24	24	22	23	24	24	23	23
Tramo 2	20	22	18	19	16	16	15	17
Tramo 3	17	15	16	17	19	18	18	14

Tabla 39. Promedio de la profundidad en m

Promedio profundidad m				
Promedio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Aguas arriba	0,34	0,38	0,35	0,29
Tramo 1	0,24	0,22	0,24	0,23
Tramo 2	0,21	0,18	0,16	0,16
Tramo 3	0,16	0,17	0,19	0,16

Figura 5. Hojas de cálculo de caudales Aguas Arriba

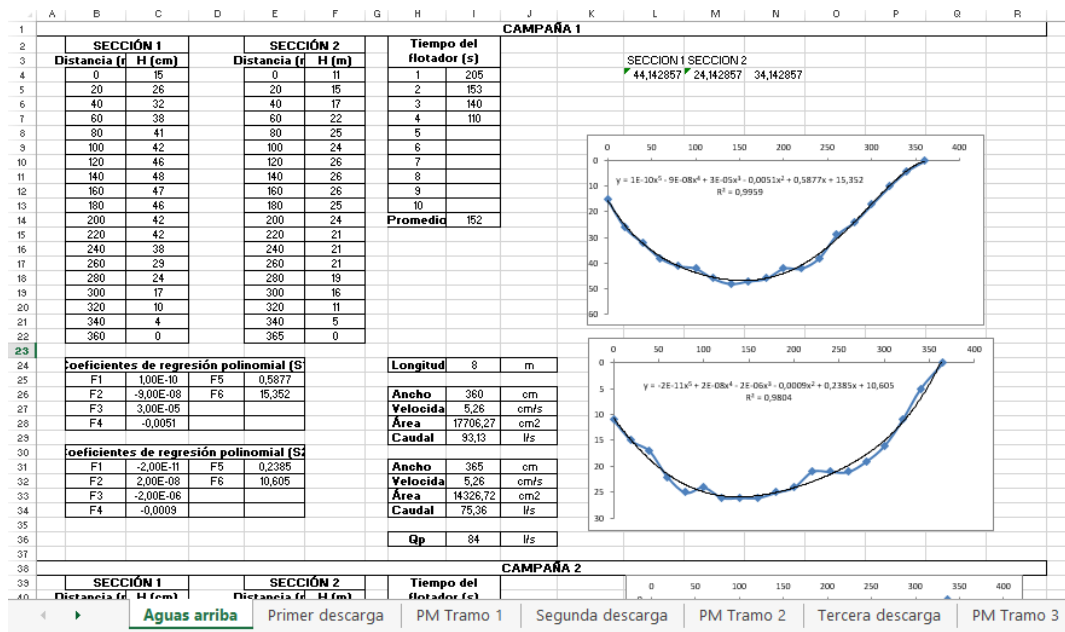


Figura 6. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 1

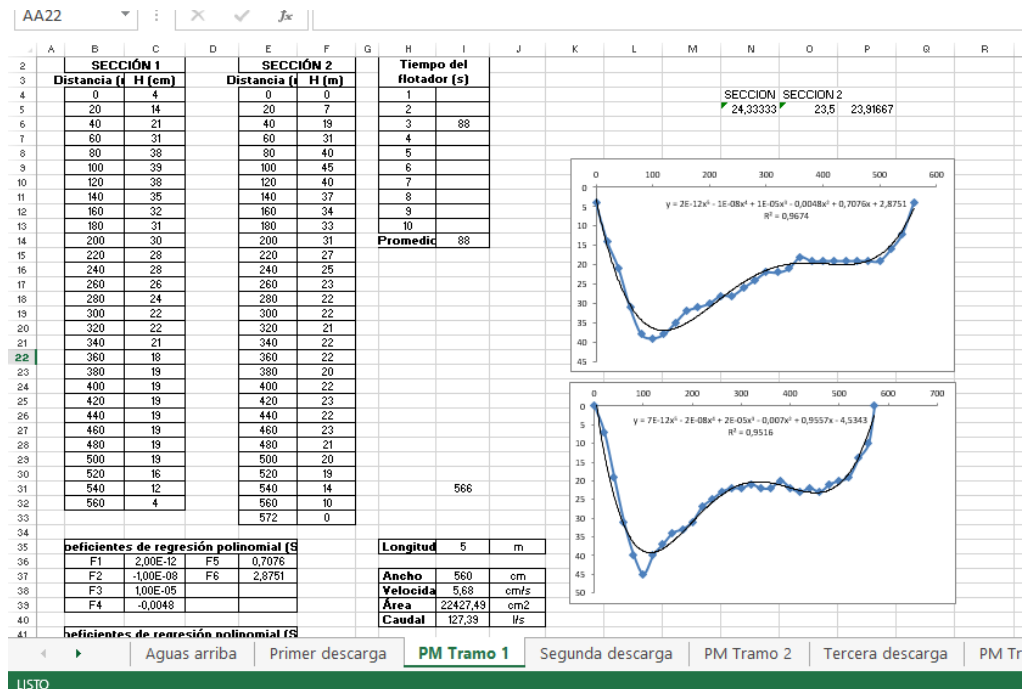


Figura 7. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 2

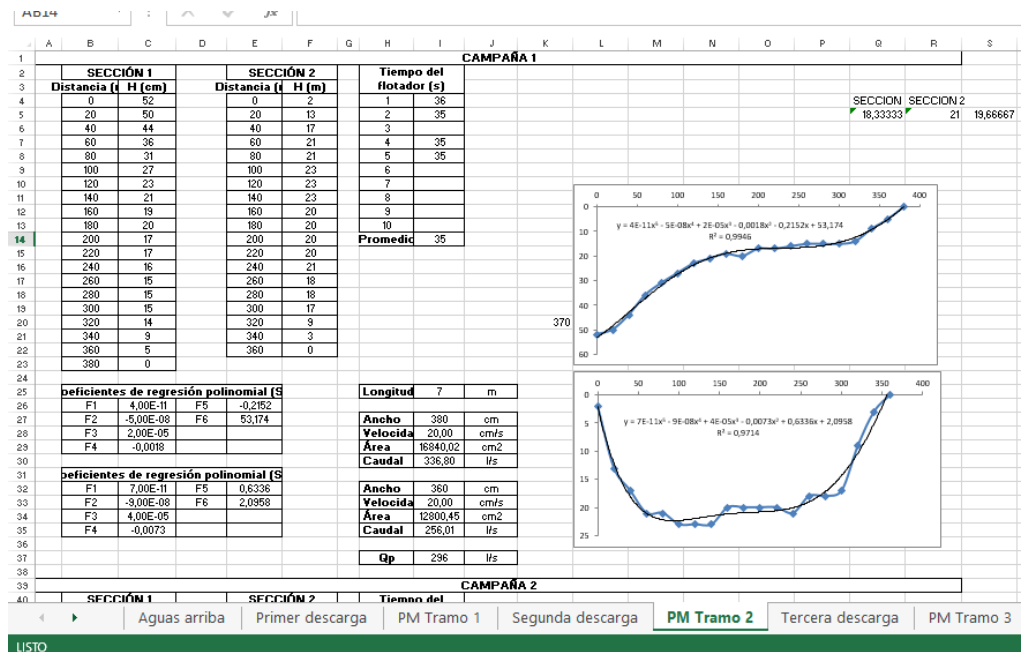
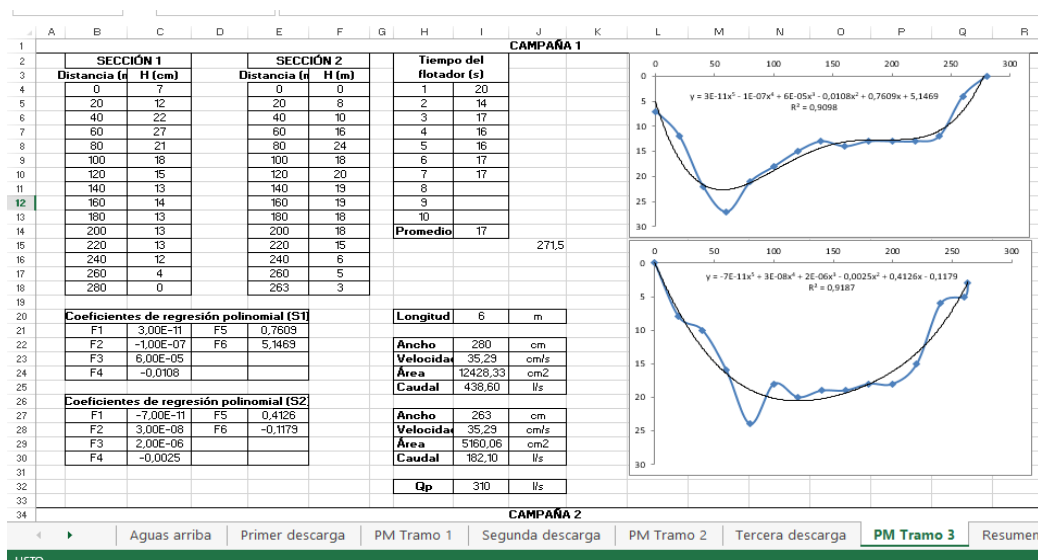


Figura 8. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 3



7.2.Tablas de datos generales sobre las características físicoquímicas del estero El Pital

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							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Aguas arriba	6,2	9,06	8,49	9,57	10,68	5,79	11,28	14,10
Descarga 1	6,0	48,00	24,06	9,21	3,48	14,88	20,28	14,19
Tramo 1	11,2	17,07	12,48	27,96	11,58	9,36	9,09	22,32
Tributario 1	6,4	12,42	12,72	12,24	12,46	12,46	12,46	12,46
Tramo 2	7,6	7,56	10,11	17,64	9,24	6,57	6,99	9,81
Tributario 2	6,0	16,20	9,72	6,24	8,16	4,56	5,61	9,57
Tramo 3	6,4	16,29	10,08	9,60	3,60	4,41	3,84	7,20

Tabla 41. Promedio de DBO mg/l

	PROMEDIO DBO mg/l			
	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
AA	7,63	9,03	8,24	12,69
D1	27,00	16,64	9,18	17,24
T1	14,14	20,22	10,47	15,71
D2	9,41	12,48	12,46	12,46
T2	7,58	13,88	7,91	8,40
D3	11,10	7,98	6,36	7,59
T3	11,35	9,84	4,01	5,52

Tabla 42. Valores de oxígeno disuelto mg/l

	OD							
	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4	Campaña 5	Campaña 6	Campaña 7	Campaña 8
AA	1,9	2,0	1,8	1,2	1,4	1,6	0,8	0,6
D1	4,7	3,0	4,7	5,2	7,6	4,0	5,7	6,1
T1	1,9	2,4	1,5	0,4	1,2	0,5	0,4	0,5
D2	3,1	2,2	2,8	2,8	2,6	2,1	2,3	2,1
T2	3,4	2,6	2,8	0,3	3,2	1,1	4,8	3,6
D3	2,2	1,7	0,9	0,5	1,0	0,8	2,9	2,9
T3	3,5	2,2	2,5	1,0	3,3	2,6	2,0	2,0

Tabla 43. Valores promedio de oxígeno disuelto mg/l

PROMEDIO OD mg/l				
	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
AA	2,0	1,5	1,5	0,7
D1	3,9	5,0	5,8	5,9
T1	2,2	1,0	0,9	0,5
D2	2,7	2,8	2,4	2,2
T2	3,0	1,6	2,2	4,2
D3	2,0	0,7	0,9	2,9
T3	2,9	1,8	3,0	2,0

Tabla 44. Mediciones de pH

	pH							
	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4	Campaña 5	Campaña 6 *	Campaña 7	Campaña 8
AA	7,0	7,2	6,9	7,0	7,7	7,6	7,6	8,2
D1	7,5	7,7	7,2	7,2	8,6	7,7	7,9	8,1
T1	7,3	7,4	6,8	6,9	7,6	7,7	7,8	7,9
D2	7,5	7,5	6,9	7,3	7,8	7,9	8,0	8,1
T2	7,3	7,2	6,7	7,0	7,4	7,5	7,7	7,7
D3	7,0	6,8	6,6	6,7	7,2	7,2	7,4	7,6
T3	7,3	6,5	6,8	7,0	7,5	7,6	7,7	7,8

Tabla 45. Promedio pH

PROMEDIO pH				
	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Septiembre</i>	<i>Octubre</i>
Aguas arriba	7,1	7,0	7,7	7,9
Descarga 1	7,6	7,2	8,2	8,0
Tramo 1	7,4	6,9	7,7	7,9
Descarga 2	7,5	7,1	7,9	8,1
Tramo 2	7,3	6,9	7,5	7,7
Descarga 3	6,9	6,7	7,2	7,5
Tramo 3	6,9	6,9	7,6	7,8

Tabla 46. Mediciones de temperatura, °C

T °C								
	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4	Campaña 5	Campaña 6	Campaña 7	Campaña 8
AA	24,20	23,90	24,50	22,90	24,20	22,00	22,50	23,00
D1	24,60	25,50	24,50	23,60	24,40	23,10	22,90	23,40
T1	24,40	23,00	24,30	23,50	23,80	23,30	24,00	23,60
D2	27,10	25,60	25,30	24,40	24,00	25,00	26,00	25,00
T2	24,80	25,30	24,80	22,70	25,60	24,90	25,10	24,30
D3	25,20	25,20	26,40	23,10	25,50	26,30	24,00	27,00
T3	24,70	25,60	24,80	22,70	25,50	27,30	25,00	28,00

Tabla 47. Promedio de temperatura °C

PROMEDIO T °C				
	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Septiembre</i>	<i>Octubre</i>
Aguas arriba	24,05	23,70	23,10	22,75
Descarga 1	25,05	24,05	23,75	23,15
Tramo 1	23,70	23,90	23,55	23,80
Descarga 2	26,35	24,85	24,50	25,50
Tramo 2	25,05	23,75	25,25	24,70
Descarga 3	25,20	24,75	25,90	25,50
Tramo 3	25,15	23,75	26,40	26,50

Tabla 48. Mediciones de conductividad eléctrica

	CE							
	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4	Campaña 5	Campaña 6	Campaña 7	Campaña 8
AA	202	156	172	187	211	198	215	265
D1	233	268	353	317	275	473	518	501
T1	278	193	203	175	218	251	276	279
D2	329	237	232	211	218	211	204	218
T2	301	204	220	215	239	248	251	250
D3	379	265	262	248	276	289	289	289
T3	300	204	215	215	218	223	234	228

Tabla 49. Promedio de conductividad eléctrica

PROMEDIO CE				
	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Septiembre</i>	<i>Octubre</i>
Aguas arriba	179	179	204	240
Descarga 1	251	335	374	509
Tramo 1	236	189	235	278
Descarga 2	283	222	215	211
Tramo 2	253	218	243	250
Descarga 3	322	255	282	289
Tramo 3	252	215	221	231

7.3. Hojas de cálculo del modelo de Streeter-Phelps

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

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	DATOS														
2															
3	corriente aguas arrib			Entrada 1			Entrada 2			Entrada 3					
4	Qr (m3/s)	0,084		Q (m3/s)	0,044		Q (m3/s)	0,033		Qr (m3/s)	0,051				
5	DBO5r	9,06		DBO5	70,08		DBO5	12,42		DBO5	16,20				
6	Odr (mg/l)	2,0		Od (mg/l)	3,0		Od (mg/l)	2,7		Odr (mg/l)	2,0				
7	T (°C)	24,05		T (°C)	25,05		T (°C)	26,35		T (°C)	25,20				
8															
9	Hidrodinámica de la corriente						Valores observados en campo								
10		V (m/s)	H (m)	S (m/m)	Q (m3/s)		P. Muestra	x (m)	z (m)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)				
11	Tramo 1	0,05	0,24	0,002	0,128		PM-T1	1600	53	2,2	17,07				
12	Tramo 2	0,15	0,21	-0,009	0,221		PM-T2	2590	44	3,0	7,58				
13	Tramo 3	0,37	0,16	0,001	0,272		PM-T3	3420	45	2,9	6,4				
14															
15	Constantes cinéticas de reacción														
16	Tramo	Constante de reaeración				Constante de desoxygenación				Constante					
17		ka 20 °C	ka (T)	ka 20 °C	ka (T)	Ka calibrada	kd a 20	kd (T)	kd calibrada	kr (T)	kr calibrad				
18		Owens y Gibbs		Langbein-Durum			Hydroscience			Carga					
19	1	10,019	11,119	1,712	1,899	3,341	0,815	0,997	0,953	2,319	1,516				
20	2	26,779	30,000	6,133	4,653	2,575	0,864	1,076	1,117	-1,040	23,950				
21	3	81,093	91,065	21,719	15,589	2,208	0,972	1,216	1,033	2,266	13,535				
22															
23	Condiciones iniciales														
24	Tramo 1			Tramo 2						Tramo 3					
25							Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado				Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado
26	Lo (mg/l)			Lo (mg/l)			9,50	9,50	13,20	Lo (mg/l)			11,35	11,35	8,68
27	Odo (mg/l)			Odo (mg/l)			6,40	1,32	2,93	Odo (mg/l)			6,10	2,01	2,79
28	To (°C)			To (°C)			24,79			To (°C)			24,89		
29	OD sat (mg/l)			OD sat (mg/l)			8,30			OD sat (mg/l)			8,28		
30	Do (mg/l)			Do (mg/l)			1,90	6,98	5,37	Do (mg/l)			2,18	6,27	5,49
31															
32	Ajuste inicial del modelo						Modelo calibrado								
33	Primer ajuste						Segundo ajuste								
	INTRODUCIR														

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

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	DATOS														
2															
3	corriente aguas arrib			Entrada 1			Entrada 2			Entrada 3					
4	Qr (m3/s)	0,065		Q (m3/s)	0,035		Q (m3/s)	0,031		Qr (m3/s)	0,054				
5	DBO5r	9,03		DBO5	35,13		DBO5	12,48		DBO5	9,72				
6	Odr (mg/l)	1,5		Od (mg/l)	5,0		Od (mg/l)	2,8		Odr (mg/l)	0,7				
7	T (°C)	23,70		T (°C)	24,05		T (°C)	24,85		T (°C)	24,75				
8															
9	Hidrodinámica de la corriente						Valores observados en campo								
10		V (m/s)	H (m)	S (m/m)	Q (m3/s)		P. Muestra	x (m)	z (m)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)				
11	Tramo 1	0,04	0,22	0,002	0,100		PM-T1	1600	53	1,0	12,48				
12	Tramo 2	0,11	0,18	-0,009	0,189		PM-T2	2590	44	1,6	10,11				
13	Tramo 3	0,32	0,17	0,001	0,216		PM-T3	3420	45	1,8	9,84				
14															
15	Constantes cinéticas de reacción														
16	Tramo	Constante de reaeración				Constante de desoxygenación				Constante					
17		ka 20 °C	ka (T)	ka 20 °C	ka (T)	Ka calibrada	kd a 20 °C	kd (T)	kd calibrada	kr (T)	kr calibrad				
18		Owens y Gibbs		Langbein-Durum			Hydroscience			Carga					
19	1	10,135	11,096	1,537	1,683	0,479	0,846	1,009	0,459	-2,788	0,799				
20	2	28,933	31,857	5,521	4,198	2,403	0,923	1,113	0,232	-2,383	3,085				
21	3	65,771	72,763	17,329	12,350	2,292	0,946	1,151	0,228	-3,960	0,542				
22															
23	Condiciones iniciales														
24	Tramo 1			Tramo 2						Tramo 3					
25							Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado				Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado
26	Lo (mg/l)			Lo (mg/l)			10,04	10,04	11,10	Lo (mg/l)			9,62	9,62	9,74
27	Odo (mg/l)			Odo (mg/l)			6,40	1,85	1,16	Odo (mg/l)			5,63	1,99	1,45
28	To (°C)			To (°C)			24,06			To (°C)			24,26		
29	OD sat (mg/l)			OD sat (mg/l)			8,41			OD sat (mg/l)			8,38		
30	Do (mg/l)			Do (mg/l)			2,01	6,56	7,25	Do (mg/l)			2,75	6,39	6,93
31															
32	Ajuste inicial del modelo														
33	Primer ajuste Segundo ajuste														
	Modelo calibrado														
	LISTO														
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Hoja2	Hoja1	+								

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

1	DATOS											
2												
3	corriente aguas arriba		Entrada 1			Entrada 2			Entrada 3			
4	Qr (m3/s)	0,035	Q (m3/s) 0,015			Q (m3/s) 0,020			Qr (m3/s) 0,034			
5	DBO5r	10,68	DBO5 21,72			DBO5 12,46			DBO5 8,16			
6	Qdr (mg/l)	1,5	Qd (mg/l) 4,0			Qd (mg/l) 2,4			Qdr (mg/l) 0,9			
7	T (°C)	23,10	T (°C) 23,75			T (°C) 24,50			T (°C) 25,90			
8												
9	Hidrodinámica de la corriente				Valores observados en campo							
10		V (m/s)	H (m)	S (m/m)	Q (m3/s)	P. Muestra	x (m)	z (m)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)		
11	Tramo 1	0,02	0,24	0,002	0,050	PM-T1	1600	53	0,9	10,47		
12	Tramo 2	0,09	0,16	-0,009	0,176	PM-T2	2590	44	2,2	7,91		
13	Tramo 3	0,27	0,19	0,001	0,210	PM-T3	3420	45	3,0	4,01		
14												
15	Constantes cinéticas de reacción											
16	Tramo	Constante de reaeración				Constante de desoxygenación			Constante			
17		ka 20 °C	ka (T)	ka 20 °C	ka (T)	Ka calibrada	kd a 20	kd (T)	kd calibrada	kr (T)	kr calibrad	
18		Owens y Gibbs		Langbein&Dun			Hydroscience			Carga		
19	1	5,423	5,864	0,685	0,740	0,281	0,815	0,948	0,280	-4,695	0,305	
20	2	31,451	34,287	5,283	4,025	4,972	0,972	1,149	0,674	9,420	6,905	
21	3	47,778	53,008	12,611	9,108	6,571	0,902	1,103	1,058	-3,272	13,389	
22												
23	Condiciones iniciales											
24	Tramo 1		Tramo 2				Tramo 3					
25				Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado			Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	
26	Lo (mg/l)	13,99		Lo (mg/l)	6,39	6,39	10,22		Lo (mg/l)	6,72	6,72	7,49
27	Odo (mg/l)	2,25		Odo (mg/l)	6,23	0,99	1,17		Odo (mg/l)	5,66	1,71	2,01
28	To (°C)	23,30		To (°C)	23,64				To (°C)	24,38		
29	OD sat (mg/l)	8,53		OD sat (mg/l)	8,48				OD sat (mg/l)	8,36		
30	Do (mg/l)	6,28		Do (mg/l)	2,25	7,49	7,31		Do (mg/l)	2,70	6,65	6,35
31												
32	Ajuste inicial del modelo											
33		Primer ajuste	Segundo ajuste		Modelo calibrado							
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Hoja2	Hoja1						

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

V18

</

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

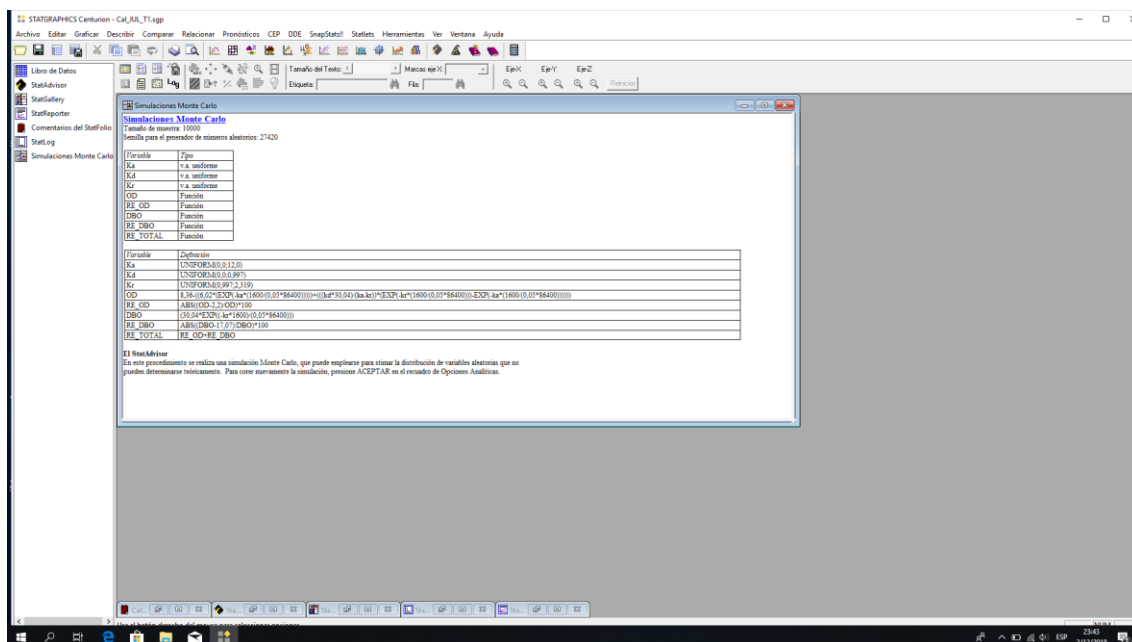


Figura 14. Hojas de Statgraphics para el cálculo de las constantes cinéticas

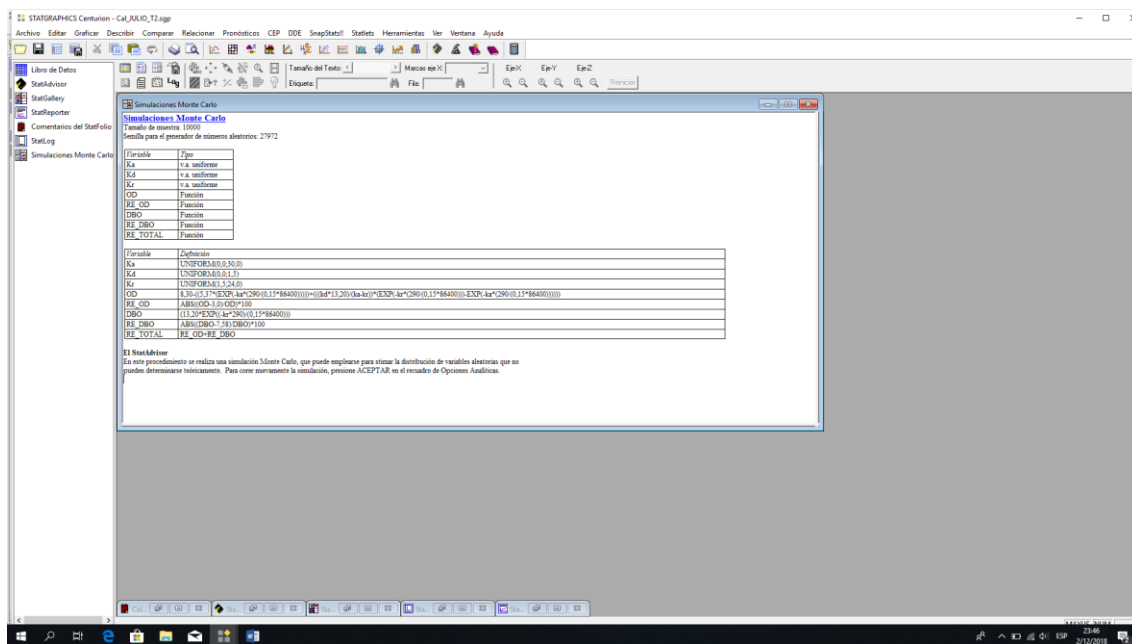
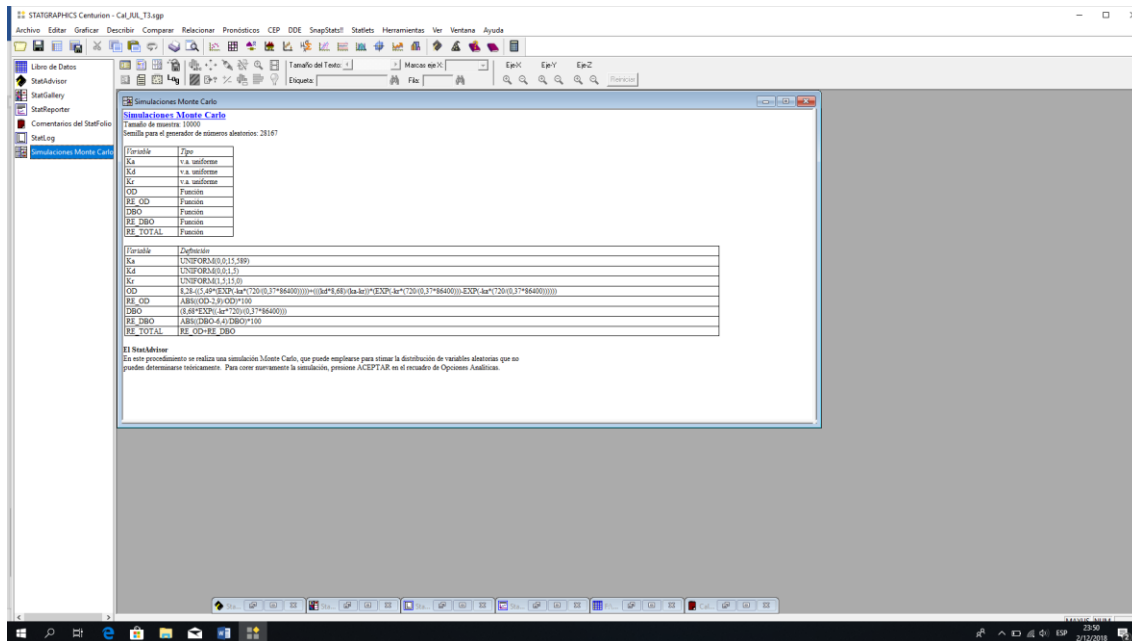


Figura 15. Hojas de Statgraphics para el cálculo de las constantes cinéticas



7.4. Hojas de datos de simulación con QUAL2K

Figura 16. Hoja de datos iniciales de QUAL2K

QUAL2K FORTRAN
Stream Water Quality Model
Steve Chapra, Hua Tao and Greg Pelletier
Version 2.12b1

System ID:
River name: Estero El Pital
Saved file name: JULIO CALI
Directory where file saved: ESIS EL PITAL 2018-CAMPANA MUESTREO
Month: 7
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: 0.15 minutes
Time of sunrise: 12:01 AM
Time of solar noon: 6:04 AM
Time of sunset: 12:08 PM

Open Old File
Run Fortran

Figura 17. Hoja de datos de cabecera de QUAL2K

Estero El Pital (7/7/2018)
Headwater Data:
Number of Headwaters: 1
Headwater 0 (Mainstem)
Headwater 1 (Tributary 1)

Reach No.	Flow Rate	Elevation	Weir	Height	Width	adam	bdam	Rating Curves	Manning Formula	Side	Side	Dispersion
	(m³/s)	(m)	Type	(m)	(m)			Coefficient Exponent	Coefficient Exponent	Slope	n	m
1	0.084	55.000	Sharp	0.0000	0.0000	1.2500	0.9000	0.0000	0.0000	0.0000	0.001	0.0350
2	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
3	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
4	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
5	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
6	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
7	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
8	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
9	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
10	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
11	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
12	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
13	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
14	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
15	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
16	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
17	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
18	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
19	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
20	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
21	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
22	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
23	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
24	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
25	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
26	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
27	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
28	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
29	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
30	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
31	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
32	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
33	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05
34	24.05	24.05		24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05	24.05

Figura 18. Hoja de Reach (tramos) de ingreso de datos para los tramos

QUAL2K
Stream Water Quality Model
Estero_EL_Pital (7/7/2018)
Reach Data:

Open Old File Run Fortran

Reach for diel plot	Element for diel plot	Reach Number	Headwater Reach	Reach length (km)	Downstream Latitude	Downstream Longitude	Location Upstream (km)	Location Downstream (km)	Element Number	Elevation Upstream (m)	Elevation Downstream (m)	Latitud	Longitud
Mainstem headwater	Mainstem headwater	1	Yes	0,59	0,00	0,00	4,040	3,450	2	55,000	53,000		
Tramo 1	Tramo 1	2		2,30	0,00	0,00	3,450	1,150	8	53,000	44,000		
Tramo 2	Tramo 2	3		0,40	0,00	0,00	1,150	0,750	8	44,000	43,000		
Tramo 3	Tramo 3	4		0,75	0,00	0,00	0,750	0,000	8	43,000	43,000		

Figura 19. Hoja donde se ingresan las tasas o constantes cinéticas (Reach rates)

QUAL2K
Stream Water Quality Model
Estero_EL_Pital (7/7/2018)
Reach Rates and Velocities:

Open Old File Run Fortran

Reach Number	Reach Label	Prescribed Reaeration /d	ISS Settling Velocity m/d	Slow CBOD Hydrolysis Rate /d	Slow CBOD Oxidation Rate /d	Fast CBOD Oxidation Rate /d	Organic N Hydrolysis Rate /d	Organic N Settling Velocity m/d	Ammonium Nitrification Rate /d	Nitrate Denitri Rate m/d	Sed Denitri transfer coeff m/d	Hydrolysis Rate /d	Settling Velocity m/d	Inorga Sett Velc m
1	Mainstem headwater	3,341	0,1056			1,076								
2	Tramo 1	3,341	0,1056			1,076								
3	Tramo 2	10,121	4,829			0,953								
4	Tramo 3	4,653	2,013			0,953								

Figura 20. Hoja donde se ingresan los datos de las descargas puntuales

QUAL2K
Stream Water Quality Model
Estero_EL_Pital (7/7/2018)
Point Source Data:

Name	Tributary No.	Headwater Label	Location km	Abstraction m3/s	Inflow m3/s	mean °C	range/2 °C	time of max	mean umhos	range/2 umhos	time of max
Descarga	0	Mainstem headwater	3,45		0,044	25,05		12:00 AM			
Canal Promejoras	0	Mainstem headwater	1,15		0,033	26,35		12:00 AM			
Canal Gustavo Campi	0	Mainstem headwater	0,75		0,051	25,20		12:00 AM			

Figura 21. Hoja donde se ingresan los datos de los puntos de muestreo

QUAL2K
Stream Water Quality Model
Estero_EL_Pital (7/7/2018)
Water Quality Data:

Tributary No.	Distance km	Cond (umhos)	ISS (mg/D/L)	DO (mgO2/L)	CBODs (mgO2/L)	CBODf (mgO2/L)	Norg (ugN/L)	NH4 (ugN/L)	NO3 (ugN/L)	Porg (ugN/L)	Inorg P (ugP/L)	Phyto (ugA/L)	Detr (m)
1	1,85			2,20			17,07						
2	0,86			3,00			7,58						
3	0,03			2,90			6,40						

Figura 22. Visualización de gráficos de variación de parámetros

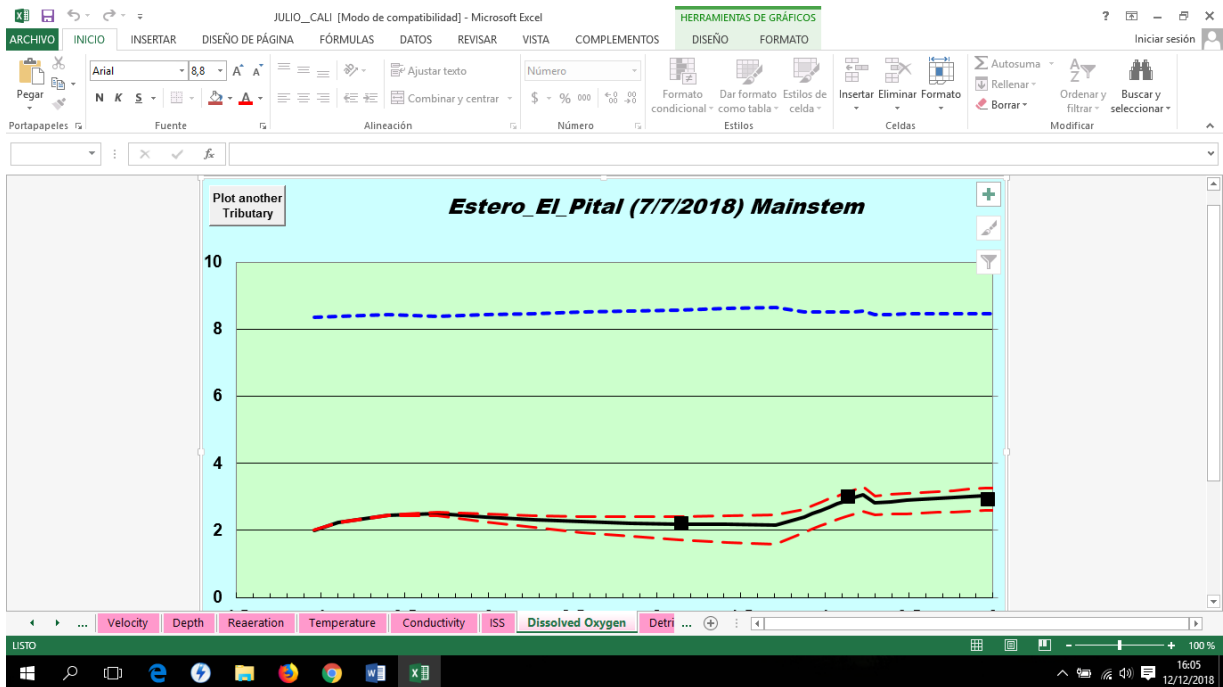


Figura 23. Hoja de resultados

The figure shows a data table with columns for Reach Label, x(km), cond (umhos), ISS (mgD/L), DO(mgO2/L), CBODs (mgO2/L), CBODf (mgO2/L), No(uugN/L), NH4(uugN/L), NO3(uugN/L), Po (ugP/L), Inorg P (ugP/L), and Phyto (ugA/L). The table contains data for Mainstem headwa and Tramo 1, 2, and 3. The Excel interface shows the "FÓRMULAS" ribbon with the "COMPLEMENTOS" tab selected.

Reach Label	x(km)	cond (umhos)	ISS (mgD/L)	DO(mgO2/L)	CBODs (mgO2/L)	CBODf (mgO2/L)	No(uugN/L)	NH4(uugN/L)	NO3(uugN/L)	Po (ugP/L)	Inorg P (ugP/L)	Phyto (ugA/L)
Mainstem headwa	4.04	0.00	0.00	2.00	0.00	9.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mainstem headwa	3.89	0.00	0.00	2.23	0.00	8.92	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Mainstem headwa	3.60	0.00	0.00	2.45	0.00	8.78	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.31	0.00	0.00	2.51	0.00	29.37	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.02	0.00	0.00	2.41	0.00	28.91	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.73	0.00	0.00	2.32	0.00	28.46	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.44	0.00	0.00	2.26	0.00	28.03	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.16	0.00	0.00	2.22	0.00	27.62	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	1.87	0.00	0.00	2.19	0.00	27.21	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	1.58	0.00	0.00	2.17	0.00	26.82	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	1.29	0.00	0.00	2.17	0.00	26.44	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.13	0.00	0.00	2.38	0.00	23.52	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.08	0.00	0.00	2.49	0.00	23.47	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.03	0.00	0.00	2.59	0.00	23.43	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	0.98	0.00	0.00	2.69	0.00	23.38	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	0.93	0.00	0.00	2.78	0.00	23.33	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	0.88	0.00	0.00	2.88	0.00	23.28	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	0.83	0.00	0.00	2.97	0.00	23.23	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	0.78	0.00	0.00	3.05	0.00	23.18	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.70	0.00	0.00	2.83	0.00	21.43	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.61	0.00	0.00	2.86	0.00	21.37	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.52	0.00	0.00	2.89	0.00	21.30	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.42	0.00	0.00	2.91	0.00	21.23	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.33	0.00	0.00	2.94	0.00	21.16	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.23	0.00	0.00	2.97	0.00	21.10	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.14	0.00	0.00	2.99	0.00	21.03	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00

7.5. Reportes del laboratorio



INFORME DE ENSAYOS 73137-1



73137-1 29/08/18 16:25:29 Luis

GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA

Representante Legal: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA

Cooperativa Los Chapulos, Quevedo Los Rios, Tel, 0982774996

Atención: Ing. Jazmin Garcia

Guayaquil, 29 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 19/08/18 11:00 Quevedo Estero "Pital"
 Fecha/Hora Recepción Muestras: 20/08/18 09:06
 Punto e Identificación de la Muestra: Aguas arriba tramo 1
 Matriz de la muestra: AGUA NATURAL ESTERO
 Muestreado por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA / Cliente / Simple
 Duración de Muestreo:
 Coordenadas Geográficas: X673523 - Y9887993---
 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)	9,57	mgO ₂ /l	0,46	PEE-GQM-FQ-05	20/08/18 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

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.

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

MC2201-13

Pág. 1 de 2



73137-7 29/08/18 16:29:12 Luis

GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA

Representante Legal: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA
Cooperativa Los Chapulos, Quevedo Los Rios, Tel. 0982774996
Atención: Ing. Jazmin García

Guayaquil, 29 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 19/08/18 11:30 Quevedo Estero "Pital"
Fecha/Hora Recepción Muestras: 20/08/18 09:06
Punto e Identificación de la Muestra: Punto de muestreo descarga industrial
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Muestreador por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: X673061 - Y9887724---
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)	9,21	mgO ₂ /l	0,44	PEE-GQM-FQ-05	20/08/18 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


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.



73137-2 29/08/18 16:25:44 Luis

GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA

Representante Legal: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA
Cooperativa Los Chapulos, Quevedo Los Rios, Tel. 0982774996
Atención: Ing. Jazmin Garcia

Guayaquil, 29 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 19/08/18 11:45 Quevedo Estero "Pital"
Fecha/Hora Recepción Muestras: 20/08/18 09:06
Punto e Identificación de la Muestra: Punto de muestreo del tramo 1
Matriz de la muestra: AGUA NATURAL ESTERO
Muestreado por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: X673007 - Y9886143--
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	27,96	mgO ₂ /l	1,34	PEE-GQM-FQ-05	20/08/18 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

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.



73137-3 29/08/18 16:26:35 Luis

GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA

Representante Legal: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA

Cooperativa Los Chapulos, Quevedo Los Rios, Tel. 0982774996

Atención: Ing. Jazmin Garcia

Guayaquil, 29 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 19/08/18 12:00 Quevedo Estero "Pital"
Fecha/Hora Recepción Muestras: 20/08/18 09:06
Punto e Identificación de la Muestra: Segunda descarga (Aguas servidas Promejoras)
Matriz de la muestra: AGUA NATURAL ESTERO
Muestreado por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: X672813 - Y9885747---
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	12,24	mgO2/l	0,59	PEE-GQM-FQ-05	20/08/18 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 Permissible

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

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.



73137-5 29/08/18 16:27:28 Luis

GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA

Representante Legal: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA

Cooperativa Los Chapulos, Quevedo Los Rios, Tel. 0982774996

Atención: Ing. Jazmin Garcia

Guayaquil, 29 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 19/08/18 12:40 Quevedo Estero "Pital"
Fecha/Hora Recepción Muestras: 20/08/18 09:06
Punto e Identificación de la Muestra: Punto de muestreo del tramo 2
Matriz de la muestra: AGUA NATURAL ESTERO
Muestreado por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: X672667 - Y9885467---
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	17,64	mgO2/l	0,85	PEE-GQM-FQ-05	20/08/18 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 Permissible

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

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.



73137-4 29/08/18 16:26:47 Luis

GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA

Representante Legal: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA

Cooperativa Los Chapulos, Quevedo Los Rios, Tel. 0982774996

Atención: Ing. Jazmin Garcia

Guayaquil, 29 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 19/08/18 12:20 Quevedo Estero "Pital"
Fecha/Hora Recepción Muestras: 20/08/18 09:06
Punto e Identificación de la Muestra: Tercera descarga canal Gustavo Campi
Matriz de la muestra: AGUA NATURAL ESTERO
Muestreado por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: XG72599 - Y9885356---
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)	6,24	mgO ₂ /l	0,30	PEE-GQM-FQ-05	20/08/18 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

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.



73137-6 29/08/18 16:28:28 Luis

GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA

Representante Legal: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA
Cooperativa Los Chapulos, Quevedo Los Rios, Tel. 0982774996
Atención: Ing. Jazmin Garcia

Guayaquil, 29 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 19/08/18 13:10 Quevedo Estero "Pital"
Fecha/Hora Recepción Muestras: 20/08/18 09:06
Punto e Identificación de la Muestra: Punto de muestreo del tramo 3
Matriz de la muestra: AGUA NATURAL ESTERO
Muestreado por/Muestreador/Tipo de Muestreo: GARCIA FIGUEROA JAZMIN MARGARITA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: X672931 - Y9884763---
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)	9,60	mgO ₂ /l	0,46	PEE-GQM-FQ-05	20/08/18 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

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 de la descarga principal del tramo 1



Fotografía 4. Mediciones del oxígeno disuelto en cada punto de muestreo



Fotografía 5. Toma de muestra de agua para el análisis de la DBO



Fotografía 6. Ejecución de las mediciones del cauce en el punto de muestreo tramo 2



Fotografía 7. Toma de muestra de agua para el análisis de la DBO en el estero realizado por los técnicos del laboratorio acreditado



Fotografía 8. Toma de muestra de agua por parte de los técnicos para el análisis de la DBO.

Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS ESTERO EL PITAL 2018.docx (D43520662)
Submitted: 11/5/2018 11:13:00 AM
Submitted By: jazmin.garcia2013@uteq.edu.ec
Significance: 10 %

Sources included in the report:

TESIS ESTERO EL GUAYABO-2018.docx (D43515636)
ZAMBRANO-Y-COELLO-21-03-17.docx (D26667868)

Instances where selected sources appear:

44

URKUND

Documento

Presentado

Presentado por

Recibido

Mensaje

TESIS ESTERO EL PITAL 2018.docx (D43520662)

2018-11-05 05:13 (-05:00)

jazmin.garcia2013@uteq.edu.ec

jpazmino.uteq@analysis.orkund.com

TESIS ESTERO EL PITAL [Mostrar el mensaje completo](#)

10%

de estas 62 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

Lista de fuentes

Bloques

+	Categoría	Enlace/nombre de archivo	-
+	>	TESIS ESTERO EL GUAYABO-2018.docx	-
+		ZAMBRANO-Y-COELLO-21-03-17.docx	-
+		UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO proyectop investigacion reina arana.docx	-
+		Tesis Maestría Julio.docx	-
+		P. Investigacion Modelizacion de la calidad de agua del estero Macache segmento norte V. 23,...	-
+		TESIS PARA PRESENTAR LUNEEEEES.docx	-
+		PROYECTO-sin anexos.docx	-

87%

1

Activo

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 Ingeniera en Gestión Ambiental

Perfil del Proyecto de Investigación: "Modelización de la calidad del agua del estero

El Pital, cantón Quevedo, estación seca, año 2018"

Autora: García Figueroa Jazmin Margarita

Docente Auspiciante:

Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez, MSc.

Quevedo-Los Ríos-Ecuador

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Jazmin Margarita García Figueroa, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha

Archivo de registro Urkund: UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO / TESIS ESTERO EL GUAYA...

87%

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

El Guayabo, cantón Quevedo, estación seca, año 2018"

Anny Stefania Valarezo Anchundia

Docente Auspiciante:

Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez, M. Sc.

Quevedo-Los Ríos- Ecuador

2018-2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DEDERECHOS

Yo, Anny Stefania Valarezo Anchundia, declaro que la investigación aquí descrita es de mi autoría; que no ha