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 Pital, cantón Quevedo, estación lluviosa, año 2019"

Autora:

Martínez Arboleda Gina Katherine

Docente Auspiciante:

Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez, M.Sc

Quevedo-Los Ríos-Ecuador

2018-2019

DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Gina Katherine Martínez Arboleda, 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.

Gina Katherine Martínez Arboleda

C.C. # 0504087370

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. Martínez Arboleda Gina Katherine, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado ***"Modelización de la calidad del agua del estero El Pital, cantón Quevedo, estación lluviosa, año 2019"***, previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

……..

Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez Msc.

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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 lluviosa, año 2019"

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 **MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS**

Ing. Carlos Nieto Cañarte Ing. Ángel Yépez Rosado

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR

2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de culminar una etapa más de vida con éxito, a mis padres Javier Martínez y Libia Arboleda por brindarme siempre su amor incondicional ante cualquier circunstancia y por ser mi fuente de inspiración, a mis hermanas por siempre estar dispuestas a ayudarme y brindarme su cariño desinteresado.

Además quiero agradecer a mi novio Miguel Aspiazu por ser una pieza fundamental dentro de mi vida universitaria y por siempre brindarme su amor de la manera más tierna y especial por ayudarme a solucionar cada de uno de los inconvenientes que se han presentado. A mis amigos Maybe Pérez, Acun Robles y Diego García por acompañarme a lo largo de esta etapa y por hacer que los días difíciles se conviertan en una aventura.

Así mismo quiero agradecer a mi tutor Ing. Julio Pazmiño por haberme brindado la ayuda necesaria para terminar de manera exitosa mi proyecto de investigación, de igual manera a los demás docentes de la Carrera de Ingeniería de Gestión Ambiental por haberme brindado todos los conocimientos necesarios para poder desarrollarme en mi vida profesional.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres por ser lo más importante que hay en mi vida y por haberme inculcado a ser una mujer perseverante, por siempre tener un gesto de cariño para mí y apoyarme siempre.

A mis hermanas y hermanos por enseñarme el valor de la hermandad, a mi sobrino Thiago por ser esa luz de amor y felicidad en mis días, a mi sobrina Kiara por ser mi cómplice de locuras y brindarme su ternura y cariño.

Por último y no menos importante a mi novio Miguel Aspiazu por ser mí apoyo en cada momento y siempre brindarme sus palabras de aliento en momentos difíciles y por ofrecerme ese amor puro y sincero.

Gina Katherine Martínez Arboleda

RESUMEN EJECUTIVO

La aplicación de modelos matemáticos en la calidad del agua sirve para poder determinar el comportamiento de los parámetros a lo largo de una corriente y establecer las características hidromorfológicas. Por ello, la presente investigación tiene como objetivo general modelizar la calidad del agua del estero El Pital en la estación lluviosa 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.

Para cumplir con estos objetivos se realizó un trabajo de campo que contó con 6 campañas de muestreo quincenales durante los meses de febrero, marzo y abril, en la época lluviosa. Se establecieron 7 puntos de muestreo: aguas arriba, tramo 1, tramo 2, tramo 3, 1 descarga principal proveniente de una industria procesadora de maracuyá (Troprifrutas) y los dos tributarios identificados, uno proveniente del Sector Promejoras y el otro siendo un ojo de agua que nace desde el sector Gustavo Campi. Durante esta fase 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).

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. En primera instancia, se obtuvieron los valores calibrados de las constantes cinéticas (reaireación, desoxigenación y de remoción total de la DBO), haciendo uso del software estadístico Statgraphics con 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 application of mathematical models in water quality serves to determine the behavior of the parameters throughout a stream and set the hydromorphological characteristics. Therefore, the present research aims to model the water quality of the El Pital stream in the rainy season and as the specific objectives: (1) determine the hydromorphological characteristics of the El Pital stream, (2) characterize the water quality of the The Pital stream, (3) model the water quality of the stream with the Streeter-Phelps model, and, (4) simulate the water quality of the El Pital stream with QUAL2K software.

To accomplish these objectives, a fieldwork was carried out that included 6 biweekly sampling campaigns during the months of February, March and April, in the rainy season, Seven sampling points were established: upstream, section 1, reach 2, section 3, 1 main discharge from a processing industry of passion fruit (Troprifrutas) and the two main tributaries, one coming from the Promejoras sector and the other is an eye of water that is born from the Gustavo Campi sector. During this phase was included the characterization of the physicochemical parameters of water quality which were: Biochemical oxygen demand (BOD), dissolved oxygen (DO), hydrogen potential (pH), temperature (° C) and electrical conductivity (EC).

The mathematical model applied was based on the Streeter-Phelps equations, which allowed modeling the water quality of the El Pital stream, to obtain the BOD and OD profiles. First, the kinetic constants were calibrated the reactive kinetic constants (rearation, deoxygenation and total removal of the BOD), by using statistical software Statgraphics with the Monte Carlo simulation tool, obtaining 10000 possibilities of the constants kinetics Finally, the water quality simulation 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

CAPÍTULO I.....1
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....1
1.1. Problema de investigación.....3
1.1.1. Planteamiento del problema.....3
1.1.1.1. Diagnóstico.....3
1.1.1.2. Pronóstico.....4
1.1.2. Formulación del problema.....4
1.1.3. Sistematización del problema.....4
1.2. Objetivos.....5
1.2.1. Objetivo general.....5
1.2.2. Objetivos específicos.....5
1.3. Justificación.....6
CAPÍTULO II.....3
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....3
2.1. Marco conceptual.....8
2.1.1. Contaminación del agua.....8
2.1.1.1. Fuentes de contaminación.....8
2.1.1.2. Efectos de la contaminación del agua.....9
2.1.1.3. Parámetros de la calidad del agua superficial.....9
2.1.1.3.1. Parámetros Físicos.....9
2.1.1.3.1.1. Temperatura.....9
2.1.1.3.1.2. Olor.....10
2.1.1.3.1.3. Turbidez.....10
2.1.1.3.2. Parámetros Químicos.....10
2.1.1.3.2.1. pH.....10
2.1.1.3.2.2. Oxígeno disuelto (OD).....11
2.1.1.3.2.3. Demanda bioquímica de oxigeno (DBO).....11
2.1.2. Modelos de calidad del agua.....11
2.1.2.1. Modelo de Streeter- Phelps.....11
2.1.2.2. Programa QUAL-2K.....11

2.1.2.3. Programa WASP 12
2.1.2.4. Calibración de modelo de la calidad del agua 13
2.2. Marco referencial 14
CAPÍTULO III 8
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 8
3.1. Localización 19
3.2. Tipo de investigación 20
3.3. Métodos de investigación 20
3.4. Fuentes de información 20
3.5. Diseño de la investigación 21
3.5.1. Determinación de las características hidrodinámicas del estero El Pital 21
3.5.2. Caracterización de la calidad del agua del estero El Pital 22
3.5.2.1. Recolección de muestras de agua. 23
3.5.2.2. Identificación puntos de muestreo 23
3.5.3. Modelización de la calidad del agua del estero El Pital con el modelo matemático de Streeter-Phelps 25
3.5.4. Simulación de la calidad del agua del estero El Pital con el programa de computadora QUAL2K 28
3.6. Instrumentos de investigación 29
3.6.1. Hojas de cálculo para caudales 29
3.6.2. Hojas de calibración de Statgraphics 29
3.6.3. Hoja del modelo de Streeter-Phelps 29
3.7. Tratamiento de los datos 29
3.7.1. Análisis de rendimiento 29
3.8. Recursos materiales y equipos 30
3.8.1. Materiales y equipos 30
CAPÍTULO IV 19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 19
4.1. Resultados de la investigación 33
4.1.1. Características hidromorfológicas del estero El Pital 33
4.1.1.1. Caudal 33
4.1.1.2. Velocidad de la corriente 34
4.1.1.3. Profundidad del cauce 36

4.1.2. Caracterización de la calidad del agua del estero El Pital 37
4.1.2.1. Oxígeno disuelto 37
4.1.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 38
4.1.2.3. pH 40
4.1.2.4. Conductividad eléctrica 42
4.1.3. Modelización de la calidad del agua con el modelo de Streeter-Phelps 44
4.1.3.1. Constantes cinéticas 44
4.1.3.1.1. Constante de reaireación (ka) 44
4.1.3.1.2. Constante de desoxigenación (kd) 44
4.1.3.1.3. Constante de remoción total de la DBO (kr) 45
4.1.3.2.1. Comportamiento del OD y la DBO en el mes de febrero 46
4.1.3.2.2. Comportamiento del OD y la DBO en el mes de marzo 49
4.1.3.2.3. Comportamiento del OD y la DBO en el mes de abril 52
4.1.3.2.4. Análisis de rendimiento 55
4.1.4. Simulación de la calidad del agua del estero El Pital con QUAL2K 56
4.1.4.1. Simulación del OD y la DBO en el mes de febrero 56
4.1.4.2. Simulación del OD y la DBO en el mes de marzo 57
4.1.4.3. Simulación del OD y la DBO en el mes de abril 59
4.1.4.4. Análisis de rendimiento 61
4.2. Discusión 62
CAPÍTULO V 33
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 33
5.1. Conclusiones 65
5.2. Recomendaciones 67
CAPÍTULO VI 65
BIBLIOGRAFÍA 65
6. BIBLIOGRAFÍA 69
CAPÍTULO VII 69
ANEXOS 69
7.1. Tablas de datos generales sobre las características hidromorfológicas del estero El Pital 72

7.2. Tablas de datos generales sobre las características físicoquímicas del estero El Pital 76
7.3. Hojas de cálculo del modelo de Streeter-Phelps.....79
7.4. Hojas de datos de simulación con QUAL2K.....82
7.5. Fotografías.....84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos utilizados para la medición de parámetros físicos y químicos básicos 22
Tabla 2. Modelo de preservación de la muestra.....23
Tabla 3. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.....24
Tabla 4. Fórmulas y rangos de profundidad y velocidad utilizados para estimar ka 27
Tabla 5. Medidas de bondad del ajuste.....30
Tabla 6. Materiales y equipos utilizados en la investigación.....31
Tabla 7. Caudales en l/s del estero El Pital en la estación lluviosa.....33
Tabla 8. Velocidad de la corriente principal en m/s del estero El Pital.....35
Tabla 9. Profundidad de la corriente principal del estero El Pital, en cm 36
Tabla 10. Niveles de oxígeno disuelto en el estero El Pital, en mg/l 37
Tabla 11. DBO_5 en el estero El Pital, en mg/l.....39
Tabla 12. Valores de pH en el estero El Pital 41
Tabla 13. Conductividad eléctrica en el estero El Pital, en µS/cm 42
Tabla 14. Valores calculados y calibrados de la constante de reaireación (ka).....44
Tabla 15. Valores calculados y calibrados de la constante de desoxigenación (kd).....45
Tabla 16. Valores calculados y calibrados de la constante de remoción total de la DBO kr)..45
Tabla 17. Características de la cabecera, descarga y tributarios en el mes de febrero.....46
Tabla 18. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de febrero.....47
Tabla 19. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxigeno del mes de febrero %.....48
Tabla 20. Características de la cabecera, descarga y tributarios en el mes de marzo 49
Tabla 21. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de marzo 49
Tabla 22. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxigeno del mes de marzo, %.....51
Tabla 23. Características de la cabecera, descarga y tributarios en el mes de abril.....52
Tabla 24. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de abril.....52
Tabla 25. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica del mes de abril, en % 54
Tabla 26. Rendimiento del modelo de Streeter-Phelps con respecto al OD.....55
Tabla 27. Rendimiento del modelo de Streeter-Phelps con respecto a la DBO.....55
Tabla 28. Rendimiento de QUAL2K con respecto al OD 61
Tabla 29. Rendimiento de QUAL2K con respecto a la DBO.....61
Tabla 30. Valores obtenidos en el cálculo del caudal por fechas de las campañas de muestreo en l/s.....72
Tabla 31. Promedio de los caudales en m/s 72
*T*abla 32. Valores obtenidos en el cálculo de la velocidad por fechas de las campañas de muestreo.....72
Tabla 33. Promedio de la velocidad en m/s 73
Tabla 34. Valores obtenidos en el cálculo de la profundidad por fechas de las campañas de muestreo.....73

Tabla 35. Promedio de la profundidad en m 73
Tabla 36. Valores de DBO mg/l 76
Tabla 37. Promedio de DBO mg/l 76
Tabla 38. Valores de oxígeno disuelto mg/l 76
Tabla 39. Valores promedio de oxígeno disuelto mg/l 77
Tabla 40. Mediciones de pH 77
Tabla 41. Promedio pH 77
Tabla 42. Mediciones de temperatura, °C 77
Tabla 43. Promedio de temperatura °C 78
Tabla 44. Mediciones de conductividad eléctrica µS/cm 78
Tabla 45. Promedio de conductividad eléctrica µS/cm 78

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Variación del caudal promedio de la corriente principal del estero El Pital 34
Gráfico 2. Velocidad promedio de la corriente principal del estero El Pital, en m/s 35
Gráfico 3. Variación promedio de la profundidad en la corriente principal del estero El Pital 37
Gráfico 4. Variación promedio del oxígeno disuelto en el estero El Pital 38
Gráfico 5. Variación promedio de la DBO5 en el estero El Pital 40
Gráfico 6. Variación promedio del pH en la corriente principal del estero El Pital 41
Gráfico 7. Variación promedio de la conductividad eléctrica en la corriente principal del estero El Pital 43
Gráfico 8. Perfil del OD del mes de febrero 47
Gráfico 9. Perfil de la DBO del mes de febrero 48
Gráfico 10. Perfil del OD del mes de marzo 50
Gráfico 11. Perfil de la DBO del mes de marzo 51
Gráfico 12. Perfil del OD del mes de abril 53
Gráfico 13. Perfil de la DBO del mes de abril 54
Gráfico 14. Simulación del OD con QUAL2K del mes de febrero 56
Gráfico 15. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de febrero 57
Gráfico 16. Simulación del OD con QUAL2K del mes de marzo 58
Gráfico 17. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de marzo 58
Gráfico 18. Simulación del OD con QUAL2K del mes de abril 59
Gráfico 19. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de abril 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del sitio de estudio 19
Figura 2. Mapa de localización del estero el Pital.....25
Figura 3. Curva Sag de oxígeno disuelto en corrientes de agua superficial 26
Figura 4. Interfaz del programa QUAL2K 28
Figura 5. Hojas de cálculo de caudales Aguas Arriba en abril 74
Figura 6. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 1 en abril 74
Figura 7. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 2 en abril 75
Figura 8. Hoja de cálculo de caudales punto de muestreo tramo 3 en abril 75
Figura 9. Hoja de cálculo de Streeter-Phelps, mes de febrero 79
Figura 10. Hojas de cálculo modelo Streeter-Phelps, mes de marzo 79
Figura 11. Hojas de cálculo modelo Streeter-Phelps, mes de abril.....80
Figura 12. Hojas de Statgraphics, para el cálculo de las constantes cinéticas 80
Figura 13. Hojas de Statgraphics para el cálculo de las constantes cinéticas 81
Figura 14. Hojas de Statgraphics para el cálculo de las constantes cinéticas 81
Figura 15. Hoja de datos iniciales de QUAL2K 82
Figura 16. Hoja de datos de cabecera de QUAL2K 82
Figura 17. Hoja de Reach (tramos) de ingreso de datos para los tramos 83
Figura 18. Hoja para ingresar las tasas o constantes cinéticas (Reach rates) 83
Figura 19. Hoja para ingresar los datos de las descargas puntuales.....84

CÓDIGO DUBLIN

Título:	Modelización de la calidad del agua del estero El Pital, cantón Quevedo, estación lluviosa, año 2019				
Autora:	Martínez Arboleda Gina Katherine				
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)	La aplicación de modelos matemáticos en la calidad del agua sirve para poder determinar el comportamiento de los parámetros a lo largo de un cauce y conocer las características hidromorfológicas. Por ello la siguiente investigación tiene como objetivo general modelizar la calidad del agua del estero El Pital en la estación lluviosa 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. Para cumplir con estos objetivos se realizó un trabajo de campo que contó con 6 campañas de muestreo quincenales durante los meses de febrero, marzo y abril considerados época lluviosa, donde se establecieron 7 puntos que fueron: aguas arriba, tramo 1, tramo 2, tramo 3, 1 descarga principal proveniente de una industria procesadora de maracuyá (Troprifrutas) y los dos tributarios identificados, uno proveniente del Sector Promejoras y el otro siendo un ojo de agua que nace desde el sector Gustavo Campi. Durante esta fase 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). 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 instancia se obtuvieron las constantes aplicando las ecuaciones matemáticas respectivas, para luego calibrar las constantes cinéticas de reaireación (Ka), desoxigenación (Kd) y de remoción total de la DBO (Kr) haciendo uso del software 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:	(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)				

Introducción

Uno de los principales problemas de la contaminación ambiental a nivel mundial es el crecimiento demográfico, afectando en mayor proporción la calidad del agua como resultado de las diferentes actividades como la agricultura, ganadería, deforestación entre otras, que realiza el ser humano con la finalidad de satisfacer sus necesidades básicas. Sin embargo, el mayor inconveniente se da cuando se realiza una mala gestión del recurso como el aumento de descargas de desechos líquidos o sólidos a los diferentes tipos de aguas superficiales.

El Ecuador es uno de los países con una significativa tasa de crecimiento poblacional, y existe una tendencia de concentración urbana cada vez más notoria, lo que significa presiones crecientes sobre los recursos naturales y la consecuente producción de desechos. Por ende se evidencia un panorama de creciente contaminación de sus cuerpos hídricos que son empleados para descargar los desechos líquidos de centros urbanos y de diversos procesos productivos con afectación directa al agua, causando acumulación de sustancias tóxicas, daños a la biota, contaminación en los mariscos con lo consiguiente deterioro en la calidad de vida de las personas [1].

Sin embargo, el Estado ecuatoriano, a través de sus organismos de control, ha establecido regulaciones específicas para el aprovechamiento de fuentes para abastecimiento de agua y para que los responsables de este servicio tomen las previsiones necesarias para el cumplimiento de lo establecido en la ley, buscando generalmente asegurar una calidad adecuada en la fuente de abastecimiento [1].

La cuidad de Quevedo cuenta con un río como la principal fuente de agua aunque con el pasar del tiempo se encuentra más contaminada debido a los residuos que son arrojados en sus riberas y por las diferentes descargas residuales que se vierten directamente al río sin previo tratamiento empeorando la calidad del agua y por ende la salud de las personas.

Por ello la siguiente investigación busca determinar los niveles de contaminación que posee el estero “El Pital” en la ciudad de Quevedo analizando los niveles de oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno a través de la utilización del modelo matemático de Streeter-Phelps.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

A lo largo de muchos años los ríos han sido usados como botaderos de todo tipo de residuos, debido a su alto grado de autodepuración y gracias a los volúmenes de agua que contienen. Sin embargo, las frecuentes descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas que reciben hacen que superen esta capacidad de regenerarse por sí mismos, lo cual se convierte en un problema causando la perdida de oxígeno disuelto en el agua, la desaparición de fauna y flora existente y por ende alterando la características de estos cuerpos de agua [2].

La cuidad de Quevedo tiene un crecimiento poblacional alto y hasta el momento no cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, convirtiéndose esto en la causa del deterioro de la calidad de agua del río debido a que las aguas residuales que son generadas dentro de la cuidad son descargadas sin previo tratamiento de manera directa al río o a esteros como el Atascoso, Macache entre otros. En este caso el estero El Pital donde se depositan aguas residuales provenientes de los hogares de las personas que habitan cerca de este cuerpo de agua y las industrias que existen dentro de esta zona alterando día a día las propiedades ideales del cuerpo de agua.

1.1.1.1. Diagnóstico

El sector El Pital sin duda alguna es un referente en la cuidad de Quevedo. El desarrollo urbanístico ha ocasionado que su población vaya aumentando, y se vayan asentando en las riberas del estero El Pital, el cual es un cuerpo de agua de gran importancia y que pertenece a la red hidrográfica del río Quevedo.

El principal problema de contaminación del estero El Pital radica en las frecuentes descargas que se realizan sin ningún tratamiento de las aguas servidas y diferentes tipos de desechos que se generan día a día por las personas que habitan cerca del estero con la finalidad de satisfacer sus necesidades básicas. Adicionalmente el estero recibe las descargas de aguas residuales de una industria encargada al procesamiento de maracuyá como Tropifrutas S.A, causando afectaciones aún más graves a la calidad de agua del estero y la salud de las personas que hacen uso de este recurso.

1.1.1.2. Pronóstico

Uno de los recursos más utilizados para el desarrollo de actividades antropogénicas es el agua y por ello debe ser cuidada y una de las mejores alternativas es implementar una planta de tratamiento de aguas residuales y estudios acerca de la calidad del agua, para evitar que los problemas diagnosticados se sigan agravando. En el caso del estero El Pital se deben implementar medidas los más pronto posible para evitar que este cuerpo de agua se siga contaminando y causando enfermedades a las personas que hacen uso de este recurso como problemas gastrointestinales y a la piel y en el peor de los casos que este estero ya no sea apto para su uso o llegue a desaparecer.

1.1.2. Formulación del problema

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

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 lo 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, estación lluviosa

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 mediante el programa informático QUAL2K.

1.3. Justificación

Durante años, los recursos naturales han estado sometidos a un proceso acelerado de degradación, por lo cual en la actualidad es difícil que un país que no se encuentre inmerso en esta problemática. Una de las principales fuentes de contaminación de las aguas es el vertido de efluentes residuales sin depurar o insuficientemente depurados y otro tipo de compuestos relacionados con actividades industriales y prácticas agrícolas inadecuadas [3].

La investigación surge de la necesidad de mantener la calidad de agua del estero El Pital y que se cumplan los estándares mínimos requeridos y así garantizar el bienestar de los pobladores y de todos los ecosistemas debido a que el agua es uno de los recursos más indispensable.

Para poder mantener la calidad del agua es indispensable la utilización de herramientas de modelos matemáticos para obtener información real y confiable sobre el grado de afectación que posee un cuerpo de agua y así fomentar su recuperación con finalidad de que de que no existan afectaciones a las personas.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Contaminación del agua

Se entiende por contaminación del agua a la acción o al efecto de introducir algún material o inducir condiciones sobre el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación a sus usos posteriores o sus servicios ambientales. El agua pura es un recurso renovable, sin embargo puede llegar a estar tan contaminada por las actividades humanas, que ya no sea útil, sino más bien nocivo [4].

2.1.1.1. Fuentes de contaminación

Las categorías de contaminación que impactan a los recursos hídricos se derivan de fuentes puntuales y no puntuales. Estas afectan y alteran las características naturales de los recursos hídricos, ocasionalmente por desastres naturales, pero en su mayoría el mayor de los impactos es de carácter antropogénico. Se pueden clasificar en cuatro grupos principales: naturales, agrícolas, urbanas o domiciliares e industriales [5].

- Fuentes naturales: se originan por arrastres de materia orgánica, los escurrimientos de aguas pluviales, productos inorgánicos producidos por la erosión del suelo y sustancias minerales. Todas las anteriores son aportadas por los mismos ecosistemas y en su mayoría son biodegradables [5].

- Fuentes agrícolas: el origen de esta es por residuos animales y por el uso de plaguicidas y fertilizantes. Estos son llevados a los ríos o cuerpos de agua principalmente gracias a la escorrentía superficial ocurrida desde las explotaciones agrícolas o agropecuarias. Estas aguas llevadas a los ríos, aportan grandes cantidades de nutrientes (nitratos, y fosfatos), restos de sales inorgánicas y minerales [5]

- Fuentes urbanas o domiciliares: debido al incremento de la población en áreas urbanas, se ha dado un aumento en la producción de aguas residuales, que en su mayoría son descargadas en los cauces de los ríos. Estas aguas incluyen tanto aguas negras domesticas como las aguas residuales municipales. En muchas áreas

urbanas dentro de los países desarrollados no existen sistemas de alcantarillados adecuados o suficientes para la recolección de las aguas [5].

- Fuentes industriales: las aguas residuales provenientes de industrias incluyen los residuos sanitarios de empleados tanto los residuos derivados de manufactura, y de procesos. La propiedad físico-química depende del tipo de industria y del proceso al que se dedique. Estas puede contener materia orgánica, nutrientes, metales pesados, sustancias inorgánicas, grasas y aceites. En los países subdesarrollados, la mayoría de las industrias vierten estas aguas directamente a las aguas receptoras sin que llevan un tratamiento previo [5].

2.1.1.2. Efectos de la contaminación del agua

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. Este cadmio es utilizado como fertilizante para las plantas y los seres humanos pero en niveles altos, puede causar diarrea severa y daño al hígado y los riñones [6].

2.1.1.3. Parámetros de la 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 [6].

2.1.1.3.1. Parámetros Físicos

2.1.1.3.1.1. Temperatura

Es un requisito para el pH y la conductividad. Una medición útil para interpretar los rangos de solubilidad de los parámetros químicos. La temperatura es muy importante porque influye con las tasas de actividad química y biológica. Afecta la tasa de transferencia de oxígeno y el valor del oxígeno saturado, ya que al incrementar la temperatura la solubilidad del oxígeno disuelto disminuye. Un aumento en la temperatura puede producir malos olores debido a un aumento en la transferencia de gases. Aumenta la reproducción de ciertas especies vegetales y animales, acelera los procesos metabólicos

y puede llegar a cambiar las especies de un río debido a intolerancia al cambio de la temperatura [7].

2.1.1.3.1.2. Olor

El agua pura es inodora, los olores ocurren por compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos aunque estén en pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor. Las pruebas de sabor y olor son útiles como comprobación de la calidad del agua cruda y del agua tratada, para el control del olor en las diversas unidades de una planta potabilizadora, para la determinación de las dosis convenientes para el tratamiento, para verificar la efectividad de las diversas clases de tratamiento y como un medio para definir la fuente de contaminación. Los órganos del gusto y del olfato son notablemente sensibles pero no son precisos. Aún no existe un método satisfactorio para caracterizar el olor, por lo cual las descripciones que se obtienen son cualitativas [8].

2.1.1.3.1.3. Turbidez

La turbiedad es una medida de la cantidad de materia en suspensión que infiera con el paso de un haz a través del agua. Se expresa en unidades de nefelométricas de turbiedad (UNT) y se mide en un turbidímetro, es producida por las materias suspendidas como arcilla o materia orgánica e inorgánica finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos [9].

2.1.1.3.2. Parámetros Químicos

2.1.1.3.2.1. pH

Es la concentración relativa de los iones hidrógeno en el agua, es la que indica si ésta actuará como un ácido débil, o si se comportará como una solución alcalina. Es una medición valiosa para interpretar los rangos de solubilidad de los componentes químicos. Esta mide la acidez o la alcalinidad del agua. La actividad del ión hidrógeno puede afectar directa o indirectamente la actividad de otros constituyentes presentes en el agua, la medida del pH constituye un parámetro de importancia para la descripción de los sistemas biológicos y químicos de las aguas naturales [10].

El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número iones hidrogeno presentes. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica [10].

2.1.1.3.2.2. Oxígeno disuelto (OD)

Es uno de los parámetros más relevantes a la hora de evaluar la calidad del agua. Está asociado a la contaminación orgánica. Su concentración aumenta al disminuir la temperatura y la salinidad. Cuando existen condiciones aeróbicas se produce una mineralización que consume oxígeno y produce gas carbónico, nitratos y fosfatos. Una vez que se consume todo el 18 oxígeno comienza la descomposición anaeróbica que produce metano, amonio, sulfuro de hidrógeno y mercaptano [11].

2.1.1.3.2.3. Demanda bioquímica de oxigeno (DBO)

Es la medida del oxígeno requerida para la estabilización de la materia orgánica. Entre mayor sea la carga orgánica de un cuerpo de agua, mayor será la necesidad de oxígeno para su descomposición, por lo que se da una reducción de la cantidad de oxígeno disuelto. Esto a su vez perjudica la vida acuática y otros usos del agua [11]

2.1.2. Modelos de calidad del agua

2.1.2.1. Modelo de Streeter- Phelps

El modelo es uno de los más conocidos ya que permite simular de manera simplificada el comportamiento del oxígeno disuelto (OD) en un rio, ante la descarga puntual de carga orgánica. Este modelo representa básicamente dos procesos; la descomposición bacterial en la fase liquida y la re-aireación. Adaptaciones y ampliaciones posteriores del modelo han permitido la inclusión de otros procesos como la fotosíntesis, respiración y demanda béntica de oxígeno para la determinación de otros parámetros de calidad del agua [12].

2.1.2.2. Programa QUAL-2K

El modelo QUAL2K es una versión extendida del modelo QUAL2E el cual es de libre acceso publicado por la EPA - Environmental Protection Agency. El modelo QUAL2K se encuentra implementado en el lenguaje Visual Basic y opera con el programa Excel de Microsoft Office [13].

Ventajas del modelo QUAL2K En el estudio Modelación de la calidad del agua del río Bogotá (Universidad de Los Andes - EAB, 2002), se mencionan algunas ventajas técnicas del modelo, las cuales se describen a continuación [13]

- Se corrige la tasa de descomposición de la materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas. Se considera que bajo estas condiciones la tasa de descomposición es igual a una tasa igual a la tasa de re aireación superficial y el déficit de oxígeno existente se iguala al oxígeno de saturación.
- Se corrige de igual forma la tasa de nitrificación bajo niveles de oxígeno disuelto muy bajos en el agua.
- Modela completamente el crecimiento de plantas flotantes y de plantas radiculadas fijas. Para esta modelación tiene en cuenta los niveles de nutrientes en el agua, de la temperatura y de la intensidad de luz.

El modelo QUAL2K no presenta limitaciones en el número de tramos y subtramos a modelar, de esta forma se eliminan las limitaciones presentadas por el modelo QUAL2E en este sentido (25 tramos, 20 subtramos, 7 elementos de entrada y salida de caudal, entre otros). Para cada uno de los tramos se realiza un balance de caudal, de temperatura y de concentraciones de cada factor. Los balances son resueltos asumiendo una condición de estado estable y con un método de diferencias finitas [13].

2.1.2.3. Programa WASP

Sus siglas en inglés se refieren a un Programa para simulación y análisis de calidad de agua (Water Quality Analysis Simulation Program). Este modelo permite al usuario modelar en 1, 2 y hasta 3 dimensiones, así como una gran variedad de contaminantes. El modelo WASP es uno de los más usados en los Estados Unidos y a través del mundo para modelar la calidad de agua [13].

Ventajas del modelo WASP

- Aplicable a la mayoría de cuerpos de agua con algún nivel de complejidad.
- Aborda la mayoría de los problemas de calidad de agua tales como OD, eutrofización, calor, transporte y destino de contaminantes
- Separación de procesos (cinética y transporte)
- Comunicación externa a modelos y hojas de cálculo

- Tres técnicas de solución numérica.

Limitaciones del modelo WASP

- No maneja algunos determinantes y procesos como: Procesos de zona de mezcla, Líquidos en fase no acuosa (e.g., vertimientos aceites o hidrocarburos), Zonas de secado (planicies de inundación), Reacciones de especiación de metales (módulo especial, META4, no hace parte general de la liberación de WASP).
- Archivos hidrodinámicos potencialmente grandes.
- Módulos separados de eutrofización y de destino de sustancias tóxicas.
- No puede correrse en modo automático.

2.1.2.4. Calibración de modelo de la 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 [14].

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. La calibración del modelo 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 [15].

2.2. Marco referencial

Los estudios de la calidad del agua superficial y el comportamiento del OD y de la DBO han ido incrementando con el pasar de los años, ya que los primeros en realizar estudios de la oxidación y aireación en el río Ohio en los Estadios Unidos fueron Harold Streeter y Earle Phelps a partir del modelo Streeter Phelps, posteriormente otras versiones del modelo más complejas fueron desarrolladas después de los sesenta gracias a la posibilidad de realizar soluciones computacionales. A continuación, se detallan varias investigaciones que se han llevado a cabo en los últimos tiempos:

De acuerdo al estudio realizado por Dominguez Judith; Borroto Jorge y Hernández,Anel sobre el empleo del modelo de Streeter y Phelps modificado para la planificación de estrategias de saneamiento del Rio Almendares, se observa un notable deterioro en la calidad de sus aguas. El modelo conceptual o físico implícito en el modelo matemático divide en 11 segmentos a la sección comprendida entre el punto donde la Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) "María del Carmen" vierte al río y el Puente del "Bosque de la Habana". En los límites de cada segmento se consideran constantes los parámetros morfológicos e hidrodinámicos del río. Con ayuda del modelo se valora la influencia en el OD de la DBO de las descargas puntuales y dispersas que el río recibe en la sección estudiada. Así mismo se estudia la influencia del caudal y el OD con que el Almendares arriba a la sección modelada. Finalmente se exploran tres estrategias de saneamiento de la zona que combinan acciones sobre los residuales que recibe el caudal base. Quedó establecido que resulta esencial garantizar la calidad aguas arriba de la zona a modelar y que el aumento del caudal base a expensas de la presa "Ejército Rebelde" provocaría una mejora sensible en los niveles de OD. Se comprobó además, que resulta imprescindible eliminar o al menos disminuir la carga de DBO que se incorpora al río como fuentes dispersas por la población que habita sus riberas y que la reaireación artificial pudiera ser una vía para mejorar los niveles de OD. El modelo empleado permitió predecir el efecto de estrategias de saneamiento en la calidad del agua del río [16].

Por otro lado, Guizao Carlos y Díaz Fernando en su estudio basado en la simulación de la calidad del agua del Río Manzanares utilizando el modelo QUAL2K en el año 2007, establecieron que actualmente registra una baja calidad de agua debido a que recibe descargas de aguas residuales domesticas a su paso por la cuidad de Santa Marta e

igualmente la mayoría de sus afluentes tiene un alto grado de contaminación. La calidad del agua del Río Manzanares tiene dos repercusiones ambientales importantes, la principal es que fuente de recarga del acuífero de santa Marta, el cual abastece aproximadamente el 70% del agua que se utiliza para el consumo humano de esta ciudad. Y el segundo que es uno de los afluentes que llegan a la bahía de Santa Marta, sitio de vocación turística, donde se descarga toda la contaminación que recoge a lo largo de su recorrido [17].

Para la calibración del modelo se desarrolló un programa de muestreo que cubrió un periodo de seis meses que cubrieron la época seca y otra lluviosa de acuerdo al régimen climático de esta zona y en primera parte del año 2006, donde se caracterizó el río Manzanares en sus condiciones hidráulicas e hidrológicas y se identificaron las fuentes de aguas residuales así como sus extracciones de agua. Se determinaron cuatro estaciones de monitoreo a lo largo del río y se analizaron parámetros en campo (OD, pH, conductividad, temperatura) después se tomaron muestras de agua que fueron llevadas a analizar la DBO en un laboratorio. El modelo QUAL2K arrojo resultados con un error de 3,7 % para el caso del (OD). Los resultados de las simulaciones muestran el deterioro de las aguas del Río, observándose en su cuenca baja una limitada capacidad de autodepuración de sus aguas, en su parte aguas arriba en la población de Bonda el río presenta aguas limpias, así como características que proporcionan una buena transferencia de oxígeno [17].

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 [18].

Por otro lado, Villalobos presenta la siguiente investigación, que consiste en calibrar un modelo matemático QUAL2K para el análisis de calidad del agua para el caso de un río específico en Costa Rica que se adapte a la realidad del país, de manera que sirva de herramienta para el análisis de calidad del agua y proyección de impactos en los ríos. Ésta investigación utiliza un modelo de calidad del agua (QUAL2K) y técnicas de análisis de simulación de Monte Carlo y dispersión y sensibilidad para calibrar dicho modelo, con el fin de adaptarlo a la realidad de la zona en estudio (Río Damas, Desamparados).

Además, como metodología de calificación de cuerpos de agua, se utiliza el "Índice Holandés de Clasificación para la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales" establecido en el decreto N.33903 del MINAE, en donde se definen los criterios de usos de los cuerpos de agua superficial, y se establecen cinco categorías de uso potencial del agua y el tratamiento que esta requeriría. Para el montaje del modelo y la obtención de los datos necesarios para la calibración, se realizaron dos campañas de medición, una en julio y otra en septiembre siguiendo la masa de agua a lo largo del río [19].

Para la calibración del modelo, se utilizó la metodología de simulación de Monte Carlo, la cual disminuyó la incertidumbre del modelo, además el análisis de dispersión y sensibilidad facilitó la escoger el modelo óptimo de forma objetiva, ya que por medio del coeficiente de determinación, se obtuvo un modelo calibrado que tiene un ajuste mayor al 90% con respecto a los datos observados. En general, se consiguió formular un modelo que describe las fuentes que afectan en mayor medida el comportamiento del río. Sin embargo, el sistema natural estudiado posee muchos factores que afectan su comportamiento, por lo tanto, se ve muy influenciado por la mayoría de las entradas que este tenga, sin importar su tamaño [19].

También hacemos referencia al estudio realizado por Zúñiga Liliana en el año 2014 en la ciudad de Loja, basado en la modelación de la calidad de agua del Río Malacatos, tramo comprendido desde el Sector Dos Puentes hasta Sauces Norte donde se constata que para el estudio se estableció una red de monitoreo de nueve puntos a lo largo del tramo y se realizaron seis muestreos en diferentes épocas del año. El modelo matemático desarrollado se basa en la ecuación de Streeter & Phelps; este modelo unidireccional y estacionario ha permitido predecir el comportamiento y la evolución de la concentración con la finalidad de los parámetros en función de la distancia. Este ha sido calibrado y verificado con la finalidad de que sea capaz de reproducir la calidad del agua con una alta

confiabilidad. También se utilizó constantes cinéticas de primer orden para la estimación de la DBOC y DBON, es decir que la taza de reacción es proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable por parte de los organismos activos biológicamente en cualquier tiempo. Los resultados de la investigación servirán como base para toma decisiones en el manejo y diagnóstico adecuado del río [20].

En otras investigaciones relacionadas a la modelización de calidad del agua, Pazmiño y Toapanta en el año 2018, evaluaron el comportamiento o variabilidad del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno en el estero El Limón en la época seca, para lo cual se realizó la modelización y calibración utilizando las expresiones matemáticas establecidas en el modelo de Streeter-Phelps, usando los datos que se obtuvieron, durante la fase de campo, de las características hidrométricas y fisicoquímicas observados en los meses de julio a octubre. La calibración del modelo consistió en ajustar las constantes cinéticas de reaireación (ka), desoxigenación (kd) y de remoción total de la DBO (kr), empleando la metodología GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation), que combina el método manual (error y ensayo) con el fin de obtener posibles variaciones de las constantes cinéticas, a través de simulaciones Monte Carlo. Finalmente se realizó el análisis de rendimiento, donde se determinó el error estadístico entre los valores medidos en el campo con los valores predichos para el OD y DBO, se utilizó las ecuaciones de Nash-Sutcliffe y del coeficiente de determinación (R2), que registraron un ajuste bueno para OD y DBO. En la aplicación del modelo QUAL2K, el resultado del análisis tuvo valores aceptables [21].

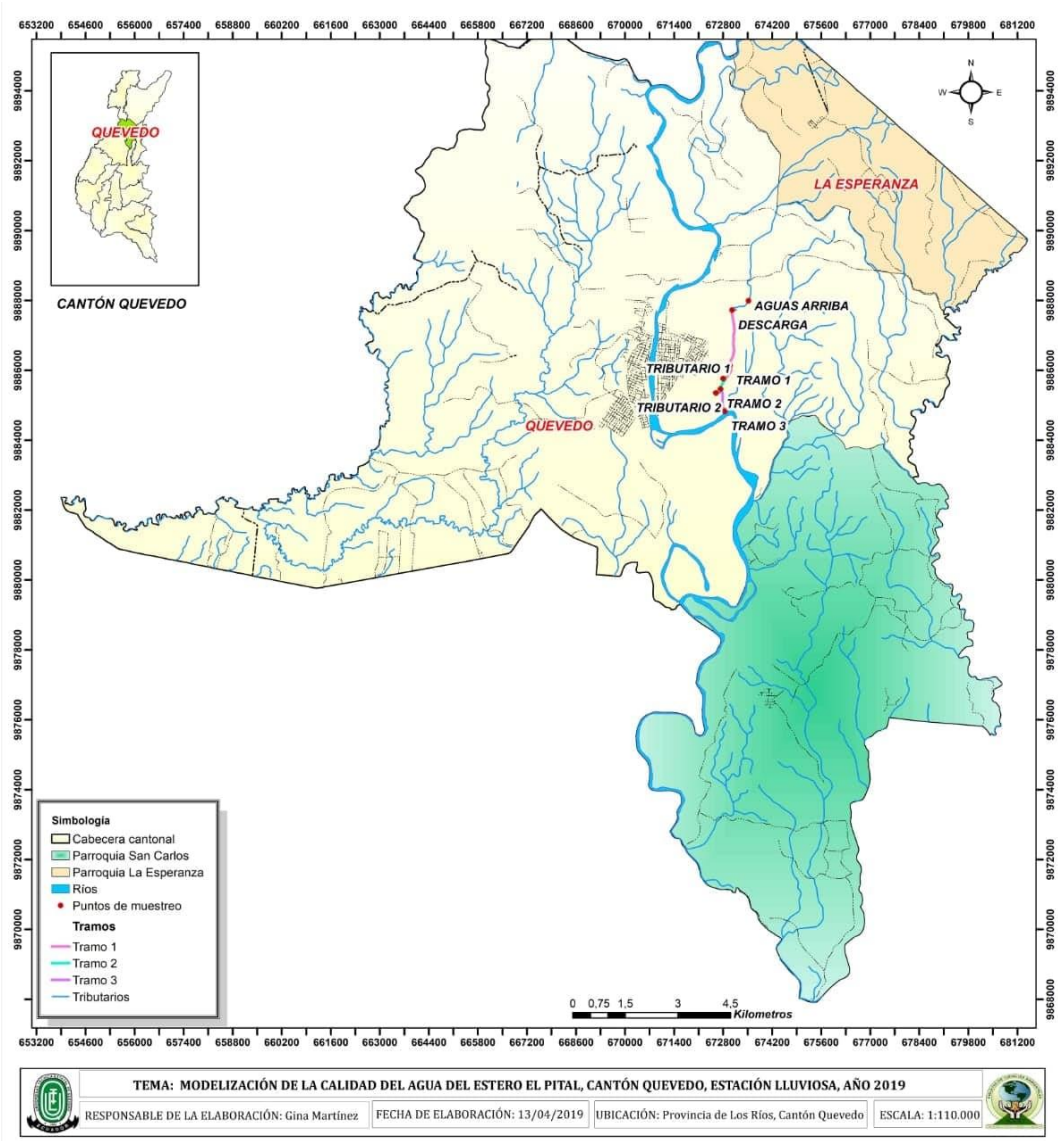
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

El lugar de estudio se sitúa en el Estero “El Pital” perteneciente al cantón Quevedo, de la provincia de Los Ríos. El recorrido del estero empieza en el sector El Pital atravesando a lo largo varios sectores aledaños llegando a desembocar en el Río Quevedo. 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 con una temperatura ambiental promedio de 25 °C, su máximo en los meses de marzo-abril y su mínimo los meses de julio-agosto y un porcentaje de humedad (% H) de 82 %.

Figura 1. Mapa de localización del sitio de estudio



Fuente: IGM/INEC

3.2. Tipo de investigación

Para poder resolver el problema planteado dentro del proyecto se aplicó la investigación de campo la cual permite la obtención directa de datos reales por parte del investigador, además, se aplicó la investigación experimental que a diferencia de la investigación de campo permite la manipulación y control de variables, este tipo de investigación parte de observaciones o teorías que aporten a la comprobación de los objetivos planteados y así conocer la situación actual [22].

3.3. Métodos de investigación

Para cumplir con los objetivos propuestos y poder obtener una solución al problema planteado la investigación debe de apoyarse en el método científico por ser un procedimiento formulado de manera lógica, por ello se detallan algunos de estos métodos a continuación:

- Método analítico: Consiste en revisar o analizar ordenada y separadamente los elementos o partes de un todo, dentro de la investigación se lo utilizó para determinar las características fisicoquímicas e hidromorfológicas del estero El Pital [22].

- Método inductivo: Se basa en la recolección de datos y se categorizan las variables para poder realizar un análisis de un caso o de casos particulares y observaciones de la realidad, Por medio de este método se pudo analizar en un modelo matemático las características que presentaba el estero El Pital [22].

3.4. Fuentes de información

Existen dos tipos de fuentes documentales para poder desarrollar la investigación, como las primarias y secundarias las cuales se detallan a continuación:

- Fuentes primarias: Son los escritos del autor sobre la investigación o los propios datos [23]. En la presente investigación las fuentes primarias fueron los parámetros de temperatura, OD, pH y conductividad eléctrica que se obtuvieron a lo largo de las 6 campañas en la fase de campo.

- Fuentes secundarias: Consisten en todos los documentos que fueron elaborados por otras personas [23]. En este caso las fuentes secundarias fueron investigaciones realizadas sobre la aplicación de los modelos matemáticos para la evaluación de la calidad del agua.

3.5. Diseño de la investigación

3.5.1. Determinación de las características hidrodinámicas del estero El Pital

El cuerpo de agua superficial considerado en la investigación, fue segmentado en un número determinado de tramos, los cuales constituyeron las unidades de modelización del cauce, incluyendo los puntos de muestreo, uno por cada tramo. Los tramos se delimitaron en función de las semejanzas y diferencias hidrodinámicas, morfológicas y ambientales que se identificarán en el recorrido exploratorio previo al desarrollo de la investigación.

En cada una de las unidades de modelización se realizaron aforos quincenales, durante la estación lluviosa, en los meses de Febrero, Marzo y Abril del año 2019, logrando un total de seis campañas. Para la realización de los aforos en cada unidad de modelización se utilizó el método del flotador, en el que se determina el área de la sección transversal de la corriente, insertando dos estacas en el cauce con una longitud de 6 a 8m según las condiciones hidrodinámicas del punto de estudio

Para determinar la velocidad del caudal, utilizó una pelota ligera, hojas o ramas halladas en sitio de estudio, con la ayuda de un cronometro se tomó el cálculo que necesitó el objeto para hacer su recorrido desde la sección superior hasta la sección inferior (método del flotador). De modo que el caudal en cada unidad de modelización se obtuvo multiplicando el área del cauce, por la velocidad de la corriente

$$Q = A \times V$$

El área de la sección transversal fue calculada mediante la siguiente integral definida

$$\int_{X_0}^{X_f} f(z)\, dz$$

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 $f(z)$ es la curva resultante del ajuste de los diferentes datos de la profundidad que se midio en las secciones transversales de los tramos a modelados, o por regresión polinómica o por el método de interpolación de Newton

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

Paralelamente a los aforos, se recolectaron muestras de agua quincenales en los 7 puntos de muestreo como descargas puntuales y los tributarios, 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 muestreos. Además se realizaron análisis de parámetros físico-químicos básicos en los 7 puntos de estudio cada 15 días, durante los meses de Febrero, Marzo y Abril, obteniendo un total de 6 repeticiones, los parámetros que se analizaron fueron: oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica del oxígeno (DBO), potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), y temperatura del agua (°T).

La muestras de agua para el análisis de la DBO fueron llevadas en un periodo de 8 horas para ser analizadas al laboratorio de suelos y aguas de la Universidad Estatal de Quevedo mediante el método respirometrico dentro de una cabina de incubación OxiTop® Box, y los parámetros de oxígeno disuelto, potencial hidrógeno, conductividad eléctrica, y temperatura se registraron in situ mediante el medidor portátil medidor portátil Oxi 3310 SET 1e instrumentos portátiles digitales marca Biocharge.

En la siguiente tabla se detallan las características de los equipos utilizados para los parámetros mencionados anteriormente:

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 Oxi 3310 SET 1
Demanda bioquímica de oxigeno	mg/l	Método respirométrico en una cabina de incubación OxiTop® Box
Temperatura	°C	Medidor portátil Oxi 3310 SET 1
Conductividad eléctrica	µS/cm	Portátil digital marca Biocharge
PH	-	Portátil digital marca Biocharge

3.5.2.1. Recolección de muestras de agua.

Para las mediciones de oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica, pH se realizó el procedimiento in situ en los diferentes puntos de muestro. Para toma la muestra de agua para el análisis de demanda bioquímica de oxigeno (DBO) fue utilizado un envase de plástico de 1 litro con resistencia a entrada de la luz, el envase debe estar estéril y ser prelavado en el sitio de estudio, la muestra fue tomada a la mitad del cauce sumergiendo la botella hasta llenarla completamente, la botellas debe estar rotuladas con el distintivo del punto de muestreo, posteriormente son llevadas al laboratorio para realizar el análisis.

Tabla 2. Modelo de preservación de la muestra

Parámetro	Envase	Tamaño mínimo de muestra	Tipo de muestra	Preservación	Tiempo máximo de conservación Recomendado/Regulado
Demanda bioquímica de oxigeno	P o V (es preferible vidrio para concentraciones bajas de DBO)	250 ml	p, c	Refrigerar entre 2°C y 5°C, guardar en la obscuridad	24 horas

P = envase de plástico (polietileno o equivalente); V = envase de vidrio; p = puntual; c = compuesta

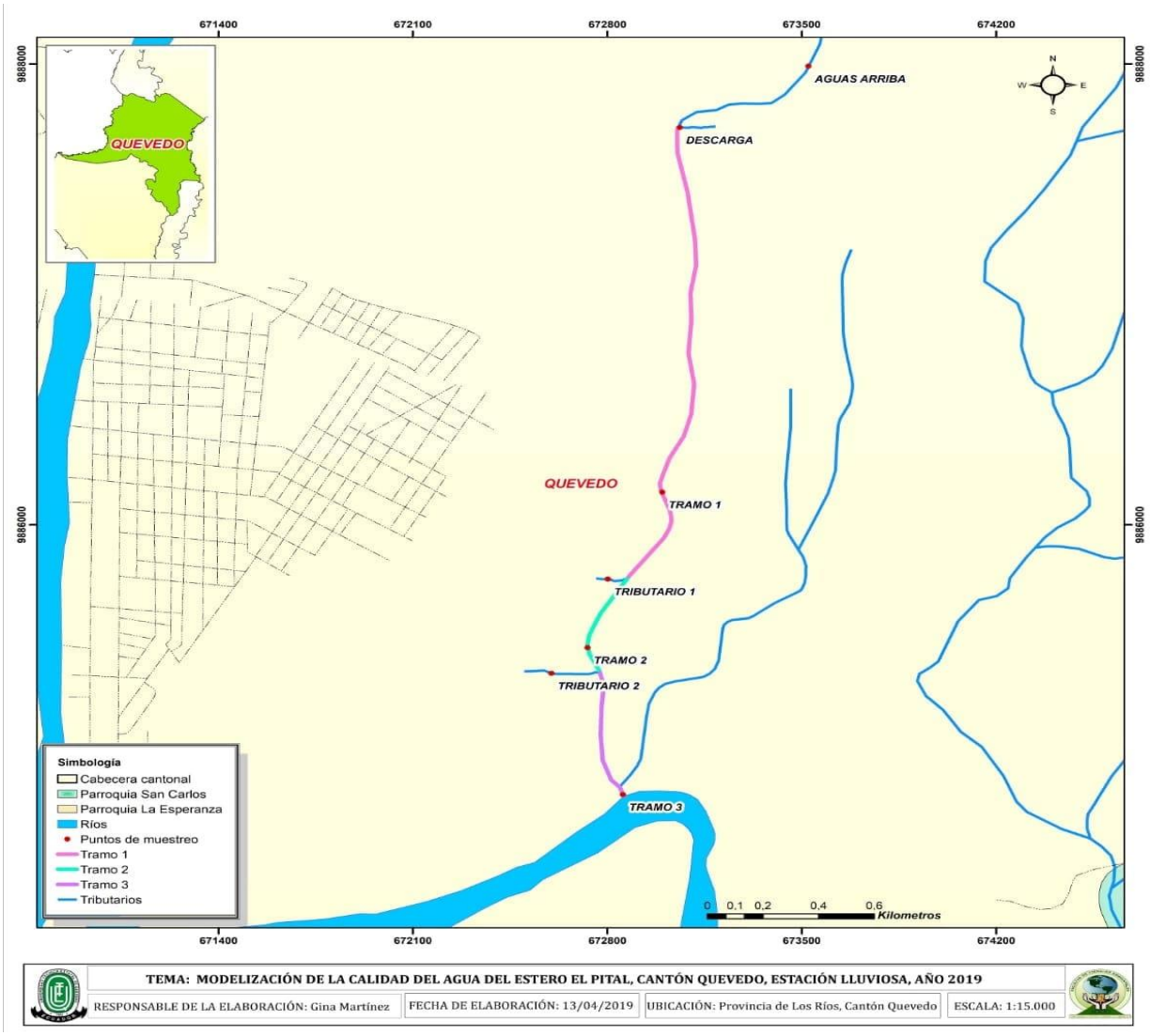
3.5.2.2. Identificación puntos de muestreo

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 3. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	**COORDENADAS UTM (m)**	
	LONGITUD E	**LATITUD N**
Aguas arriba	673524	9887990
Descarga	673061	9887724
Tramo 1	672998	9886142
Tributario 1	672802	9885765
Tramo 2	672667	9885467
Tributario 2	672599	9885356
Tramo 3	672931	9884763

Figura 2. Mapa de localización del estero el Pital



Fuente: IGM/INEC

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 llevó a cabo con la utilización de las ecuaciones del modelo de Streeter y Phelps, producto de lo cual se obtuvieron perfiles tanto del OD como de la DBO, que describen el comportamiento de tales variables en cada uno de los tramos en que se dividan los cursos de agua superficial bajo estudio. Cabe señalar que para efectos de la modelización, se utilizaron los valores medios calculados para las variables hidrodinámicas y fisicoquímicas, en la estación lluviosa. El referido modelo matemático se expresa como:

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

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

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

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

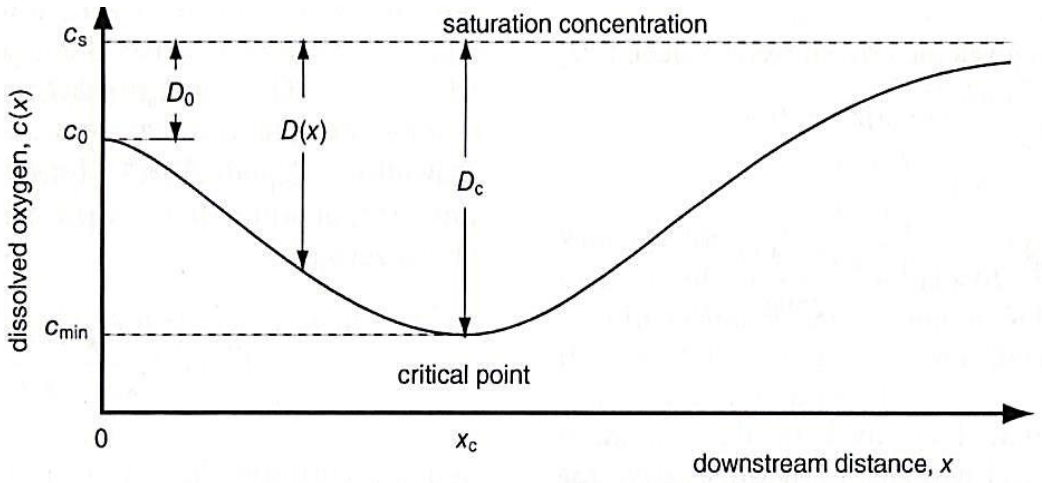
El oxígeno disuelto en cada tramo fue calculado mediante la siguiente expresión:

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

donde, OD_{sat} es el oxígeno disuelto de saturación y D_x es el déficit de oxígeno disuelto a cualquier distancia.

De modo que al final se pudieron obtener los perfiles de oxígeno disuelto para describir la curva Sag, que es la variación del OD a cierta distancia representada en la figura 3 correspondiente

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



Fuente: Sierra, 2011.

Además, las constantes de desoxigenación serán estimadas mediante el método de Thomas, y las constantes de reaireación mediante alguna de las siguientes fórmulas empíricas:

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

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.

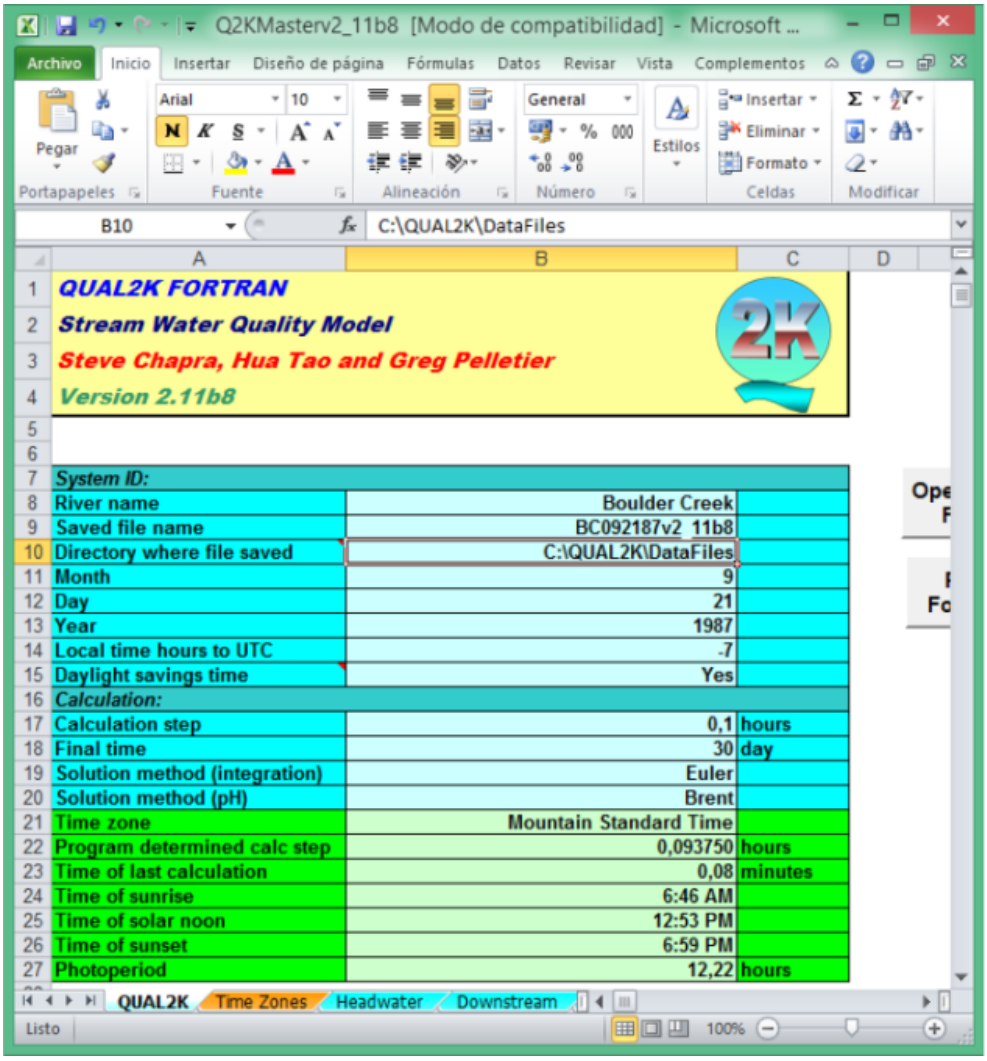
Asimismo, se efectuó la calibración del modelo de Streeter-Phelps, ajustando las constantes cinéticas de reaireación, desoxigenación y de remoción total de la DBO, k_a, k_d, y k_r, respectivamente. Este proceso de calibración paramétrica se realizó mediante una combinación del método manual, o de ensayo y error, y el método automático, para el cual se empleó la metodología GLUE (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation), que consistió 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 5000 posibles combinaciones de los parámetros a calibrar, en función de los cuales se obtendrán sendas respuestas de las variables modelizadas. De este modo, y minimizando el estadístico la función objetivo, se obtuvieron los valores calibrados de las constantes cinéticas.

La validación del modelo se desarrollará siguiendo las directrices de Sierra (2011), en el sentido de correr el modelo calibrado para predecir concentraciones de OD y DBO_5, manteniendo constantes los parámetros ya ajustados y manipulando las variables externas, principalmente las cargas contaminantes y las características hidrodinámicas del estero.

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

Finalmente, fue utilizado el software de modelización de la calidad del agua superficial QUAL2K, versión 2.12, (ver figura 4), desarrollado por la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), para realizar la simulación computacional del comportamiento del oxígeno disuelto (OD) y la demanda bioquímica de oxigeno (DBO) en el estero El Pital.

Figura 4. Interfaz del programa QUAL2K



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 3 meses de las 6 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 (es una técnica matemática computarizada que se utiliza para resolver problemas a través de la generación de variables aleatorias), 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

Para verificar el error estadístico existente entre los valores obtenidos en el campo y los obtenidos en el modelo matemático se llevó a cabo el análisis de rendimiento de la Demanda Bioquímica de Oxigeno y del Oxígeno Disuelto.

El análisis de rendimiento del OD y DBO se realizó para medir la bondad del ajuste entre los valores obtenidos en el campo con los predichos por el modelo matemático, el

rendimiento del modelo, se determinó mediante dos medidas de bondad del ajuste: el coeficiente de determinación R2 y el índice de rendimiento de Nash-Sutcliffe (NSE) como se observa en la tabla 5.

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. Recursos 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 Estacas de madera Botas Guantes de vinilo Botellas de plástico de 1 litro ½ Cronómetro Libreta de apuntes Balde de 4 l Cinta de papel o transparente	Medidor portátil Oxi 3310 SET 1 para el OD Instrumentos portátiles digitales marca Biocharge para el pH, temperatura y CE. GPS Cámara fotográfica o de celular
3.- Materiales de oficina	**4.- Software**
Computadora Útiles de oficina Pendrive	ArcGis 10.1 Statgraphics Qual2k

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

4.1.1. Características hidromorfológicas del estero El Pital

Las características hidromorfológicas del estero el Pital es el caudal, velocidad de la corriente, profundidad y ancho del cauce, datos que fueron tomados en la fase de campo de la investigación, fueron analizados sus promedios mensuales para poder interpretar los datos.

4.1.1.1. Caudal

Los datos provenientes del caudal fueron tomados en la fase de campo mediante aforos a lo largo de tres meses como febrero, marzo y abril, tiempo que corresponde a la época lluviosa, los muestreos se realizaron durante 6 campañas donde analizaron tres tramos con sus respectivos tributarios y una descarga proveniente de una industria procesadora de maracuyá.

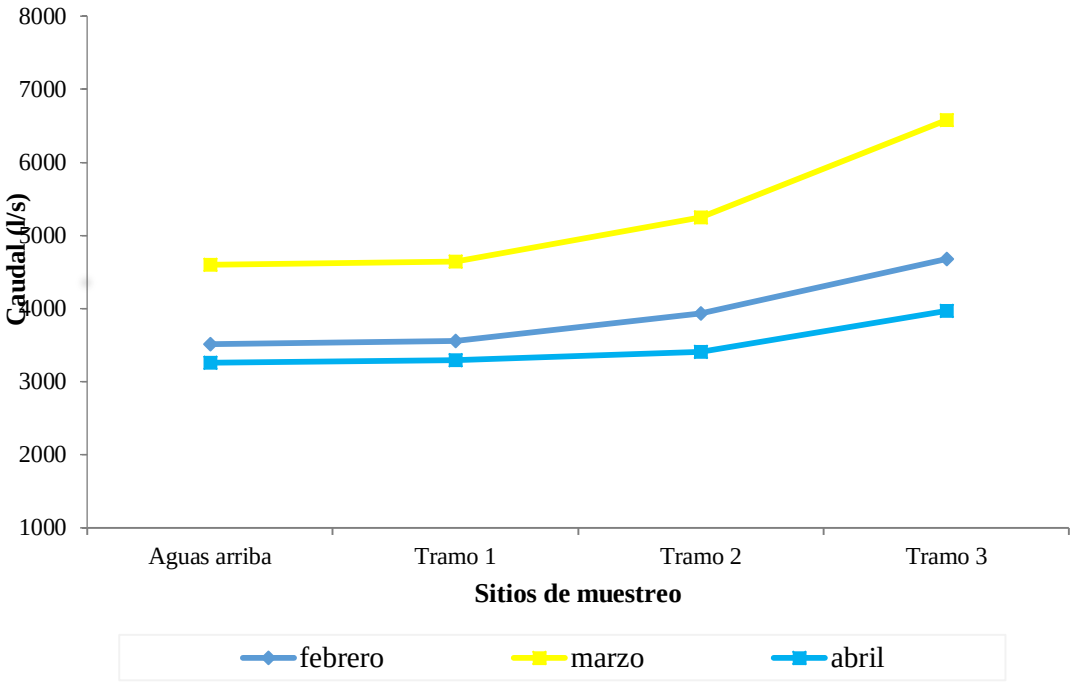
En la tabla 7 se observa los resultados de los caudales que estudiaron en 6 campañas. Los mayores caudales se registraron en la cuarta campaña del mes de marzo igual a 5488 l/s en el tramo 1, 6287 l/s en el tramo 2 y 7935 l/s en el tramo 3, mientras que, los valores mínimos se observaron en la quinta campaña en el mes de abril, los cuales fueron 2696 l/s, 2814 /s y 3270 l/s, para el tramo 1, 2 y 3, respectivamente.

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

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tributario 1	Tramo 2	Tributario 2	Tramo 3
8-Feb-19	4224	47	4271	419	4690	692	5733
22-Feb-19	2797	39	2836	368	3171	444	3616
08-Mar-19	3760	34	3794	412	4206	680	5220
22-Mar-19	5433	55	5488	800	6287	1039	7935
05-Abr-19	2662	34	2696	112	2814	301	3270
19-Abr-19	3862	34	3895	114	4010	430	4665

En el gráfico 1 se observa que el mes de marzo presenta los promedios de caudales mayores en referencia a los otros meses, el promedio aguas arriba es de 4596 l/s, 4641 l/s en el tramo 1, 5247 l/s en el tramo 2 y 6578 l/s en el tramo 3. Así también, el mes de abril presenta los promedios de caudales mínimos igual a 3262 l/s, 3296 l/s, 3412 l/s y 3968 l/s, para aguas arriba, tramo1, tramo 2 y tramo 3 respectivamente, los caudales medios se registraron en el mes de febrero.

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



4.1.1.2. Velocidad de la corriente

A continuación se observan los valores de la velocidad de la corriente obtenidos en las 6 campañas de muestreo, que fueron fundamentales para el cálculo del caudal de la corriente.

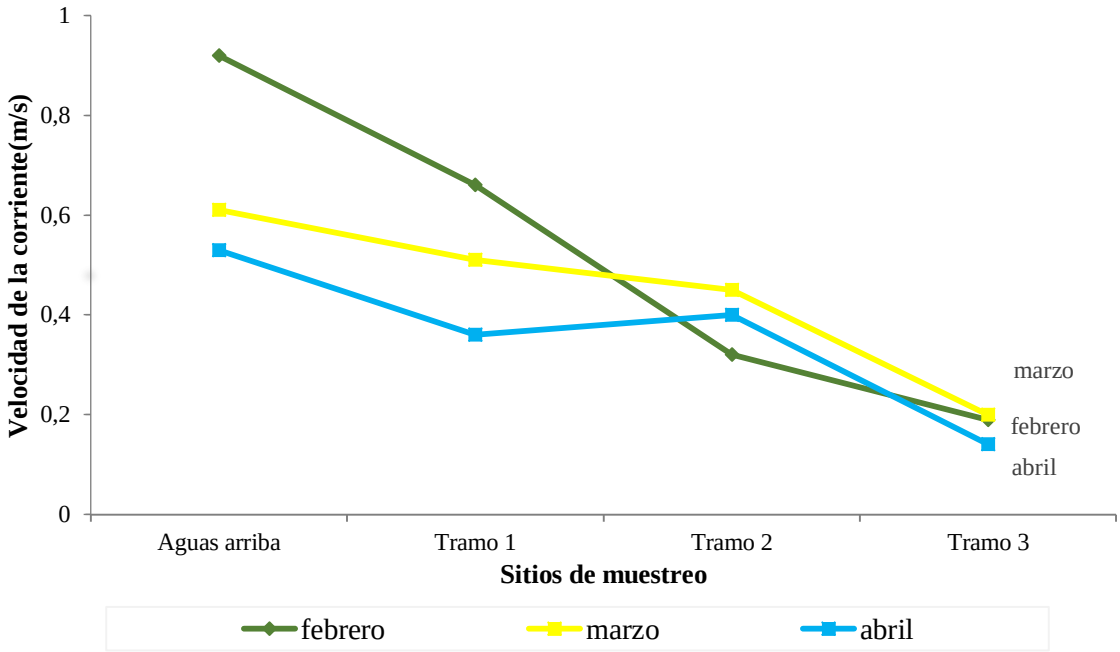
En la tabla 8 se puede observar que las velocidades más altas se presentan aguas arriba en comparación con los tramos, y los valores más bajos se observan en el tramo 3. El valor más alto en aguas arriba es de 1,07 m/s en el mes de febrero, mientras que el más bajo es 0,28 m/s en el mes de abril se cumplen las mismas condiciones el tramo 1 es de 0,87 en febrero y 0, 22 en abril.

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
8-Feb-19	1,07	0,87	0,11	0,10
22-Feb-19	0,78	0,46	0,54	0,28
08-Mar-19	0,49	0,39	0,35	0,17
22-Mar-19	0,74	0,63	0,55	0,23
05-Abr-19	0,28	0,22	0,36	0,13
19-Abr-19	0,78	0,49	0,43	0,16

En el gráfico 2 se puede apreciar que las velocidades disminuyen a medida que la corriente se acerca a la desembocadura en el río Quevedo, obteniendo las mayores velocidades promedio aguas arriba de 0,92 m/s, 0,61 m/s, 0,51 m/s para los meses de febrero, marzo y abril paralelamente. Mientras que, las menores velocidades promedio se presentan en el tramo 3 igual a 0,2 m/s, 0,2 m/s, 0,14 m/s, (febrero, marzo y abril).

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



4.1.1.3. Profundidad del cauce

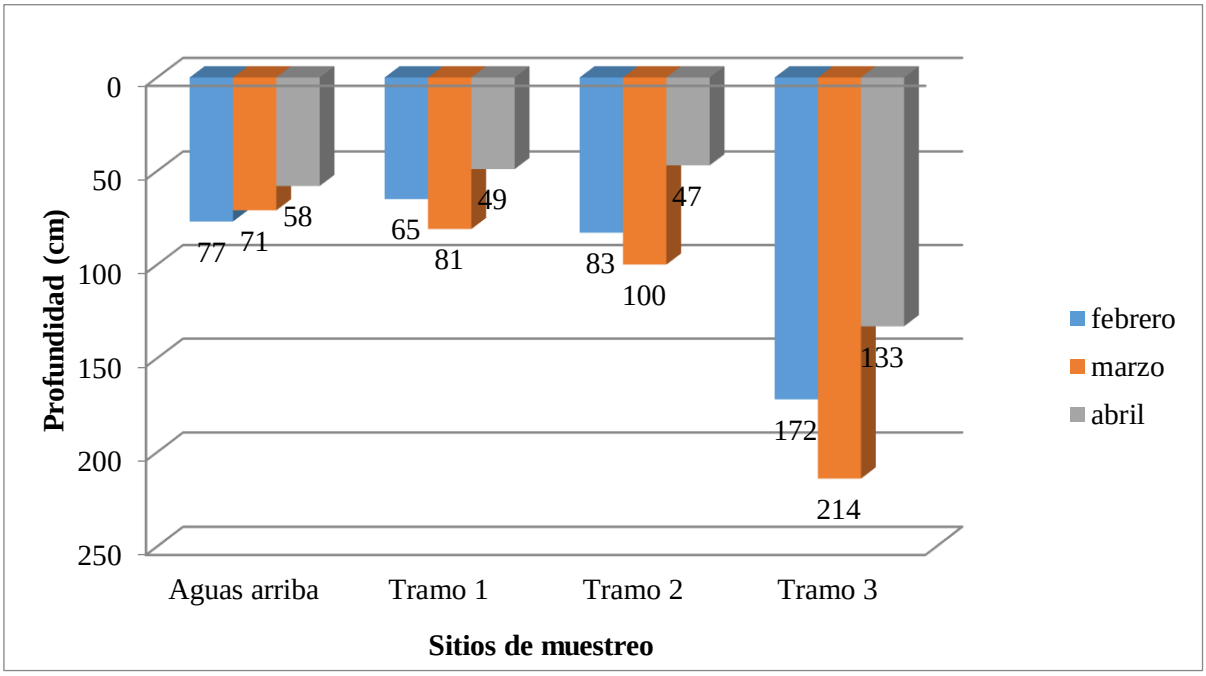
Los datos calculados para las profundidades de la corriente principal se presentan en la tabla 9 donde se puede presenciar que las mayores profundidades se presentan en el tramo 3 debido a que está cerca de desembocadura del río Quevedo. Las mayores profundidades se presentan en el mes de marzo en la cuarta campaña con 250 cm esto se debe a que esta fue la campaña más lluviosa dentro del estudio seguida de la primera campaña con 221 cm. Las profundidades menores se presentan en el tramo 1, siendo la profundidad más alta de 91 cm en la cuarta campaña

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

Fecha de campaña	Aguas arriba	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
8-Feb-19	83	73	100	221
22-Feb-19	72	56	67	122
08-Mar-19	63	71	100	179
22-Mar-19	80	91	100	250
05-Abr-19	52	43	38	145
19-Abr-19	64	55	56	122

El grafico 3 muestra que en el tramo 3 registra las mayores profundidades promedio, llegando a una profundidad máxima de 214 cm en el mes de marzo, seguido del mes de febrero y abril, con 172 cm, 133cm, respectivamente. Mientras que, el tramo 1 presenta las menores profundidades, similar a aguas arriba, siendo la mayor profundidad de 81 cm en el mes de marzo, 65 cm para febrero y 65 para marzo.

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



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

4.1.2.1. Oxígeno disuelto

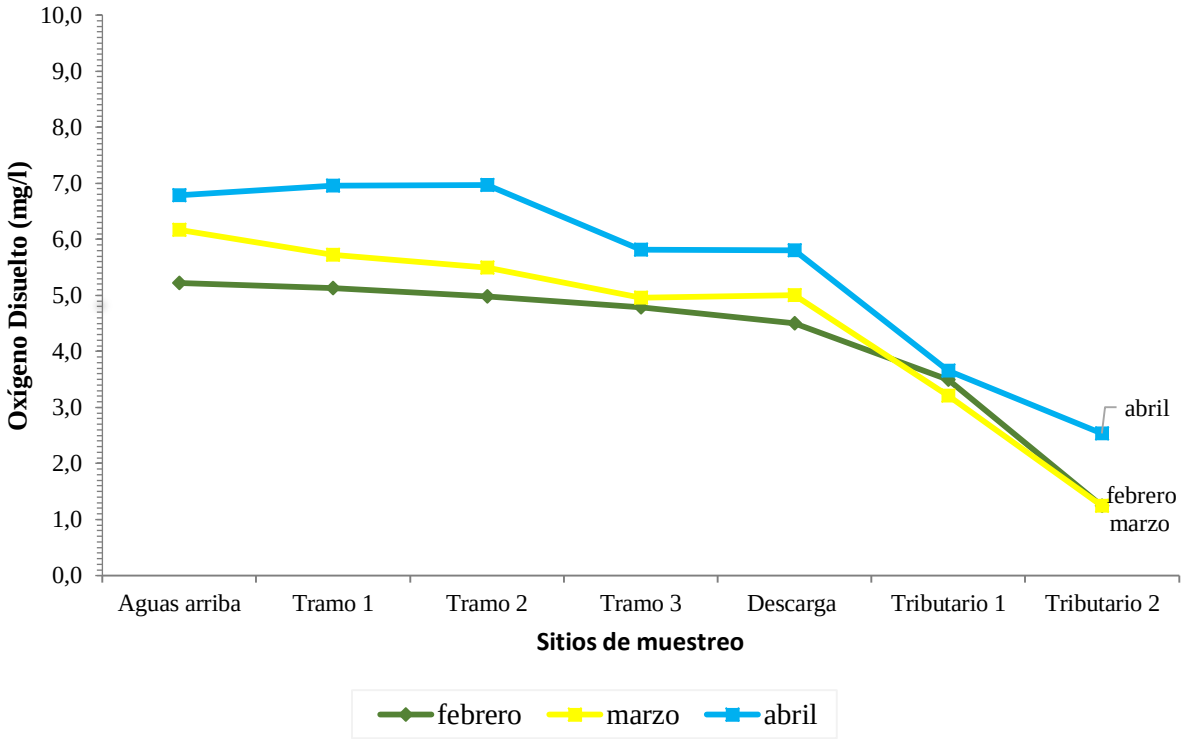
Las concentraciones de oxígeno disuelto medidos en cada uno de los puntos de muestreo en el estero El Pital, se muestran en la tabla 10 donde los niveles más bajos de oxígeno disuelto se presentan en el tributario 2, siendo el valor más bajo de 1,24 mg/l en el mes de febrero y marzo. Del mismo modo, en el tributario 1 la concentración menor es de 2,72 en la tercera campaña del mes de marzo a diferencia de los demás puntos de muestreo donde los valores de OD son mucho más altos.

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
8-Feb-19	4,34	4,79	4,24	2,89	4,98	1,24	4,66
22-Feb-19	6,10	4,22	6,02	4,12	4,98	1,24	4,91
08-Mar-19	5,43	4,60	4,53	2,72	4,59	1,24	3,56
22-Mar-19	6,90	5,50	6,90	3,70	6,4	1,24	6,36
05-Abr-19	6,11	5,42	6,96	3,02	6,90	2,06	5,72
19-Abr-19	7,45	6,33	6,46	4,25	7,03	3,02	5,89

De acuerdo al gráfico 4, se observa que los niveles más bajos de oxígeno disuelto se presentan en el tributario 2, siendo el valor más bajo de 1,24 mg/l en el mes de febrero y marzo, así mismo, en el tributario 1 se presentan valores menores de 3,2 mg/l en el mes de marzo, 3,4 mg/l en el mes de febrero y 3,7 mg/l en el mes de abril que es uno de los meses donde se presentan mayor concentración de OD en todos los puntos de muestreo.

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



4.1.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

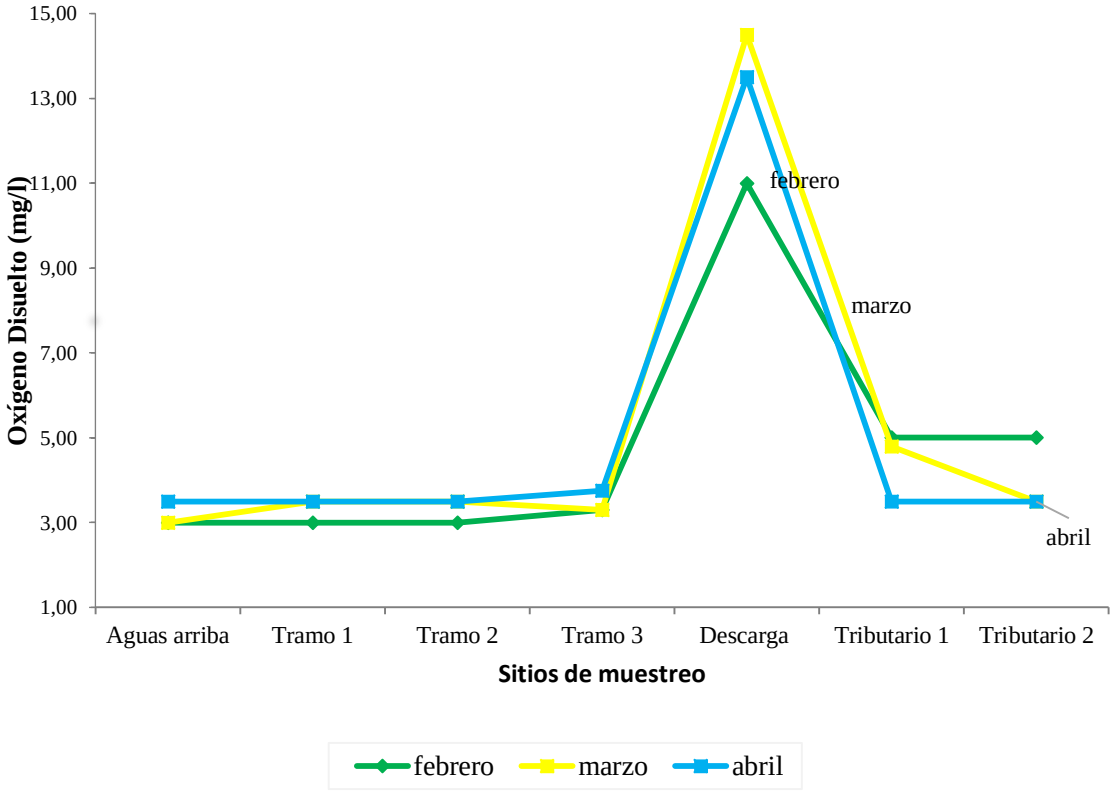
La tabla 11 presenta los valores del análisis de la DBO en cada punto de muestreo. Las concentraciones más altas de la DBO se determinaron en la descarga donde el valor más alto se presenta en la tercera campaña del mes de marzo con una concentración de 18 mg/l y 15 mg/l en la quinta campaña. Los siguientes valores más altos se obtuvieron en el tributario 1 y 2 siendo 7 mg/l y 6mg/l respectivamente ambas concentraciones en el mes de abril. Con respecto a los tramos las concentraciones se muestran homogéneas durante todas las campañas donde el valor más alto registrado es de 5mg/l en la quinta campaña del tramo 1, aguas arribas no presento variaciones significativas.

Tabla 11. DBO_5 en el estero El Pital, en mg/l

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tributario 1	Tramo 2	Tributario 2	Tramo 3
8-Feb-19	3	11	3	5	3	5	4
22-Feb-19	3	11	3	5	3	5	3
08-Mar-19	3	18	4	5	3	4	4
22-Mar-19	3	11	3	4	4	5	3
05-Abr-19	4	15	5	7	4	6	3
19-Abr-19	3	12	2	7	3	6	4

En el gráfico 5 se muestra que las concentraciones promedio más altas de la DBO se registraron en la descarga siendo el valor más alto en marzo con 14,50 mg/l y el mínimo de 11 mg/l en el mes de febrero. En relación a los tributarios 1 y 2, los valores más altos se dan en el primero proveniente del Sector Promejoras (5 mg/l) y en caso del tributario 2, el valor mayor en el mes de febrero (5 mg/l), del sector Gustavo Campi. Las concentraciones menores se registraron en los demás punto de muestreo donde los datos no presentan una variación significativa oscilando ente valores de 3 y 4 durante todas las campañas.

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



4.1.2.3. pH

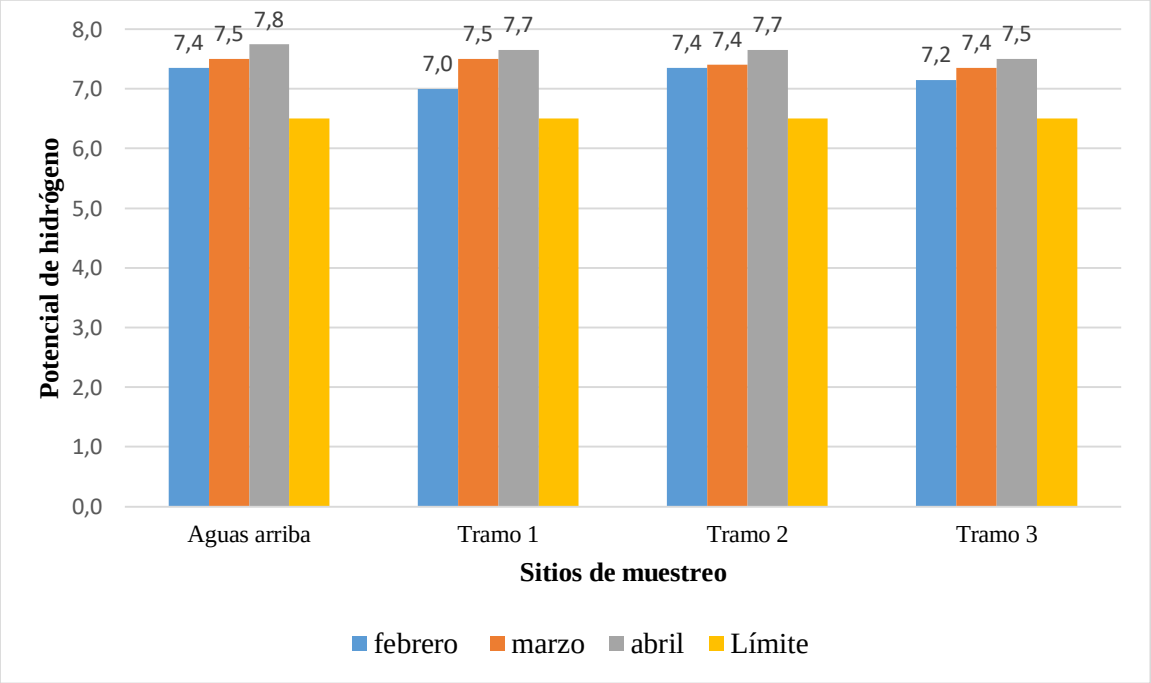
Las mediciones de pH, correspondiente al tramo 1, tramo 2, tramo 3, aguas arriba, descarga principal, tributario 1 y tributario 2, se muestran en la tabla 12 donde se observa que el estero posee un potencial de hidrógeno dentro de un rango de 6,8 a 8 siendo un pH parcialmente neutro establecido en la 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 todas las campañas dentro de todos los puntos de muestreo no presentan una diferencia significativa en relación a la neutralidad.

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
8-Feb-19	7,2	6,8	6,7	6,7	7,3	7,2	7,1
22-Feb-19	7,5	7,3	7,4	7,2	7,4	7	7,2
08-Mar-19	7,6	7,3	7,5	7,2	7,3	7	7,3
22-Mar-19	7,4	7,4	7,5	7,2	7,5	7,3	7,4
05-Abr-19	7,7	7,6	7,7	7,4	7,7	7,2	7,5
19-Abr-19	7,8	7,4	7,6	7,4	7,6	7,3	7,5

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.

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



4.1.2.4. Conductividad eléctrica

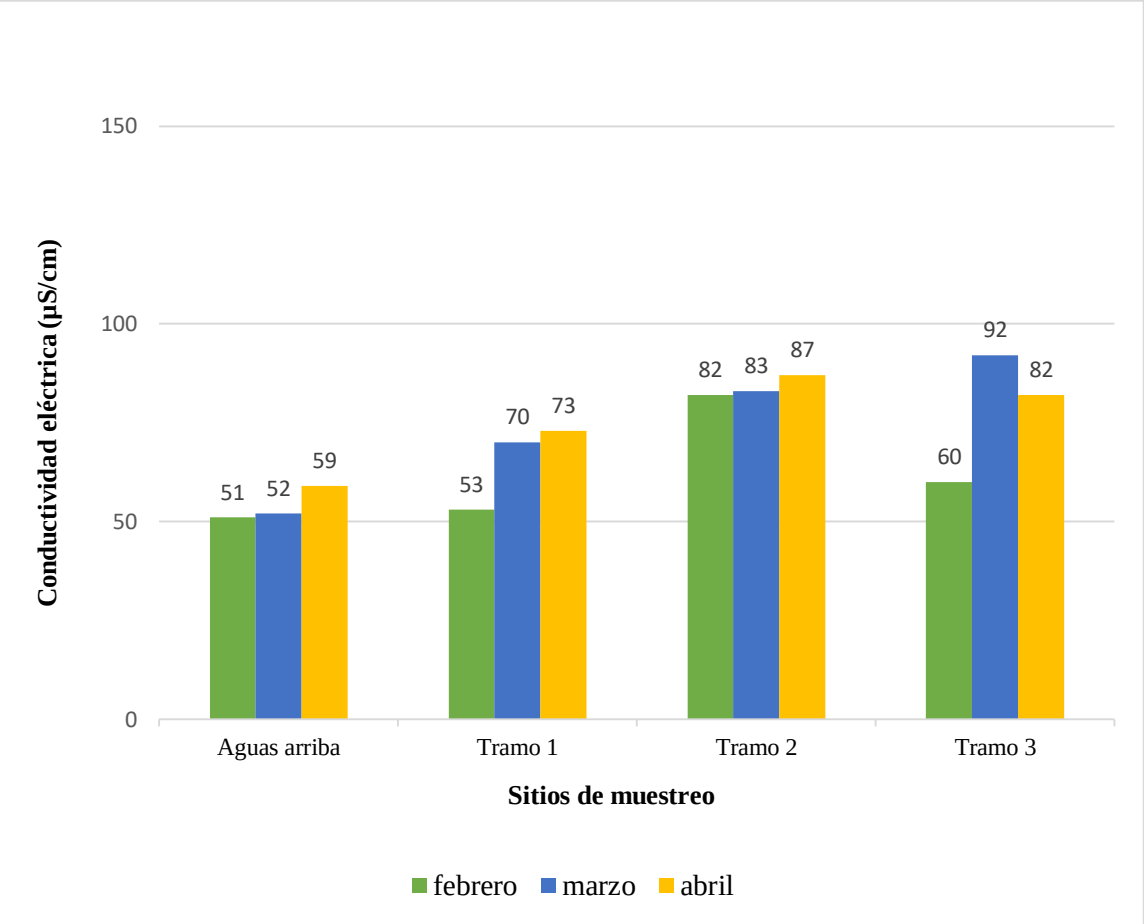
En la tabla 13 se observan las mediciones en relación a CE (conductividad eléctrica), donde los mayores valores se dan en la descarga llegando a un valor de 251 µS/cm en la quinta campaña del mes de abril. Los tributarios 1 y 2 al igual que la descarga presentan valores altos en relación a la corriente principal, en el tributario 1 la concentración es de 176 µS/cm en la segunda campaña de febrero y en el tributario 2 es de 169 µS/cm en la primera campaña del mes de febrero. En los tramos 1, 2 y 3, los valores más altos fueron en la quinta campaña de abril siendo 087 µS/cm, 104 µS/cm y 114 µS/cm, respectivamente. Mientras que los valores más bajos se encuentran en aguas arriba durante todas las campañas.

Tabla 13. Conductividad eléctrica en el estero El Pital, en µS/cm

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga	Tramo 1	Tributario 1	Tramo 2	Tributario 2	Tramo 3
8-Feb-19	046	137	053	161	082	169	060
22-Feb-19	056	219	069	176	083	168	097
08-Mar-19	054	187	070	170	082	168	087
22-Mar-19	050	152	059	164	069	163	050
05-Abr-19	062	251	087	168	104	160	114
19-Abr-19	055	131	070	166	086	104	060

En el gráfico 7 se observa que los valores promedio más altos de conductividad eléctrica se dan en el tramo 2 y 3, con valores máximos de 87 µS/cm (abril) y 92 µS/cm (marzo), respectivamente. Los valores menores de CE se dan en aguas arriba, registrando valores de 51 µS/cm (febrero).

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



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)

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 ($\boldsymbol{k_a}$)

Meses	***Tramo 1***		***Tramo 2***		***Tramo 3***	
	Ka calculada	***Ka calibrada***	***Ka calculada***	***Ka calibrada***	***Ka calculada***	***Ka calibrada***
febrero	4,661	0,503	1,309	0,194	0,295	2,292
marzo	4,061	0,527	1,437	0,128	0,254	0,102
Abril	5,645	0,987	3,486	11,840	0,306	0,012

Se puede observar en la tabla 14 que los valores más altos de la constante de reaireación calculada con la ecuación de Lanbeing y Durum, se registran el mes de abril en los tres tramos mientras que en el mes de febrero y marzo los valores no presentan mayor diferencia. Las constantes calibradas en el tramo 1 son menores que las constantes calculadas durante los tres meses. En el tramo 2 se presenta el mismo comportamiento que el anterior tramo, mientras que en el tramo 3 las constantes calibradas son menores a comparación con las calculadas.

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 (Hidroscience, 1971). En la tabla 15 se puede observar los valores calculados por la fórmula empírica Hydroscience y los calibrados mediante Statgraphic:

Tabla 15. Valores calculados y calibrados de la constante de desoxigenación ($\boldsymbol{k_d}$)

Meses	*Tramo 1*		*Tramo 2*		*Tramo 3*	
	Kd calculada	***Kd calibrada***	***Kd calculada***	***Kd calibrada***	***Kd calculada***	***Kd calibrada***
febrero	0,651	0,640	0,595	0,673	0,441	0,354
marzo	0,654	0,605	0,175	0,465	0,130	0,287
Abril	0,829	0,115	0,844	0,130	0,538	0,479

Como se observa, los valores calculados y calibrados más altos de oxidación de materia orgánica (k_d) se dan en el tramo 1 y 2, mientras que el tramo 3 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 $\boldsymbol{k_r}$)

Meses	*Tramo 1*		*Tramo 2*		*Tramo 3*	
	Kr calculada	***Kr calibrada***	***Kr calculada***	***Kr calibrada***	***Kr calculada***	***Kr calibrada***
febrero	-3,441	0,998	-7,301	1,000	-5,765	0,404
marzo	-5,141	0,997	-11,099	0,999	-7,547	0,998
Abril	-1,147	0,731	-6,335	1,499	-3,055	0,502

En la tabla 16 se observa que en los tramos 1, 2 y 3 se presentan valores calibrados mayores en relación a los calculados, el mes de marzo k_r adquirió un valor similar en los tres tramos, mientras que para los meses de febrero y abril la constante calibrada en el tramo 3 disminuye en relación con los tramos anteriores.

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

A continuación se detalla la variación y comportamiento del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno durante los tres meses de muestreo como febrero, marzo y abril durante las 6 campañas en todas las secciones como aguas arriba, tributarios y puntos de muestreo. 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 febrero

En la tabla 17, se muestran los valores de entrada para el mes de febrero, 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 febrero

	Q (m^3/s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (ºC)
Corrientes aguas arriba	3,51	3,6	5,22	24,5
Descarga tramo 1	0,043	16,06	4,5	27,55
Tributario tramo 2	0,394	6	3,5	27,7
Tributario tramo 3	0,568	6	1,24	27,7

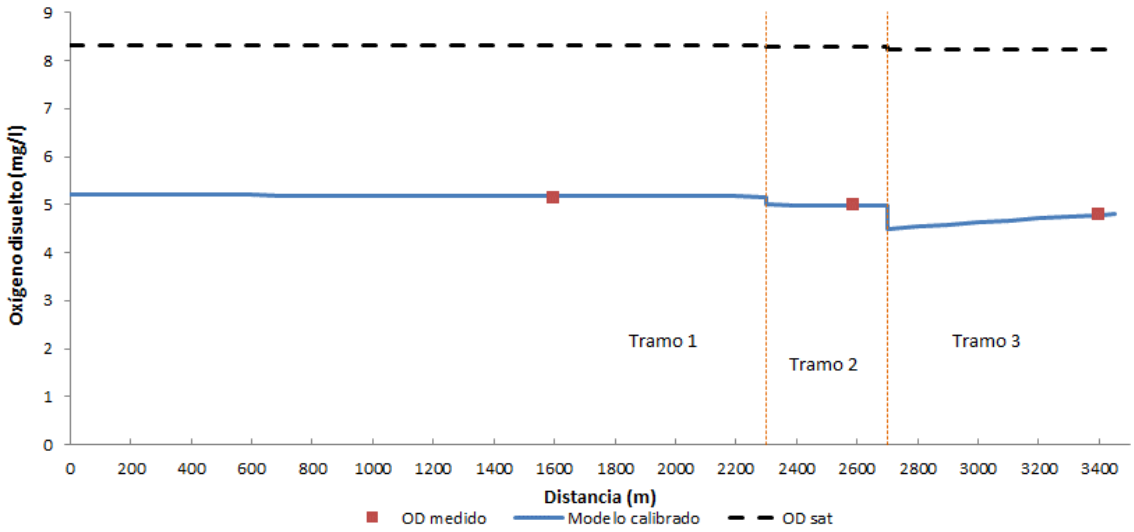
En la tabla 18 se observan las condiciones iniciales calculadas para cada tramo en el mes de febrero, los cuales fueron empleados en el modelo matemático de Streeter-Phelps, para finalmente obtener los perfiles de oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno, tanto del ajuste inicial como del modelo calibrado.

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

Tramo	L_o (mg/l)	OD_0 (mg/l)	T_o (°C)	OD_{SAT} (mg/l)	D_o (mg/l)
1	3,75	5,21	24,54	8,33	3,12
2	3,79	5,00	24,86	8,28	3,28
3	4,02	4,50	25,22	8,23	3,73

El gráfico 8 muestra el perfil del oxígeno disuelto en el mes de febrero, incluyendo el valor de saturación del oxígeno:

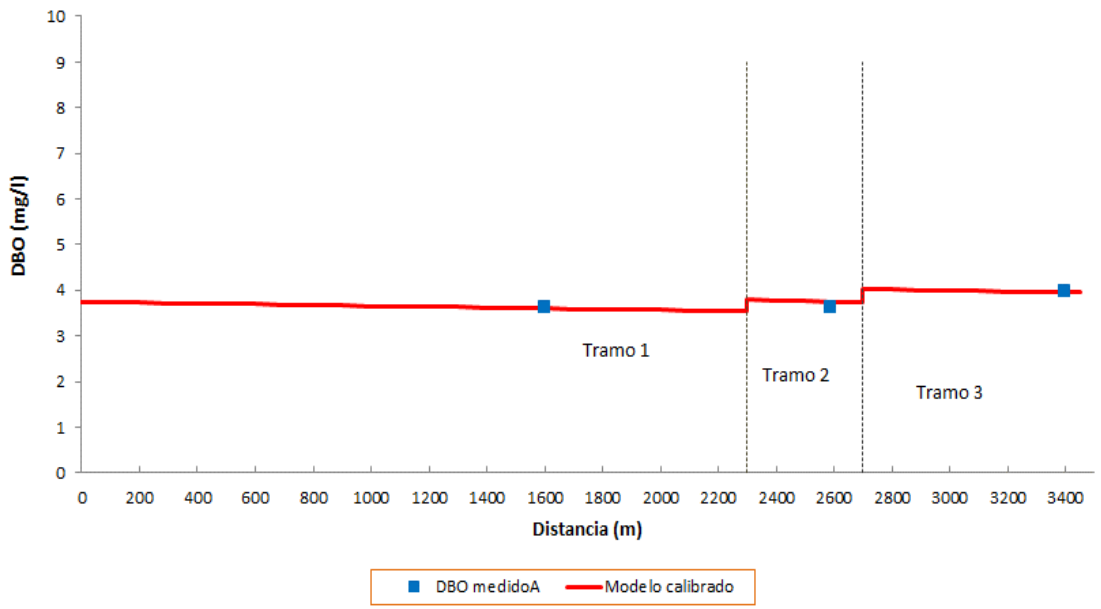
Gráfico 8. Perfil del OD del mes de febrero



La curva del gráfico 8 destaca la leve variación del oxígeno disuelto a lo largo de la corriente del estero El Pital hasta su desembocadura en el río Quevedo, con valores oscilando muy cercanamente a los 5 mg/l, pero muy lejanos a los valores de saturación. Además, se observa que, aunque tampoco de manera muy significativa, el canal del sector Gustavo Campi, en el inicio del tramo tres, provoca un mayor descenso de los niveles de oxígeno en El Pital, igual que la descarga industrial al principio del tramo uno.

El gráfico 9 representa la variación de la DBO a lo largo de la corriente del estero El Pital durante el mes de febrero:

Gráfico 9. Perfil de la DBO del mes de febrero



La variación de la DBO representada en la gráfica 9, en concordancia con el perfil del oxígeno disuelto, hace evidente un mayor impacto de la carga orgánica procedente de los canales de los sectores Promejoras y Gustavo Campi; sin embargo, la variación es mínima en torno a los 4 mg/l, lo cual se explica en términos de una gran dilución de la carga orgánica por la precipitaciones características de la estación lluviosa en la ciudad de Quevedo.

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 relación al OD y DBO, donde el error mayor fue de 4,01% en el tramo 2, porcentaje que está dentro del límite permitido que es 10 %

Tabla 19. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxigeno del mes de febrero %

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
OD	0,998	0,002	0,001
DBO	0,942	4,012	1,231

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

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 marzo.

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

	Q (m^3/s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (ºC)
Corrientes aguas arriba	4,596	3,6	6,16	26,7
Descarga tramo 1	0,044	26,28	4,6	28,5
Tributario tramo 2	0,606	4,8	3,21	27,6
Tributario tramo 3	0,86	4,8	1,24	27,7

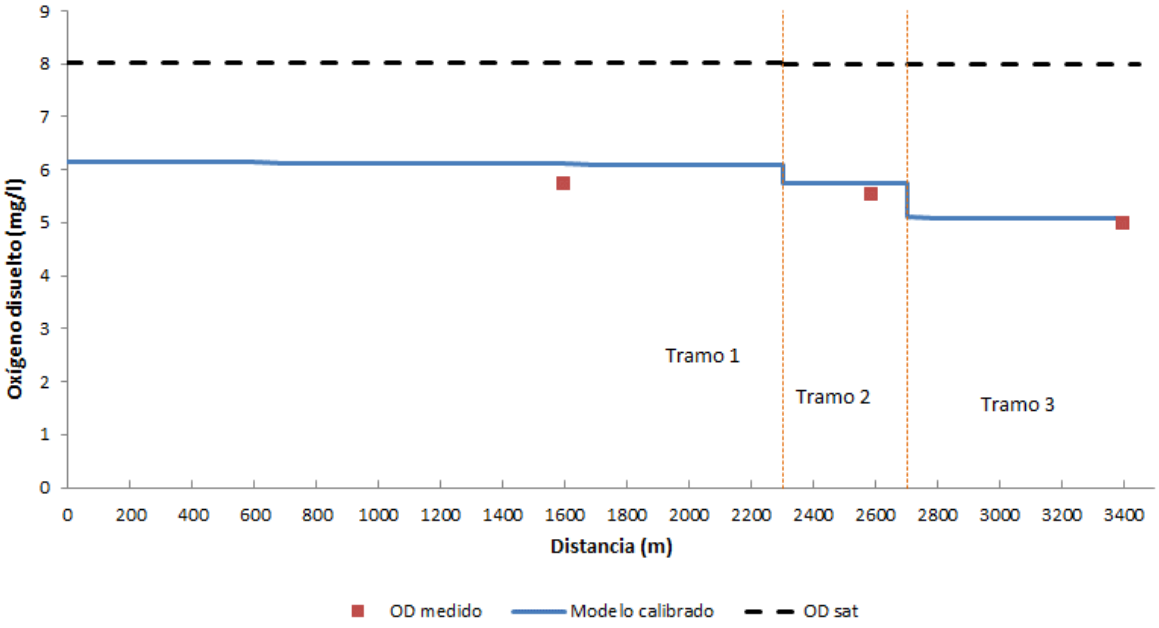
En la tabla 21 se puede observar las condiciones iniciales determinadas para el mes de marzo en los tramos segmentados, que formaron parte en la aplicación del modelo matemático y finalmente obtener los perfiles del OD y de la DBO.

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

Tramo	L_o (mg/l)	OD_0 (mg/l)	T_o (°C)	OD_{SAT} (mg/l)	D_o (mg/l)
1	3,82	6,15	26,72	8,01	1,86
2	3,76	5,75	26,82	7,99	2,24
3	3,87	5,10	26,94	7,98	2,88

El gráfico 10 muestra el perfil del oxígeno disuelto en el mes de marzo, incluyendo el valor de saturación del oxígeno:

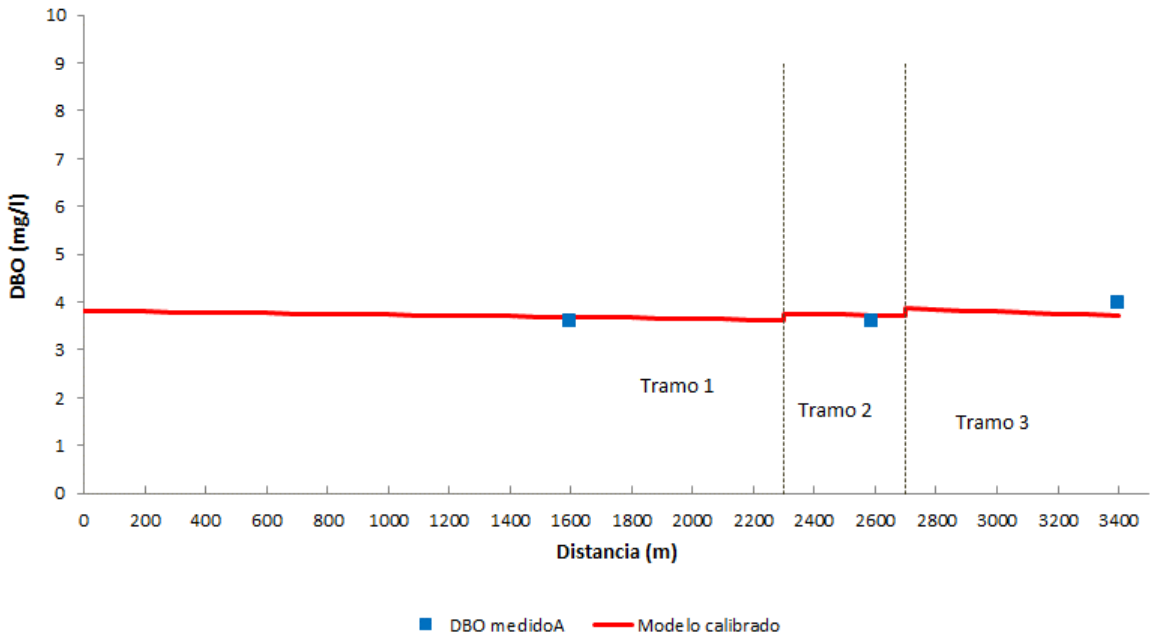
Gráfico 10. Perfil del OD del mes de marzo



En el gráfico 10 se observa una variación del oxígeno disuelto a lo largo de los tres tramos del estero El Pital hasta su desembocadura en el río Quevedo, con valores oscilando muy cercanamente a los 6 mg/l, valor que se acerca a los niveles de saturación. Además, se observa que, al inicio del tramo 3 se presenta un descenso de los niveles de oxígeno disuelto mayor que al inicio del tramo 2 influenciado por el canal Promejoras. El comportamiento de esta curva es similar al mes de febrero.

El gráfico 11 representa la variación de la DBO a lo largo de la corriente del estero El Pital durante el mes de marzo:

Gráfico 11. Perfil de la DBO del mes de marzo



La gráfica 11 en concordancia con el perfil del oxígeno disuelto, hace evidente un mayor impacto de la carga orgánica procedente de los canales de los sectores Promejoras y Gustavo Campi; sin embargo, la variación es mínima en torno a los 4 mg/l, valores muy similares a los resultados del mes de febrero.

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 valores menores al 10% que es el límite permitido, donde los errores más altos fue en el OD para el tramo 1 y 2 siendo 6,28% y 4,16 % respectivamente.

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

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
OD	6,284	4,167	2,127
DBO	2,283	3,732	3,716

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

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 abril.

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

	Q (m^3/s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (ºC)
Corrientes aguas arriba	3,262	4,2	6,78	27,1
Descarga tramo 1	0,034	19,71	5,87	28,05
Tributario tramo 2	0,113	8,4	3,63	27,5
Tributario tramo 3	0,366	7,2	2,54	27,2

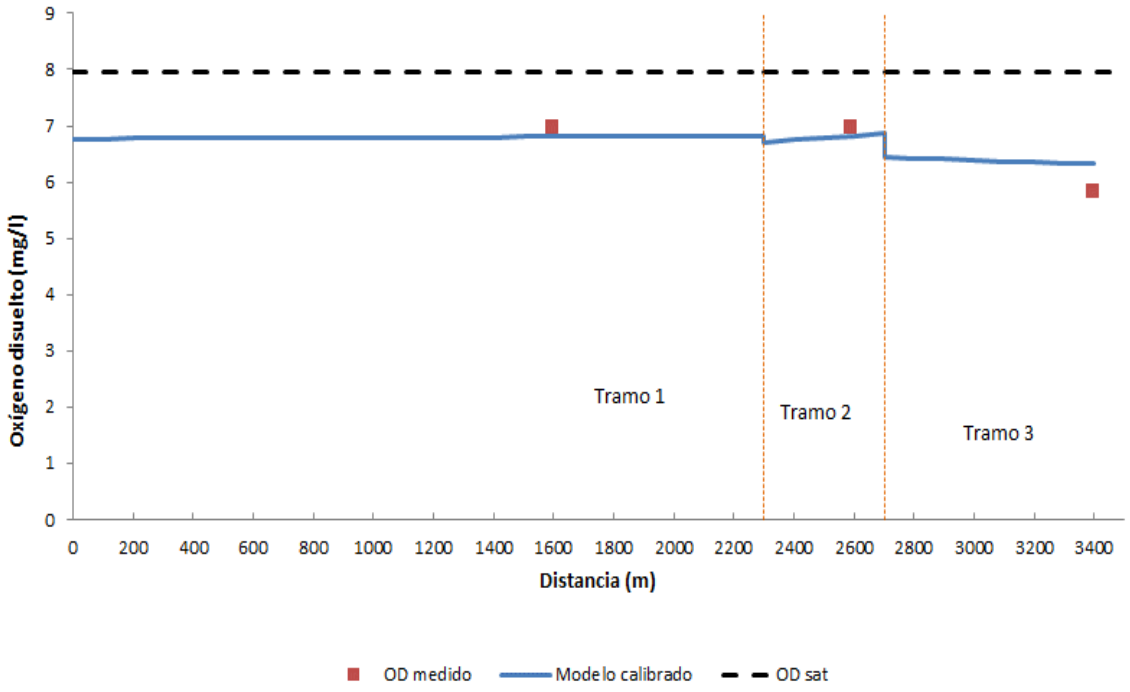
En la tabla 24 se observan las condiciones iniciales para cada tramo en el mes de abril, que sirvieron para la aplicación del modelo matemático y obtener los perfiles de oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno, tanto para el ajuste inicial como del modelo calibrado.

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

Tramo	L_o (mg/l)	OD_0 (mg/l)	T_o (°C)	OD_{SAT} (mg/l)	D_o (mg/l)
1	4,36	6,77	27,11	7,95	1,18
2	4,27	6,71	27,12	7,95	1,24
3	4,49	6,44	27,13	7,95	1,51

El gráfico 12 muestra el perfil del oxígeno disuelto en el mes de abril, incluyendo el valor de saturación del oxígeno:

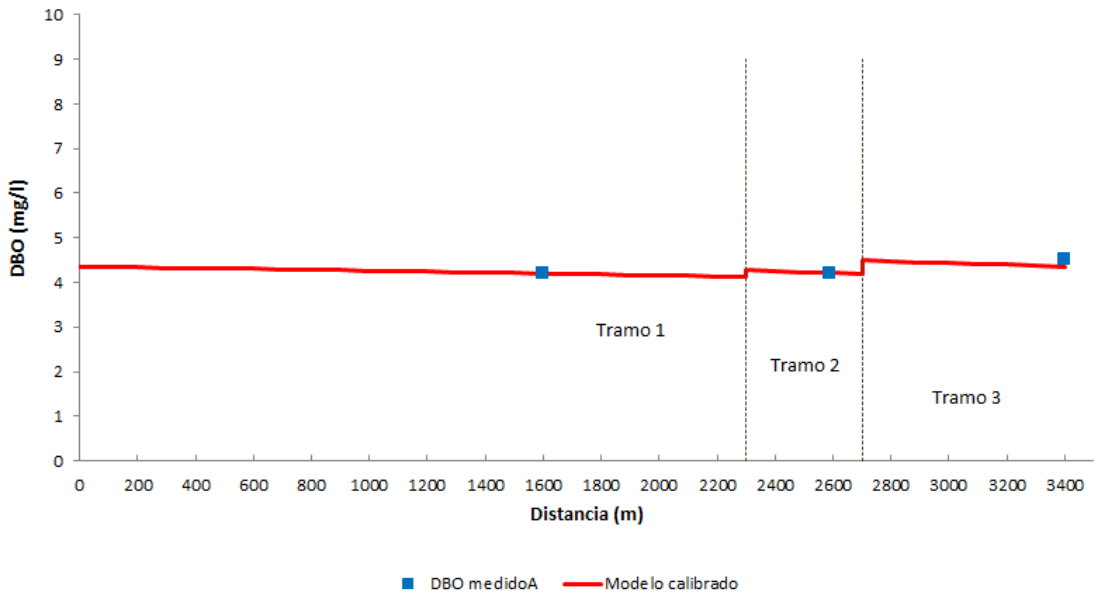
Gráfico 12. Perfil del OD del mes de abril



Se observa en el gráfico 12, el perfil del OD para el mes de abril, donde las concentraciones en el tramo 1 tienden a bajar a medida que llega al final del tramo 1 pero de una manera no muy significativa, con valores oscilando muy cercanamente a los 7 mg/l, valor que se acerca a los niveles de saturación. Además, se observa que, al inicio del tramo 3 se presenta un descenso de los niveles de oxígeno disuelto mayor que al inicio del tramo 2. Esto se produce por el aporte de OD del tributario 2 proveniente del sector Gustavo Campi.

El gráfico 13 representa la variación de la DBO a lo largo de la corriente del estero El Pital durante el mes de marzo:

Gráfico 13. Perfil de la DBO del mes de abril



En el caso del perfil de la DBO que se observa en el gráfico 13, la curva muestra una disminución moderada al final del tramo 1, y luego incrementa a lo largo del tramo 2 en, hace evidente un mayor impacto de la carga orgánica procedente de los canales de los sectores Promejoras y Gustavo Campi; sin embargo, la variación es mínima en torno a los 4, 5 mg/l, valores muy similares a los resultados de los meses anteriores.

En la tabla 25 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 valores menores al 10% que es el límite permitido, donde los errores más altos fue en el OD para el tramo 1 y 2 siendo 2,29% y 8,37 % respectivamente.

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

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
OD	2,298	2,157	8,378
DBO	0,021	0,394	0,514

4.1.3.2.4. Análisis de rendimiento

En la tabla 26 se muestra el análisis de rendimiento del modelo calibrado de Streeter-Phelps durante los 3 meses de estudio como febrero, marzo y abril. La relación que existe para el parámetro OD entre los valores observados en la corriente y los valores predichos por el modelo, son valores iguales a 1,0 tanto en el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe como en el coeficiente de determinación lo que significa que tuvieron un ajuste óptimo.

Tabla 26. Rendimiento del modelo de Streeter-Phelps con respecto al OD

Tramo	Origen datos	Meses			Media	Error	
		FEB	MAR	ABR		NSE	R2
T1	Medición	5,13	5,72	6,96	5,94	0,902	0,922
	Predicción	5,17	6,10	6,80	6,02		
T2	Medición	4,98	5,50	6,97	5,82	0,965	0,974
	Predicción	4,98	5,73	6,82	5,84		
T3	Medición	4,79	4,96	5,81	5,19	0,340	1,000
	Predicción	4,79	5,06	6,43	5,43		
Media	Medición	4,97	5,39	6,58			
	Predicción	4,98	5,63	6,68			
Error	NSE	0,998	0,770	0,520			
	R2	0,995	0,995	0,999			

Por otro lado, en la tabla 27 se muestra el rendimiento del modelo para la DBO que al igual que el OD también presenta un valor óptimo iguales a 1,0 en todos los tramos.

Tabla 27. Rendimiento del modelo de Streeter-Phelps con respecto a la DBO

Tramo	Origen datos	Meses			Media	Error	
		FEB	MAR	ABR		NSE	R2
T1	Medición	3,60	3,60	4,20	3,80	0,973	0,984
	Predicción	3,60	3,68	4,19	3,82		
T2	Medición	3,60	3,60	4,20	3,80	0,835	0,999
	Predicción	3,75	3,73	4,21	3,90		
T3	Medición	4,00	4,00	4,50	4,17	0,478	0,907
	Predicción	3,95	3,71	4,48	4,05		
Media	Medición	3,73	3,73	4,30			
	Predicción	3,77	3,71	4,29			
Error	NSE	0,954	0,188	0,993			
	R2	0,818	0,013	0,996			

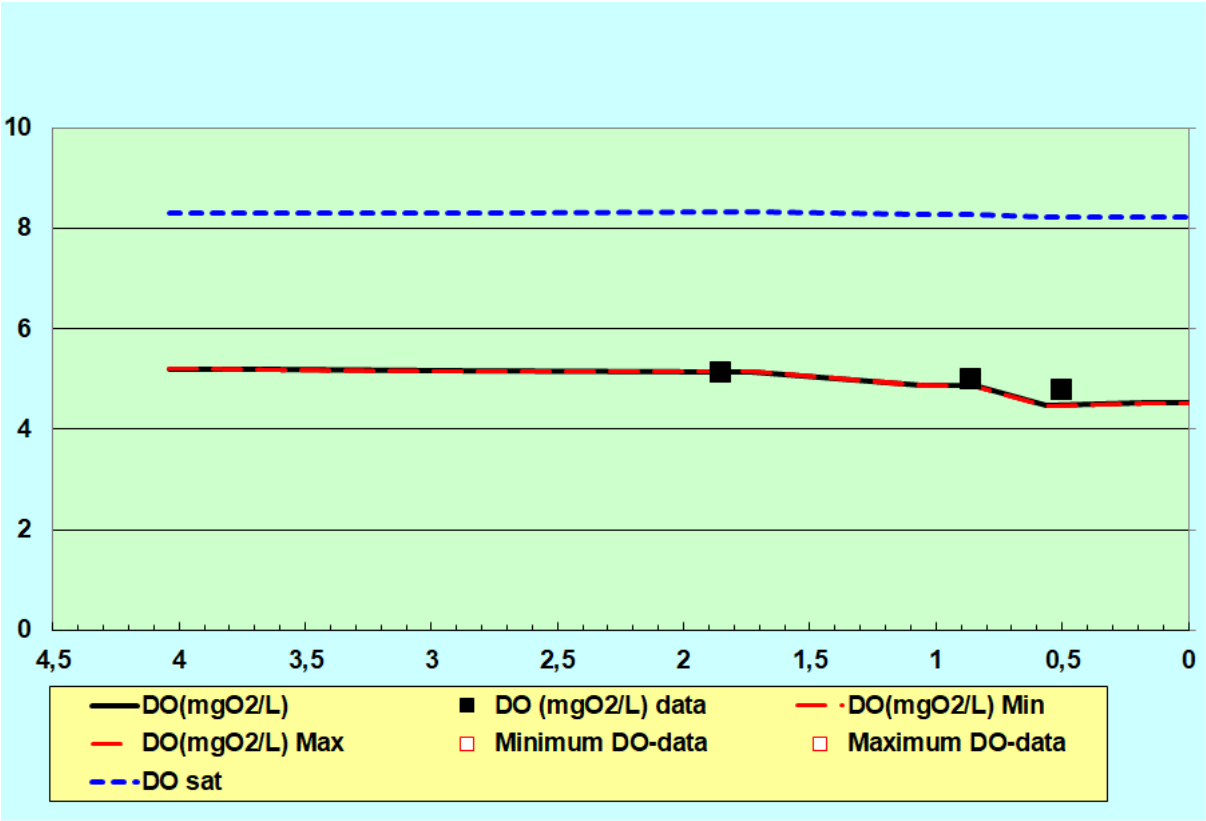
4.1.4. Simulación de la calidad del agua del estero El Pital con QUAL2K

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 reaireación 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 febrero

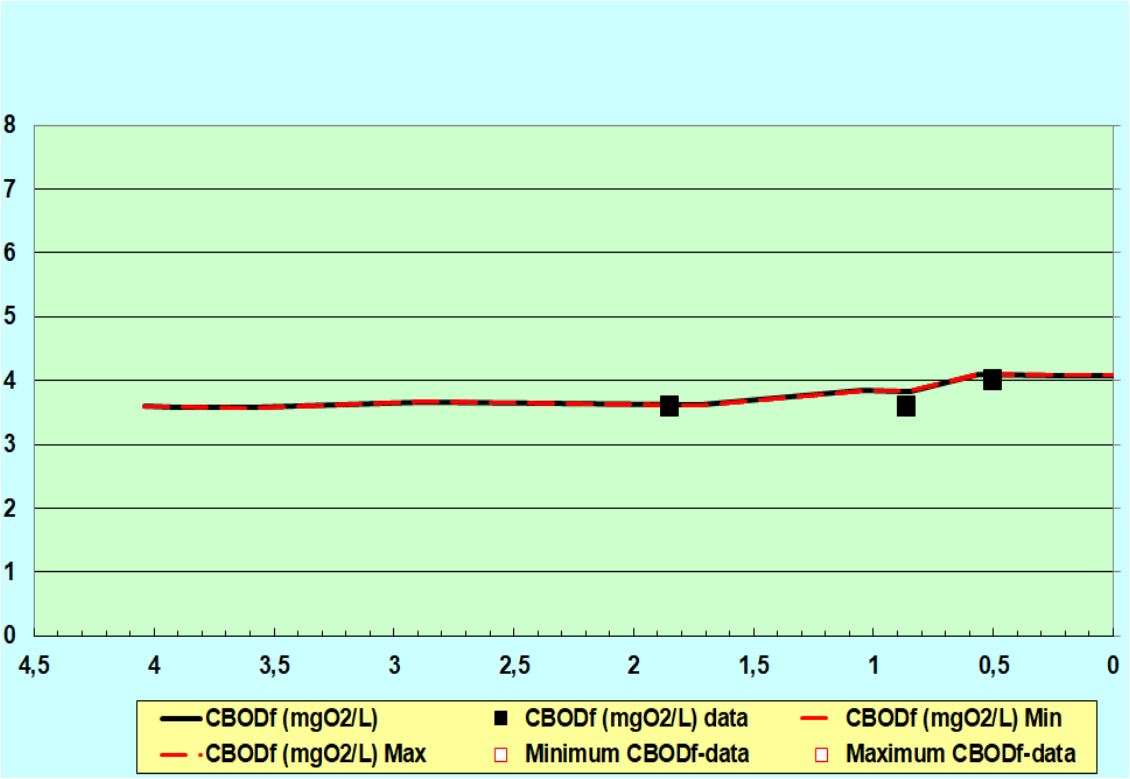
La simulación de la calidad del agua en términos del OD y la DBO a través del programa QUAL2K para el mes de febrero, se muestra en los gráfico 14 y 15, respectivamente:

Gráfico 14. Simulación del OD con QUAL2K del mes de febrero



En el gráfico 14 se puede observar la simulación en relación al OD con el modelo QUAL2K para el mes de febrero, donde se observa que el ajuste es óptimo para todos los tramos, debido al acercamiento de los valores observados en campo y los predichos por el programa.

Gráfico 15. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de febrero

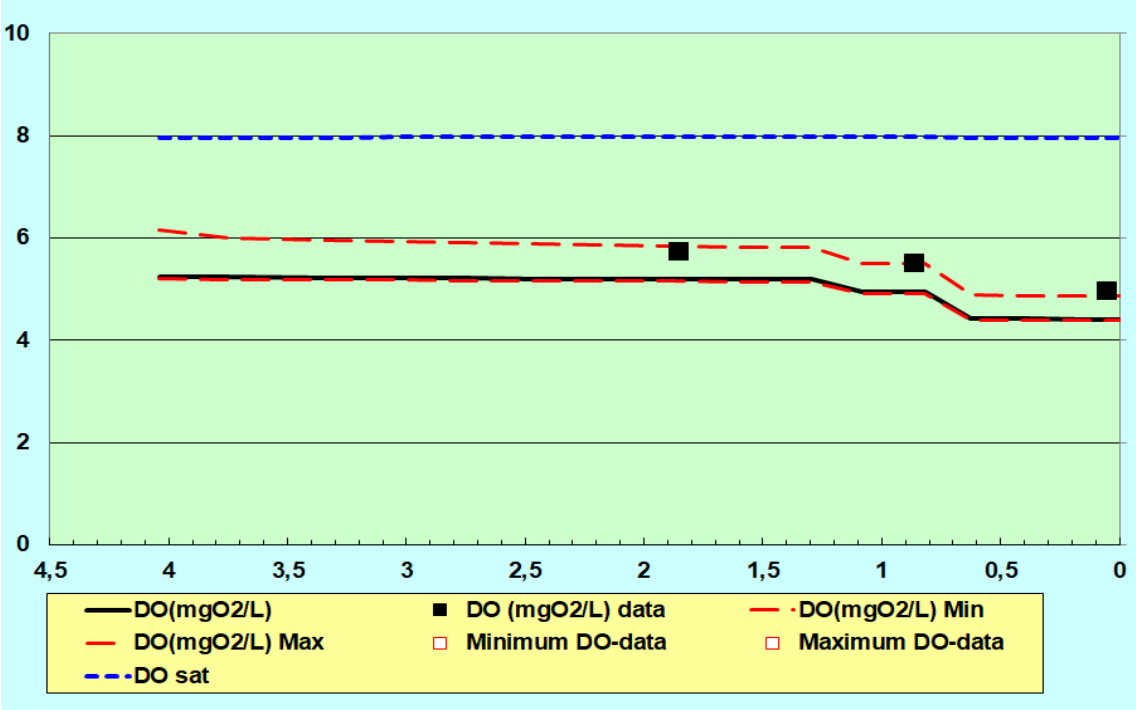


En relación con la simulación de la DBO en el mes de febrero con QUAL2K, mostrado en el gráfico 15, se observa que presenta un buen ajuste de los datos observados en campo con los predichos por el programa, en todos los tramos.

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

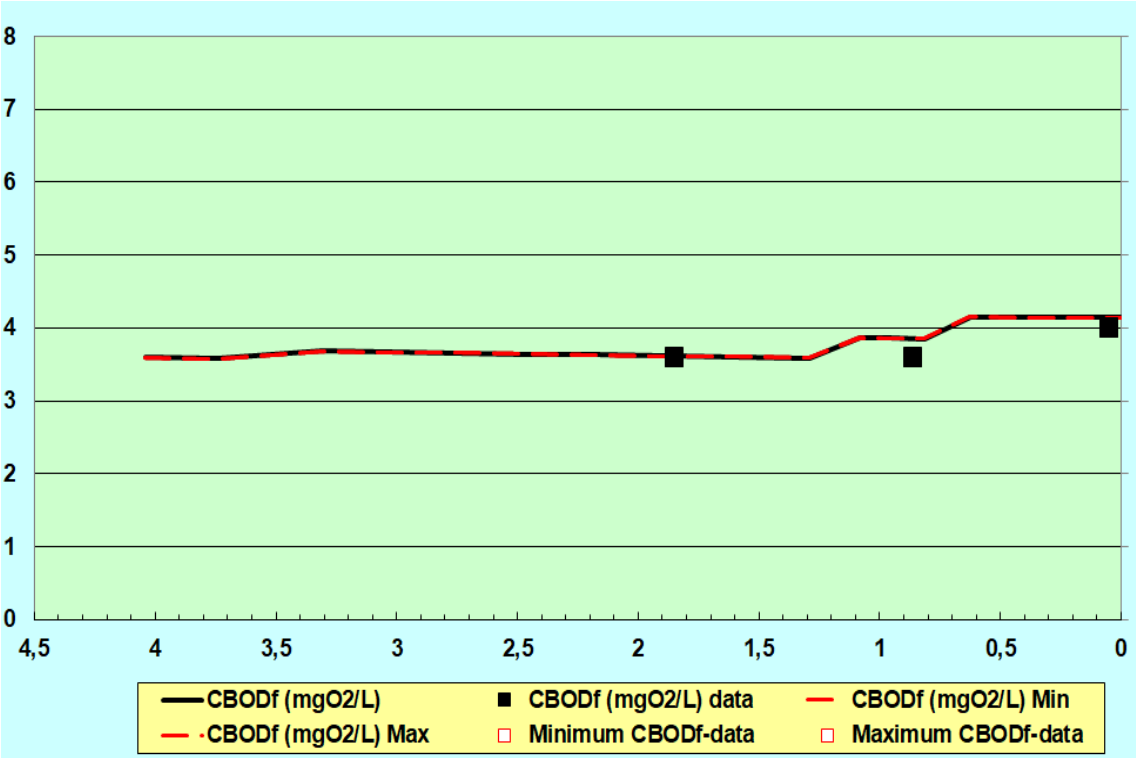
La simulación del OD y de la DBO con QUAL2K para el mes de marzo, se observa en los gráficos 16 y 17, respectivamente:

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



La simulación del OD realizado por QUAL2K para el mes de marzo se observa en el gráfico 16, en el cual se presenta un ajuste óptimo a lo largo de toda la corriente y sus valores no están muy alejados al valor de saturación de OD.

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

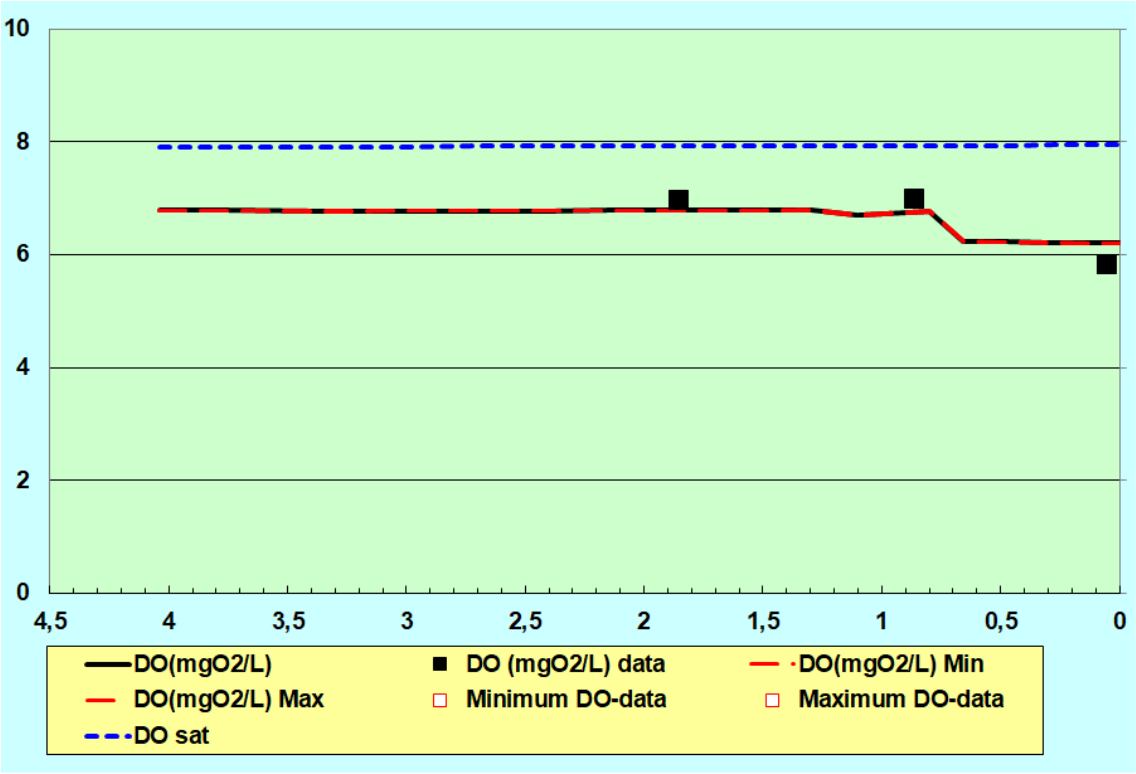


Con respecto a la simulación de la DBO por QUAL2K para el mes de marzo, se observa en el gráfico 17, que se obtiene un buen ajuste entre los valores observados en campo en relación a los que predice el programa sobre los datos de DBO a lo largo de todos los tramos.

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

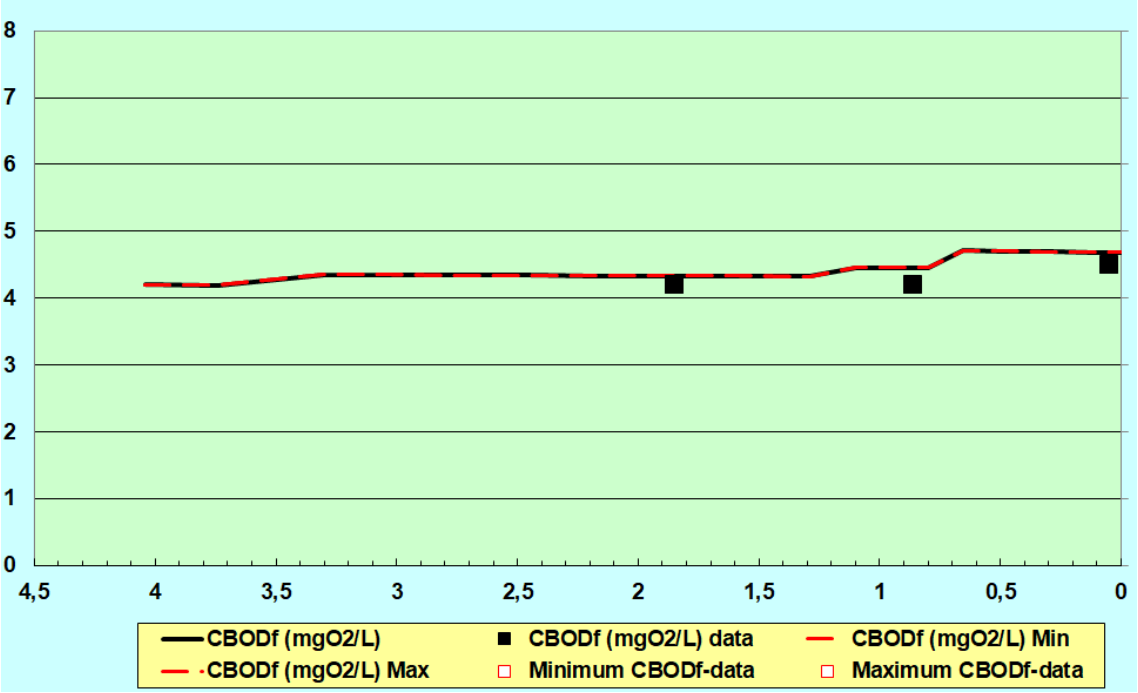
La simulación con QUAL2K en términos del OD y la DBO, se muestra en los gráficos 18 y 19, correspondiente al mes de abril:

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



Como puede observarse en el gráfico 18, el ajuste en relación al OD es óptimo en los tres tramos de la corriente de El Pital, acercándose suficientemente los valores de campo a los predichos por el modelo.

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



El gráfico 19 muestra también un ajuste óptimo del programa QUAL2K, con valores predichos por el modelo que sobreestiman por muy poca diferencia los valores medidos en los puntos de muestreo localizados en los tres tramos de corriente de El Pital.

4.1.4.4. Análisis de rendimiento

El análisis de rendimiento de la calibración del programa QUAL2K indica un ajuste óptimo para la variable de OD entre los valores predichos por el modelo y los medidos en la corriente, presentando valores muy cercanos a 1, tanto en el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe como en el coeficiente de determinación. Así mismo, el rendimiento del modelo para la DBO presenta un ajuste óptimo 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 28 y 29:

Tabla 28. Rendimiento de QUAL2K con respecto al OD

Tramo	Origen datos	Meses			Media	Error	
		FER	MAR	ABR		NSE	R2
T1	Medición	5,13	5,72	6,96	5,94	0,820	0,913
	Predicción	5,15	5,19	6,78	5,71		
T2	Medición	4,98	5,50	6,97	5,82	0,171	0,966
	Predicción	4,87	4,94	5,77	5,19		
T3	Medición	4,79	4,96	5,81	5,19	0,117	0,956
	Predicción	4,52	4,41	6,20	5,04		
Media	Medición	4,97	5,39	6,58			
	Predicción	4,85	4,85	6,25			
Error	NSE	-0,268	-0,583	-0,643			
	R2	1,000	0,999	0,006			

Tabla 29. Rendimiento de QUAL2K con respecto a la DBO

Tramo	Origen datos	Meses			Media	Error	
		FER	MAR	ABR		NSE	R2
T1	Medición	3,60	3,60	4,20	3,80	0,918	0,999
	Predicción	3,65	3,62	4,33	3,87		
T2	Medición	3,60	3,60	4,20	3,80	0,197	0,999
	Predicción	3,84	3,86	4,46	4,05		
T3	Medición	4,00	4,00	4,50	4,17	0,639	0,994
	Predicción	4,09	4,14	4,68	4,30		
Media	Medición	3,73	3,73	4,30			
	Predicción	3,86	3,87	4,49			
Error	NSE	0,864	0,748	0,376			
	R2	0,815	0,787	0,865			

4.2. Discusión

La variación de caudal del estero El Pital durante los 3 meses de estudio es casi uniforme en los tres tramos presentando su valor máximo promedio de 6578 l/s en el tramo 3 del mes de marzo esto se debe a que este tramo queda cerca de la desembocadura del río Quevedo y por ser época lluviosa el cauce del río crece y se mezcla con el agua del estero ocasionando que este punto siempre sea el más profundo durante todas las campañas de estudio, el valor mínimo promedio en el mismo tramo es de 3968 l/s en el mes de abril; Así mismo la profundidad más alta registrada es de 214 cm en el mes de marzo en el tramo 3. La investigación realizada por Hernán Villalobos en el 2008 sobre calibración del modelo matemático QUAL2K para el análisis de calidad del agua para el caso de un río especifico en Costa Rica concuerdan con el mismo criterio acerca de los resultados de aforos de donde expresa que caudal aumenta 10 veces en comparación a el punto de aguas arriba hasta llegar a la desembocadura con el Río Tiribí debido a las aportaciones que este hace, variando desde 0.1 m^3/s hasta poco más de 10 m^3/ s durante la época lluviosa [19].

Las variaciones de OD a lo largo del estero durante los tres meses de muestreo en estación lluviosa se caracterizó por tener altas concentraciones en aguas arriba presentando su valor máximo promedio de 6,96 mg/l, acercándose a su nivel de saturación que es 8 mg/l, debido a que en esta parte del estero el cauce posee aguas turbulentas, a medida que pasa por el tributario de Promejoras y tributario de Gustavo Campi, el OD disminuye debido a las descargas de aguas residuales que existen aunque el descenso no es tan significativo, en el tramo 3 que está cerca de la desembocadura el OD vuelve a aumentar debido a que es época lluviosa y el caudal aumenta por lo tanto la dilución es favorable a diferencia de la época seca un esquema parecido fue determinado por Guizado Carlos y Díaz Jhon en su investigación de la calidad del agua de río Manzanares en el año 2007, el cual fue estudiado en época seca y lluviosa y concuerdan que las aportaciones de las lluvias y que los caudales sean más profundos y turbulentos favorece para que haya dilución de cualquier contaminante en el agua [17].

Con las concentraciones de DBO_5 ocurre algo similar que con las variaciones de OD ya que en la época seca los niveles de DBO_5 es mayor y alcanza un valor de máximo promedio de 28 mg/l correspondiente al mes de agosto [24]. Mientras que la

concentración promedia máxima en la estación lluviosa del mismo estero es de 4 mg/l. lo cual se atribuye que por el hecho del periodo de lluvias el caudal es mayor y por tanto existe más probabilidades de autodepuración de la fuente de agua, estos mismos criterios concuerdan con Guizado Carlos y Díaz Jhon en su estudio de simulación de la calidad del agua del río Manzanares [17].

El análisis de rendimiento del modelo calibrado de Streeter-Phelps durante los 3 meses de estudio como febrero, marzo y abril presenta una relación que existe para el parámetro OD entre los valores observados en la corriente y los valores predichos por el modelo, son valores iguales a 1,0 tanto en el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe como en el coeficiente de determinación lo que significa que tuvieron un ajuste óptimo. Por otro lado, en la tabla se muestra el rendimiento del modelo para la DBO que al igual que el OD también presenta un valor óptimo en todos los tramos. En correspondencia con estos resultados, en el año 2017, Pazmiño, Zambrano y Coello calibraron el modelo de Streeter-Phelps en la corriente del estero Aguas Claras, también del cantón Quevedo, determinaron un buen ajuste entre los valores medidos y los predichos, con valores promedios de 0,99 tanto para el coeficiente de determinación como para el índice de Nash-Sutcliffe, demostrando la aptitud del referido modelo matemático para ajustarse, con alto rendimiento estadístico, a las condiciones de variación del oxígeno disuelto en los esteros del cantón Quevedo [18].

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 0,006 a 1,000 para el coeficiente de determinación de febrero a abril; asimismo, en los tramos valores de 0,913 a 0,966, para el coeficiente de determinación. Por el contrario, el ajuste del parámetro DBO, obtuvo un ajuste mayor con respecto al OD de acuerdo a los valores de coeficiente de determinación y el índice de Nash-Sutcliffe en cada tramo, mostrando valores de 0,994 a 0,999 y 0,197 a 0,918, para el coeficiente de determinación y el índice de Nash-Sutcliffe, respectivamente. En este contexto, investigaciones similares como la llevada a cabo por Pazmiño y Toapanta en el año 2018, se determinó el error estadístico entre los valores medidos en el campo con los valores predichos para el OD y DBO, se utilizó las ecuaciones de Nash-Sutcliffe y del coeficiente de determinación (R2), que registraron un ajuste bueno para OD y DBO en la calibración del modelo QUAL2K [21].

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los mayores caudales se registraron en el mes de marzo, obteniéndose un caudal promedio máximo de 6578 l/s en el tramo 3, 5247 l/s en el tramo 2 y 4641 l/s en el tramo 1; siendo el mes de marzo el que presento los mayores caudales a los largo de las campañas de estudio y respecto a la velocidad de la corriente del estero, se determinó que aguas arriba es el más veloz, llegando a velocidades máximas de 0,92 m/s en el mes de febrero. Por otra parte, las corrientes más lentas se presentan en el tramo 3, con valores que varían entre 0,20 m/s y 0,14 m/s.

- El análisis de las concentraciones de oxígeno disuelto indica niveles más altos se presentan en la cabecera principal del cauce alcanzando un nivel máximo de 6,96 mg/l similares a los niveles de saturación que es 8 mg/l y los niveles más bajos registrados a lo largo de los tres meses de estudio fue en el tributario perteneciente al sector Gustavo Campi igual a 1,24 mg/l en los meses de febrero y abril

- El monitoreo quincenal de la DBO reveló que las concentraciones más altas se presentan en la descarga industrial con valores máximos de 15 mg/l en la corriente y un valor mínimo de 11 mg/l a lo largo de los meses, mientras que en los tramos 1, 2 y 3 los valores oscilan de 3 mg/l hasta 5 mg/l lo cual no representa una diferencia significativa.

- La constante de reaireación mostró un comportamiento muy fluctuante, propio de la variabilidad pluvial de la estación lluviosa. Sin embargo, se observa una tendencia tener valores bajos en los tramos dos y tres, entre 0,012 y 0,194 d^{-1}, a pesar de variaciones altas. Por otro lado, en el tramo uno se registró mayor uniformidad en la variación de constan recte, alrededor de los 0,5 d^{-1}, valores altos que ponen en evidencia la capacidad de recuperación de oxígeno por la corriente de El Pital.

- En relación con las constantes desoxigenación (k_d) y de remoción total de la DBO (k_r), se puede inferir, en el caso de la primera, un proceso muy rápido de eliminación de la materia orgánica contaminante por metabolismo bacteriano a

- los largo de los tres tramos en que se dividió la corriente, con valores oscilando principalmente entre 0,3 y 0,6 d^{-1}; y, en el caso de la segunda, que el fenómeno de sedimentación de la materia orgánica es significativo, por tratase de una corriente relativamente lenta.

- La calibración del modelo de Streeter Phelps predice una variación sin fluctuaciones significativas del oxígeno disuelto y la DBO, caracterizada por un leve descenso del oxígeno disuelto y un pequeño aumento en la DBO en los tramos dos y tres, provocados por la influencia de los canales que transportan aguas servidas en los sectores Promejoras y Gustavo Campi.

- El análisis de rendimiento del modelo de Streeter-Phelps presentó un ajuste óptimo evidenciado en los valores del coeficiente de determinación R^2, el cual fue mayor a 0,99 en cada uno de los tres meses que abarcó el proceso de modelización, y mayor a 0,92 en cada uno de los tramos en que se segmentó la corriente de El Pital para el OD. Para la DBO es mayor a 0,97 en cada uno de los tramos.

- El análisis de rendimiento del modelo QUAL2K presentó un ajuste óptimo igual que el modelo de Streeter- Phelps, en la variación de OD se evidencio que los valores del coeficiente de determinación R^2 en todos los tramos es mayor a 0,913 y la variación de la DBO en todos los tramos es mayor a 0,994 en realacion al coeficiente de determinación.

5.1. Recomendaciones

- Es necesario que se continúe realizando más estudios sobe la calidad del agua del estero El Pital, y se creen estrategias para la recuperación de la calidad del agua de los tributarios que aportan caudal al cauce principal ya que estos están contaminados por las aguas residuales provenientes del sector Promejoras y Gustavo Campi, se debería aplicar campañas de limpieza en las riberas de los tributarios antes mencionados y emplear capacitaciones de educación ambiental a las personas que viven cerca de este estero.

- Asimismo, se recomienda que se implementen planes de remediación, monitoreo de calidad y de educación ambiental en las empresas que realizan actividades agroindustriales que de una u otra manera, afectan la calidad del agua ya que desechan sus aguas residuales sin previo tratamiento.

- 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. BIBLIOGRAFÍA

[1] Campaña, A y Nieto, C, «Contaminación de las aguas y políticas para enfrentarla,» Graphus 3227507, Quito, 2011.

[2] Chiriboga, C, «Propuesta de un sistema de monitoreo para la caracterización de las aguas residuales que recepta el río Tahuando,» 3 12 2010. [En línea]. Available: http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/151.

[3] J. Richters, «Manejo del uso de la tierra en América Central hacia el aprovechamiento sostenible del recurso tierra,» San Jose, CR. (IICA), 1995, pp. 1995-440.

[4] G. Ibañez , «Elaboracón de un plan de manejo Ambiental para la conservación de la sub cuenca del Río San Pablo en el cantón La Mana, provincia de Cotopaxi,» Latacunga-Ecuador, 2012.

[5] J. Henry y W. Heinke, Ingenieria Ambiental, 2a ed., Roig, P, Castañeda, A, Gómez, M y Lauría,L, Edits., ASSISTANT, 1999, p. 800p.

[6] J. Labrada, «Causas y efectos de la contaminación del agua,» 19 06 2016. [En línea]. Available: http://www.cultivarsalud.com/medio-ambiente/causas-efectos-la-contaminacion-del-agua/.

[7] E. Loaiza, «Diagnóstico de contaminación de agua en la quebrada camaronera, Parque Nacional Manuel Antonio,Área de conservación Minaet, Costa Rica,» San José , 2009.

[8] Quintuña, J y Samaniego, M, «Evaluación fisicoquimica y microbiologica del agua potable de la planta potabilizadora del cantón Chordeleg,» Cuenca, 2016.

[9] BI Yun Zhen Wu, «Calidad fisico- químico y bactereológica del agua para el consumo humano en la micro cuenca de la quebrada Victoria,» San Jose, 2009.

[10] Amado, A, Rubiños, P, Reyes, G, Alarcón, C y Hernández, A, «Indice de la calidad del agua en la cuenca del río amajac, Hidalgo,» *Internacional de Botánica experimental* , vol. 75, pp. 71-83, 2006.

[11] M. Mitchell, W. Stapp y K. Bixby, *Manual de campo de Proyecto del Río: una guía para monitorear la calidad del agua en el Río Bravo,* segunda edición ed., México, 1991, p. 200p.

[12] J. Ordoñez y M. Palacios , «Modelo de la Calidad del Agua de vertimientos a cuerpos superficial de aguas,» Rumichaca- Pasto, 2017.

[13] Castaño,J, «Modelización de la calidad del agua del Río Tunjuelo en dos escenarios de implementación del plan de saneamiento de Bogotá,» Bogotá, 2015.

[14] Espinoza, C, «Programa de Diplomado en Contaminación Ambiental,» 2007. [En línea]. Available: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Apunte_Analisis_de_Sistemas_Ambientales.pdf. [Último acceso: 20 junio 2018].

[15] C. Sierra, «Calidad del agua,» *Evaluación y diagnóstico,* p. 460, 2011.

[16] Domínguez, J , Borroto, J y Hernández, A, «Empleo del Modelo de Streeter y Phelps modificado para la planificacion de estrategias de saneamiento del Río Almendares,» *CENIC Ciencias Químicas,* vol. 36, nº Especial , 2005.

[17] Guizao, C y Díaz, F, «Simulación de la calidad del agua del Río Manzanares utilizando el modelo QUAL2K,» Santa Marta, 2007.

[18] J. Pazmiño, G. Zambrano y A. Coello, «Modelización de la calidad del agua del estero Aguas Claras, del cantón Quevedo, Ecuador,» *DYNA,* pp. 10-12, 2017.

[19] Villalobos, H, «Calibración del modelo matemático QUAL2K para el análisis de calidad del agua para el caso de un río específico en Costa Rica,» Ciudad Universitaria Rodrigo Facio , 2008.

[20] Zuñiga, L, «Modelación de la calidad del agua del Río Malacatos, tramo comprendido desde el Sector dos puentes hasta Sauces norte,» Loja , 2014.

[21] Pazmiño J y Toapanta M, «Modelizacion de la calidad del agua del estero El Limón, Cantón Quevedo, estación seca, Año 2018,» Quevedo- Ecuador , 2018.

[22] Guffante, T, Guffante,F y Chávez, P, «Investigación Científica: El Proyecto de Investigación,» 2006.

[23] Maya, E, «Métodos y técnicas de investigación (Una propuesta ágil para la presentación de trabajos científicos en las áreas de arquitectura, urbanismo y disciplinas afines),» Delegación Coyoacán, 2014.

[24] García, J, «Modelización de la calidad del agua del estero El Pital, cantón Quevedo, estación seca,» Quevedo, 2018.

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 febrero, marzo y abril se muestran en las tablas 30, 31, 32, 33, 34 y 35.

Tabla 30. Valores obtenidos en el cálculo del caudal por fechas de las campañas de muestreo en l/s

Punto	**Caudal (l/s)**					
	8-feb-19	*22-feb-19*	*8-mar-19*	*22-mar-19*	*5-abr-19*	*19-abr-19*
Aguas arriba	4224	2797	3760	5433	2662	3862
Descarga 1	47	39	34	55	34	34
Tramo 1	4271	2836	3794	5488	2696	3895
Descarga 2	419	368	412	800	112	114
Tramo 2	4690	3171	4206	6287	2814	4010
Descarga 3	692	444	680	1039	301	430
Tramo 3	5733	3616	5220	7935	3270	4665

Tabla 31. Promedio de los caudales en m/s

PROMEDIO CAUDAL (m/s)			
Promedio	*febrero*	*marzo*	*abril*
Aguas arriba	3,510	4,596	3,262
Descarga 1	0,043	0,044	0,034
Tramo 1	3,553	4,641	3,296
Descarga 2	0,394	0,606	0,113
Tramo 2	3,931	5,247	3,412
Descarga 3	0,568	0,860	0,366
Tramo 3	4,674	6,578	3,968

Tabla 32. Valores obtenidos en el cálculo de la velocidad por fechas de las campañas de muestreo

Punto	**Velocidad (cm/s)**					
	8-feb-19	*22-feb-19*	*8-mar-19*	*22-mar-19*	*5-abr-19*	*19-abr-19*
Aguas arriba	106,67	77,78	48,57	73,68	27,54	77,78
Tramo 1	86,96	45,99	39,44	62,50	21,88	49,12
Tramo 2	10,61	53,85	34,88	55,27	36,27	42,94
Tramo 3	10,29	28,23	17,44	23,03	12,50	16,25

Tabla 33. Promedio de la velocidad en m/s

PROMEDIO VELOCIDAD (m/s)			
Promedio	*Febrero*	*marzo*	*abril*
Aguas arriba	0,92	0,61	0,53
Tramo 1	0,66	0,51	0,36
Tramo 2	0,32	0,45	0,40
Tramo 3	0,19	0,20	0,14

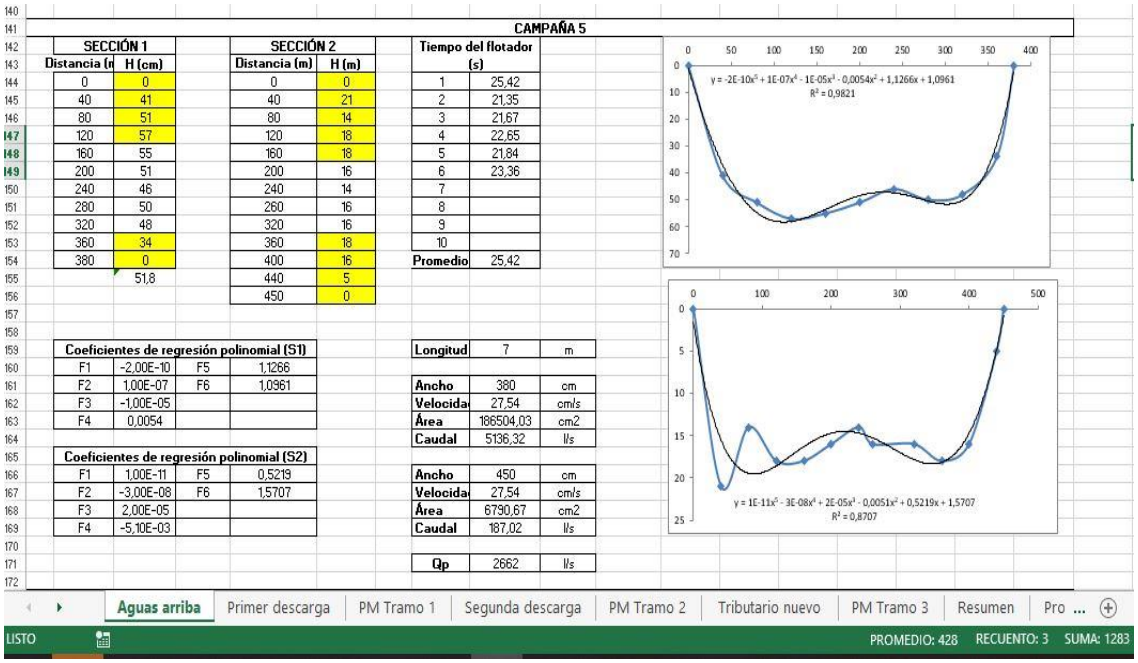
Tabla 34. Valores obtenidos en el cálculo de la profundidad por fechas de las campañas de muestreo

Punto	**Profundidad (cm)**					
	8-feb-19	*22-feb-19*	*8-mar-19*	*22-mar-19*	*5-abr-19*	*19-abr-19*
Aguas arriba	83	72	63	80	52	64
Tramo 1	73	56	71	91	43	55
Tramo 2	100	67	100	100	38	56
Tramo 3	221	122	179	250	145	122

Tabla 35. Promedio de la profundidad en m

Promedio profundidad (m)			
Promedio	*febrero*	*marzo*	*abril*
Aguas arriba	0,77	0,71	0,58
Tramo 1	0,65	0,81	0,49
Tramo 2	0,83	1,00	0,47
Tramo 3	1,72	2,14	1,33

Figura 5. Hojas de cálculo de caudales Aguas Arriba en abril



CAMPAÑA 5

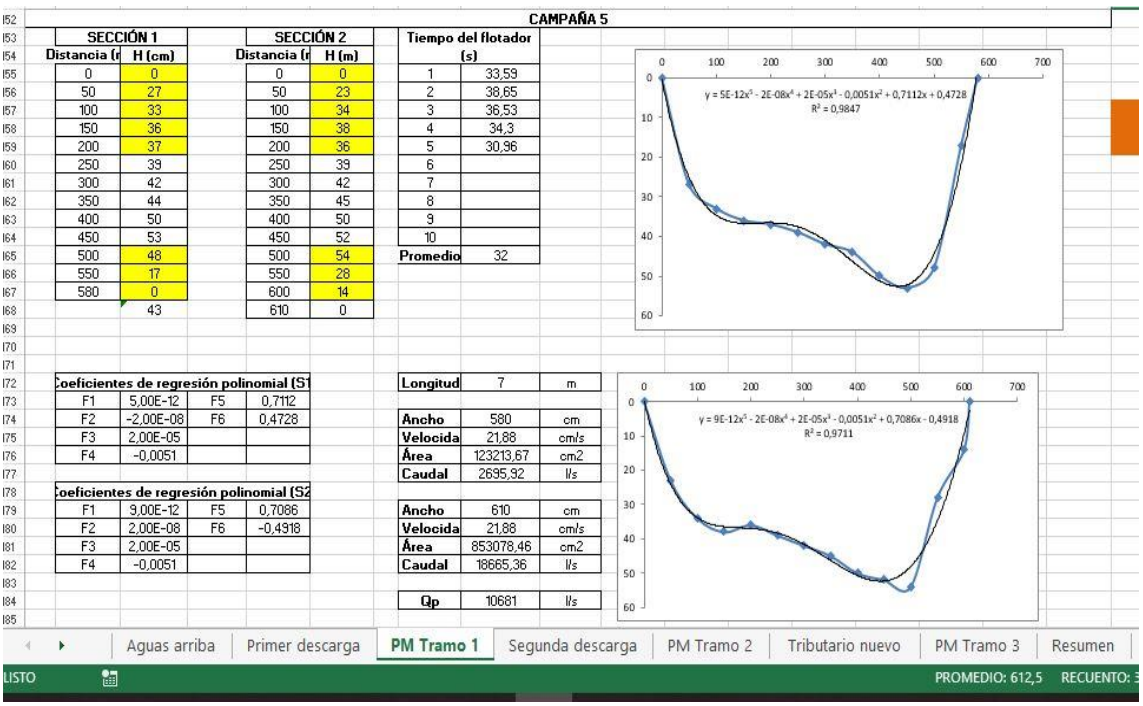
SECCIÓN 1		SECCIÓN 2		Tiempo del flotador (s)	
Distancia (m	H (cm)	Distancia (m)	H (m)		
0	0	0	0	1	25,42
40	41	40	21	2	21,35
80	51	80	14	3	21,67
120	57	120	18	4	22,65
160	55	160	18	5	21,84
200	51	200	16	6	23,36
240	46	240	14	7	
280	50	260	16	8	
320	48	320	16	9	
360	34	360	18	10	
380	0	400	16	Promedio	25,42
	51,8	440	5		
		450	0		

Coeficientes de regresión polinomial (S1)			
F1	-2,00E-10	F5	1,1266
F2	1,00E-07	F6	1,0961
F3	-1,00E-05		
F4	0,0054		

Coeficientes de regresión polinomial (S2)			
F1	1,00E-11	F5	0,5219
F2	-3,00E-08	F6	1,5707
F3	2,00E-05		
F4	-5,10E-03		

Longitud	7	m
Ancho	380	cm
Velocida	27,54	cm/s
Área	186504,03	cm2
Caudal	5136,32	l/s
Ancho	450	cm
Velocida	27,54	cm/s
Área	6790,67	cm2
Caudal	187,02	l/s
Qp	2662	l/s

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



CAMPAÑA 5

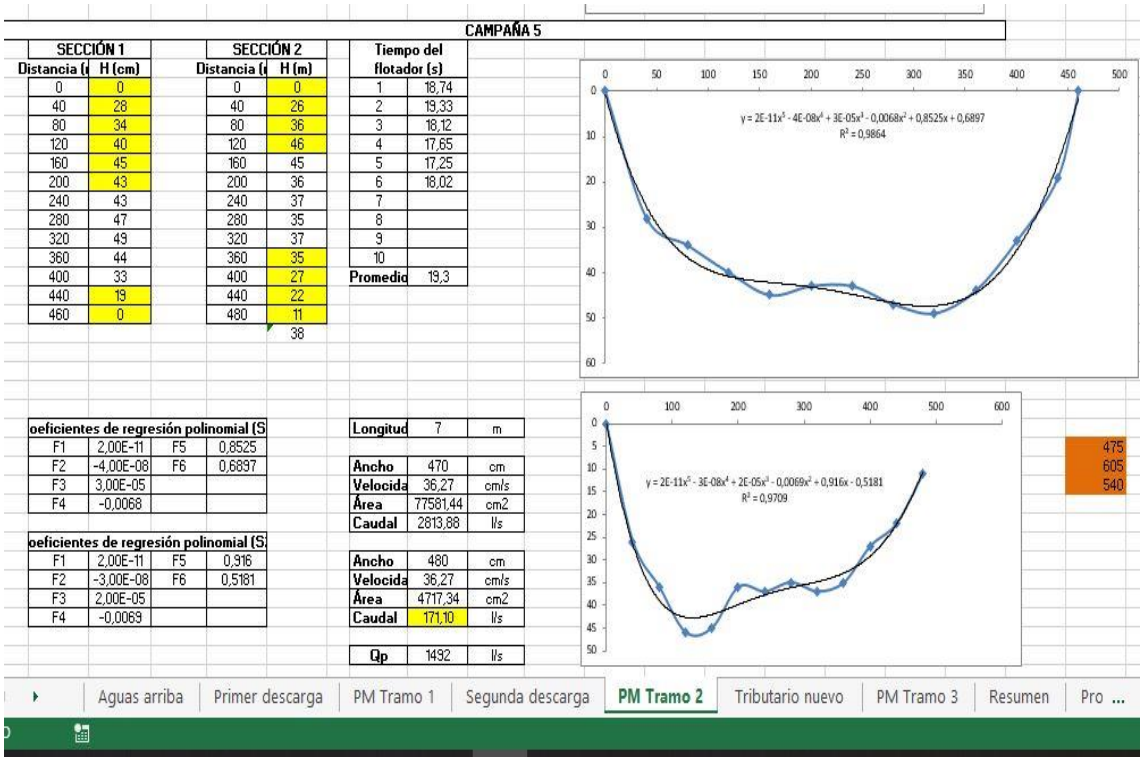
SECCIÓN 1		SECCIÓN 2		Tiempo del flotador (s)	
Distancia (r	H (cm)	Distancia (r	H (m)		
0	0	0	0	1	33,59
50	27	50	23	2	38,65
100	33	100	34	3	36,53
150	36	150	38	4	34,3
200	37	200	36	5	30,96
250	39	250	39	6	
300	42	300	42	7	
350	44	350	45	8	
400	50	400	50	9	
450	53	450	52	10	
500	48	500	54	Promedio	32
550	17	550	28		
580	0	600	14		
	43	610	0		

Coeficientes de regresión polinomial (S1			
F1	5,00E-12	F5	0,7112
F2	-2,00E-08	F6	0,4728
F3	2,00E-05		
F4	-0,0051		

Coeficientes de regresión polinomial (S2			
F1	9,00E-12	F5	0,7086
F2	2,00E-08	F6	-0,4918
F3	2,00E-05		
F4	-0,0051		

Longitud	7	m
Ancho	580	cm
Velocida	21,88	cm/s
Área	123213,67	cm2
Caudal	2695,92	l/s
Ancho	610	cm
Velocida	21,88	cm/s
Área	853078,46	cm2
Caudal	18665,36	l/s
Qp	10681	l/s

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



CAMPAÑA 5

SECCIÓN 1		SECCIÓN 2		Tiempo del flotador (s)	
Distancia ((	H (cm)	Distancia ((	H (m)		
0	0	0	0	1	18,74
40	28	40	26	2	19,33
80	34	80	36	3	18,12
120	40	120	46	4	17,65
160	45	160	45	5	17,25
200	43	200	36	6	18,02
240	43	240	37	7	
280	47	280	35	8	
320	49	320	37	9	
360	44	360	35	10	
400	33	400	27	Promedio	19,3
440	19	440	22		
460	0	480	11		
			38		

oeficientes de regresión polinomial (S			
F1	2,00E-11	F5	0,8525
F2	-4,00E-08	F6	0,6897
F3	3,00E-05		
F4	-0,0068		

Longitud	7	m
Ancho	470	cm
Velocida	36,27	cm/s
Área	77581,44	cm2
Caudal	2813,88	l/s

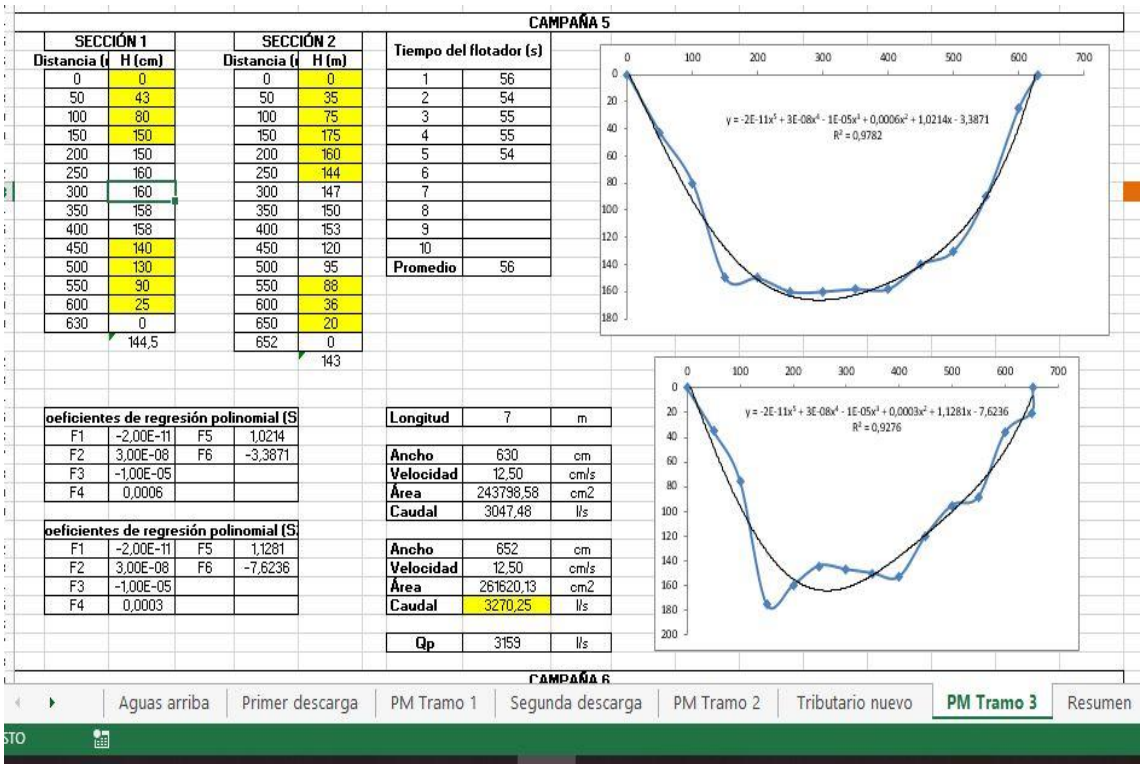
oeficientes de regresión polinomial (S			
F1	2,00E-11	F5	0,916
F2	-3,00E-08	F6	0,5181
F3	2,00E-05		
F4	-0,0069		

Ancho	480	cm
Velocida	36,27	cm/s
Área	4717,34	cm2
Caudal	171,10	l/s
Qp	1492	l/s

475
605
540

Aguas arriba | Primer descarga | PM Tramo 1 | Segunda descarga | PM Tramo 2 | Tributario nuevo | PM Tramo 3 | Resumen | Pro ...

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



CAMPAÑA 5

SECCIÓN 1		SECCIÓN 2		Tiempo del flotador (s)	
Distancia ((	H (cm)	Distancia ((	H (m)		
0	0	0	0	1	56
50	43	50	35	2	54
100	80	100	75	3	55
150	150	150	175	4	55
200	150	200	160	5	54
250	160	250	144	6	
300	160	300	147	7	
350	158	350	150	8	
400	158	400	153	9	
450	140	450	120	10	
500	130	500	95	Promedio	56
550	90	550	88		
600	25	600	36		
630	0	650	20		
	144,5	652	0		
			143		

oeficientes de regresión polinomial (S			
F1	-2,00E-11	F5	1,0214
F2	3,00E-08	F6	-3,3871
F3	-1,00E-05		
F4	0,0006		

Longitud	7	m
Ancho	630	cm
Velocidad	12,50	cm/s
Área	243798,58	cm2
Caudal	3047,48	l/s

oeficientes de regresión polinomial (S			
F1	-2,00E-11	F5	1,1281
F2	3,00E-08	F6	-7,6236
F3	-1,00E-05		
F4	0,0003		

Ancho	652	cm
Velocidad	12,50	cm/s
Área	261620,13	cm2
Caudal	3270,25	l/s
Qp	3159	l/s

CAMPAÑA 6

Aguas arriba | Primer descarga | PM Tramo 1 | Segunda descarga | PM Tramo 2 | Tributario nuevo | PM Tramo 3 | Resumen

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

En las tablas 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 44 y 45 se muestran los valores obtenidos de OD, DBO, pH, temperatura, conductividad eléctrica:

Tabla 36. Valores de DBO mg/l

FECHA	AGUAS ARRIBA	DES.TROPI	PMT1	TRIB. PROM	PMT2	TRIB. GUST.CAMP	PMT3
8-feb-19	3	11	3	5	3	5	4
22-feb-19	3	11	3	5	3	5	3
8-mar-19	3	18	4	5	3	4	4
22-mar-19	3	11	3	4	4	5	3
5-abr-19	4	15	5	7	4	6	3
19-abr-19	3	12	2	7	3	6	4

Tabla 37. Promedio de DBO mg/l

FECHA	AGUAS ARRIBA	DES.TROPI	PMT1	TRIB. PROM	PMT2	TRIB. GUST.CAMP	PMT3
febrero	3	11	3	5	3	5	3,3
marzo	3	14,5	3,5	4,8	3,5	4,8	3,3
abril	3,5	13,5	3,5	7	3,5	6	3,75

Tabla 38. Valores de oxígeno disuelto mg/l

FECHA	AGUAS ARRIBA	DES.TROPI	PMT1	TRIB. PROM	PMT2	TRIB. GUST.CAMP	PMT3
8-feb-19	4,34	4,79	4,24	2,89	4,98	1,24	4,66
22-feb-19	6,10	4,22	6,02	4,12	4,98	1,24	4,91
8-mar-19	5,43	4,60	4,53	2,72	4,59	1,24	3,56
22-mar-19	6,90	5,50	6,90	3,70	6,4	1,24	6,36
5-abr-19	6,11	5,42	6,96	3,02	6,90	2,06	5,72
19-abr-19	7,45	6,33	6,46	4,25	7,03	3,02	5,89

Tabla 39. Valores promedio de oxígeno disuelto mg/l

FECHA	AGUAS ARRIBA	DES.TROPI	PMT1	TRIB. PROM	PMT2	TRIB. GUST.CAMP	PMT3
febrero	5,22	4,505	5,13	3,505	4,98	1,24	4,79
marzo	6,17	5,05	5,72	3,21	5,50	1,24	4,96
abril	6,78	5,875	6,96	3,635	6,97	2,54	5,81

Tabla 40. Mediciones de pH

FECHA	AGUAS ARRIBA	DES.TROPI	PMT1	TRIB. PROM	PMT2	TRIB. GUST.CAM	PMT3
8-feb-19	7,2	6,8	6,7	6,7	7,3	7,2	7,1
22-feb-19	7,5	7,3	7,4	7,2	7,4	7	7,2
8-mar-19	7,6	7,3	7,5	7,2	7,3	7	7,3
22-mar-19	7,4	7,4	7,5	7,2	7,5	7,3	7,4
5-abr-19	7,7	7,6	7,7	7,4	7,7	7,2	7,5
19-abr-19	7,8	7,4	7,6	7,4	7,6	7,3	7,5

Tabla 41. Promedio pH

FECHA	AGUAS ARRIBA	DES.TROPI	PMT1	TRIB. PROM	PMT2	TRIB. GUST.CAMP	PMT3
febreo	7,35	7,05	7,05	6,95	7,35	7,1	7,15
marzo	7,5	7,35	7,5	7,2	7,4	7,15	7,35
abril	7,75	7,5	7,65	7,4	7,65	7,25	7,5

Tabla 42. Mediciones de temperatura, °C

FECHA	AGUAS ARRIBA	DES.TROPI	PMT1	TRIB. PROM	PMT2	TRIB. GUST.CAM	PMT3
8-feb-19	25,3	27,5	25,9	27,7	27,1	27,7	26,5
22-feb-19	23,6	27,8	27	27,7	27,1	27,7	27,2
8-mar-19	26,2	27,3	26,4	27,6	27,3	27,2	26,5
22-mar-19	27,2	28,8	26,8	27,6	28,7	27,3	26,3
5-abr-19	27,6	28,5	27,1	27,2	26,9	27,1	26,9
19-abr-19	26,6	27,6	27,2	27,8	27,2	27,3	27,4

Tabla 43. Promedio de temperatura °C

FECHA	AGUAS ARRIBA	DES.TROPI	PMT1	TRIB. PROM	PMT2	TRIB. GUST.CAMP	PMT3
febrero	24,45	27,55	26,7	27,7	27,2	27,7	26,85
marzo	26,70	28,65	26,95	27,40	27,80	27,45	26,60
abril	27,1	28,05	27,15	27,5	27,05	27,2	27,15

Tabla 44. Mediciones de conductividad eléctrica µS/cm

FECHA	AGUAS ARRIBA	DES.TROPI	PMT1	TRIB. PROM	PMT2	TRIB. GUST.CAMP	PMT3
8-feb-19	046	137	053	161	082	169	060
22-feb-19	056	219	069	176	083	168	097
8-mar-19	054	187	070	170	082	168	087
22-mar-19	050	152	059	164	069	163	050
5-abr-19	062	251	087	168	104	160	114
19-abr-19	055	131	070	166	086	104	060

Tabla 45. Promedio de conductividad eléctrica µS/cm

FECHA	AGUAS ARRIBA	DES.TROPI	PMT1	TRIB. PROM	PMT2	TRIB. GUST.CAMP	PMT3
FEBRERO	51	178	61	168,5	82,5	168,5	78,5
MARZO	52	170	65	167	76	166	69
ABRIL	56	202	73	166	87	162	82

7.3.Hojas de cálculo del modelo de Streeter-Phelps

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

DATOS

orriente aguas arrib	
Qr (m3/s)	3,51
DBO5	3
DBOu	3,6
Od (mg/l)	5,22
T (°C)	24,5

Entrada 1	
Q (m3/s)	0,043
DBO5	11
DBOu	16,06
Od (mg/l)	4,5
T (°C)	27,55

Entrada 2	
Q (m3/s)	0,394
DBO5	5
DBOu	6
Od (mg/l)	3,5
T (°C)	27,7

Entrada 3	
Qt (m3/s)	0,568
DBO5	5
DBOu	6
Odt (mg/l)	1,24
T (°C)	27,7

Hidrodinámica de la corriente				
	V (m/s)	H (m)	S (m/m)	Q (l/s)
Tramo 1	0,46	0,65	0,002	3553
Tramo 2	0,32	0,8	-0,009	3931
Tramo 3	0,19	1,7	0,001	4674

Valores observados en campo					
P. Muestre	x (m)	z (m)	OD (mg/l)	BO5 (mg/	BOu (mg/l)
PM-T1	1600	53	5,13	3,00	3,6
PM-T2	2590	44	4,98	3,00	3,6
PM-T3	3400	45	4,79	3,30	4,0

Constantes cinéticas de reacción

Tramo	Constante de reaireación					Constante de desoxigenación			Constante remoción to	
	ka 20 °C	ka (T)	ka 20 °C	ka (T)	a calibrad	kd a 20 °C	kd (T)	d calibrad	kr (T)	r calibrad
	O'Connor y Dobbins		Langbein&Durun			Hydroscience			Carga	
1	5,086	5,665	4,185	4,661	0,503	0,529	0,651	0,640	-3,441	0,998
2	2,940	1,830	2,103	1,309	0,194	0,476	0,595	0,673	-7,301	1,000
3	0,759	0,473	0,474	0,295	2,292	0,347	0,441	0,354	-5,765	0,404

TRAMO	RE_TOTAL
1	1,01
2	4,01
3	1,23

Condiciones iniciales

Tramo 1	
Lo (mg/l)	3,75
Odo (mg/l)	5,21
To (°C)	24,54
OD sat (mg	8,33
Do (mg/l)	3,12

Tramo 2	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado
Lo (mg/l)	4,72	4,72	3,79
Odo (mg/l)	5,70	5,58	5,00
To (°C)	24,86		
OD sat (mg	8,28		
Do (mg/l)	2,58	2,70	3,28

Tramo 3	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado
Lo (mg/l)	5,34	5,34	4,02
Odo (mg/l)	5,20	5,04	4,50
To (°C)	25,22		
OD sat (mg/	8,23		
Do (mg/l)	3,03	3,19	3,73

Ajuste inicial del modelo

Primer ajuste | Segundo ajuste | **Modelo calibrado**

FEBRERO | MARZO | ABRIL

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

Corriente aguas arriba	
Qr (m3/s)	4,596
DBO5	3
DBOu	3,6
Od (mg/l)	6,16
T (°C)	26,7

Entrada 1	
Q (m3/s)	0,044
DBO5	18
DBOu	26,28
Od (mg/l)	4,6
T (°C)	28,5

Entrada 2	
Q (m3/s)	0,606
DBO5	4
DBOu	4,8
Od (mg/l)	3,21
T (°C)	27,6

Entrada 3	
Qt (m3/s)	0,86
DBO5	4
DBOu	4,8
Odt (mg/l)	1,24
T (°C)	27,7

Hidrodinámica de la corriente				
	V (m/s)	H (m)	S (m/m)	Q (l/s)
Tramo 1	0,51	0,81	0,002	4641
Tramo 2	0,45	1,0	-0,009	5247
Tramo 3	0,20	2,0	0,001	6570

Valores observados en campo					
P. Muestreo	x (m)	z (m)	OD (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DBOu (mg/l)
PM-T1	1600	53	5,72	3,0	3,6
PM-T2	2590	44	5,5	3,0	3,6
PM-T3	3400	45	4,96	3,3	4,0

Constantes cinéticas de reacción

Tramo	Constante de reaireación					Constante de desoxigenación			Constante remoción tota	
	ka 20 °C	ka (T)	ka 20 °C	ka (T)	Ka calibrada	kd a 20 °C	kd (T)	kd calibrada	kr (T)	kr calibrada
	Owens y Gibbs		Langbein&Durun			Hydroscience			Carga	
1	5,004	5,868	3,463	4,061	0,527	0,481	0,654	0,605	-5,141	0,997
2	2,636	1,641	2,309	1,437	0,128	0,439	0,175	0,465	-11,099	0,999
3	0,621	0,387	0,408	0,254	0,102	0,325	0,130	0,287	-7,547	0,998

TRAMO	RE_TOTAL
1	8,567
2	7,706
3	5,268

Condiciones iniciales

Tramo 1	
Lo (mg/l)	3,82
Odo (mg/l)	6,15
To (°C)	26,72
OD sat (mg/	8,01
Do (mg/l)	1,86

Tramo 2	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado
Lo (mg/l)	4,97	4,97	3,76
Odo (mg/l)	6,13	6,00	5,75
To (°C)	26,82		
OD sat (mg/	7,99		
Do (mg/l)	1,86	1,99	2,24

Tramo 3	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado
Lo (mg/l)	5,46	5,46	3,87
Odo (mg/l)	5,47	5,35	5,10
To (°C)	26,94		
OD sat (mg/l	7,98		
Do (mg/l)	2,51	2,63	2,88

FEBRERO | MARZO | ABRIL

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

DATOS

Corriente aguas arriba	
Qr (m3/s)	3,262
DBO5	3,5
DBOu	4,2
Od (mg/l)	6,78
T (°C)	27,1

Entrada 1	
Q (m3/s)	0,034
DBO5	13,5
DBOu	19,71
Od (mg/l)	5,87
T (°C)	28,05

Entrada 2	
Q (m3/s)	0,113
DBO5	7
DBOu	8,4
Od (mg/l)	3,63
T (°C)	27,5

Entrada 3	
Qt (m3/s)	0,366
DBO5	6
DBOu	7,2
Odt (mg/l)	2,54
T (°C)	27,2

Hidrodinámica de la corriente				
	TRAMO 2	H (m)	S (m/m)	Q (l/s)
Tramo 1	0,36	0,49	0,002	3296
Tramo 2	0,40	0,47	-0,009	3412
Tramo 3	0,14	1,33	0,001	3968

Valores observados en campo					
P. Muestreo	x (m)	z (m)	OD (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DBOu (mg/l)
PM-T1	1600	53	6,96	3,5	4,2
PM-T2	2590	44	6,97	3,5	4,2
PM-T3	3400	45	5,81	3,75	4,5

Constantes cinéticas de reacción

Tramo	Constante de reaireación					Constante de desoxigenación			Constante remoción tota	
	ka 20 °C	ka (T)	ka 20 °C	ka (T)	Ka calibrada	kd a 20 °C	kd (T)	kd calibrada	kr (T)	kr calibrada
	O'Connor y Dobbins		Langbein&Durun			Hydroscience			Carga	
1	6,875	8,137	4,769	5,645	0,987	0,598	0,829	0,115	-1,147	0,731
2	7,714	4,800	5,601	3,486	11,840	0,609	0,844	0,130	-6,335	1,499
3	0,841	0,523	0,491	0,306	0,012	0,388	0,538	0,479	-3,055	0,502

TRAMO	RE_TOTAL
1	2,32
2	2,55
3	8,89

Condiciones iniciales

Tramo 1	
Lo (mg/l)	4,36
Odo (mg/l)	6,77
To (°C)	27,11
OD sat (mg/	7,95
Do (mg/l)	1,18

Tramo 2			
	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado
Lo (mg/l)	4,87	4,87	4,27
Odo (mg/l)	6,98	6,84	6,71
To (°C)	27,12		
OD sat (mg/	7,95		
Do (mg/l)	0,97	1,11	1,24

Tramo 3			
	Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado
Lo (mg/l)	5,43	5,43	4,49
Odo (mg/l)	6,55	6,42	6,44
To (°C)	27,13		
OD sat (mg/l	7,95		
Do (mg/l)	1,40	1,53	1,51

FEBRERO | MARZO | ABRIL

LISTO

Figura 12. Hojas de Statgraphics, para el cálculo de las constantes cinéticas

STATGRAPHICS Centurion - TRAMO 1_ABRIL.sgp

Archivo Editar Graficar Describir Comparar Relacionar Pronósticos CEP DDE SnapStats!! Herramientas Ver Ventana Ayuda

Libro de Datos
StatAdvisor
StatGallery
StatReporter
Comentarios del StatFolic
Simulaciones Monte Carl

Simulaciones Monte Carlo

Simulaciones Monte Carlo

Tamaño de muestra: 10000
Semilla para el generador de números aleatorios: 16894

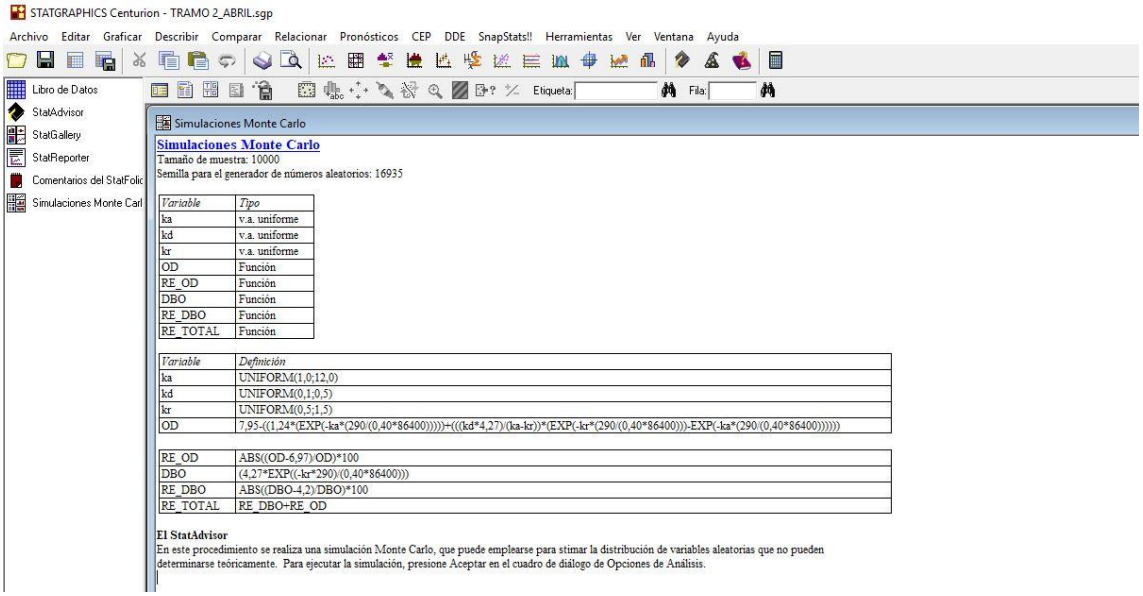
Variable	*Tipo*
ka	v.a. uniforme
kd	v.a. uniforme
kr	v.a. uniforme
OD	Función
RE_OD	Función
DBO	Función
RE_DBO	Función
RE_TOTAL	Función

Variable	*Definición*
ka	UNIFORM(0,1;1,0)
kd	UNIFORM(0,1;0,7)
kr	UNIFORM(0,7;1,0)
OD	7,95-((1,18*(EXP(-ka*(1600/(0,36*86400)))))+(((kd*4,36)/(ka-kr))*(EXP(-kr*(1600/(0,36*86400)))-EXP(-ka*(1600/(0,36* 86400))))))
RE_OD	ABS((OD-6,96)/OD)*100
DBO	(4,36*EXP((-kr*1600)/(0,36*86400)))
RE_DBO	ABS((DBO-4,2)/DBO)*100
RE_TOTAL	RE_DBO+RE_OD

El StatAdvisor

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

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



STATGRAPHICS Centurion - TRAMO 2_ABRIL.sgp

Archivo Editar Graficar Describir Comparar Relacionar Pronósticos CEP DDE SnapStats!! Herramientas Ver Ventana Ayuda

Libro de Datos
StatAdvisor
StatGallery
StatReporter
Comentarios del StatFolic
Simulaciones Monte Carl

Simulaciones Monte Carlo

Simulaciones Monte Carlo
Tamaño de muestra: 10000
Semilla para el generador de números aleatorios: 16935

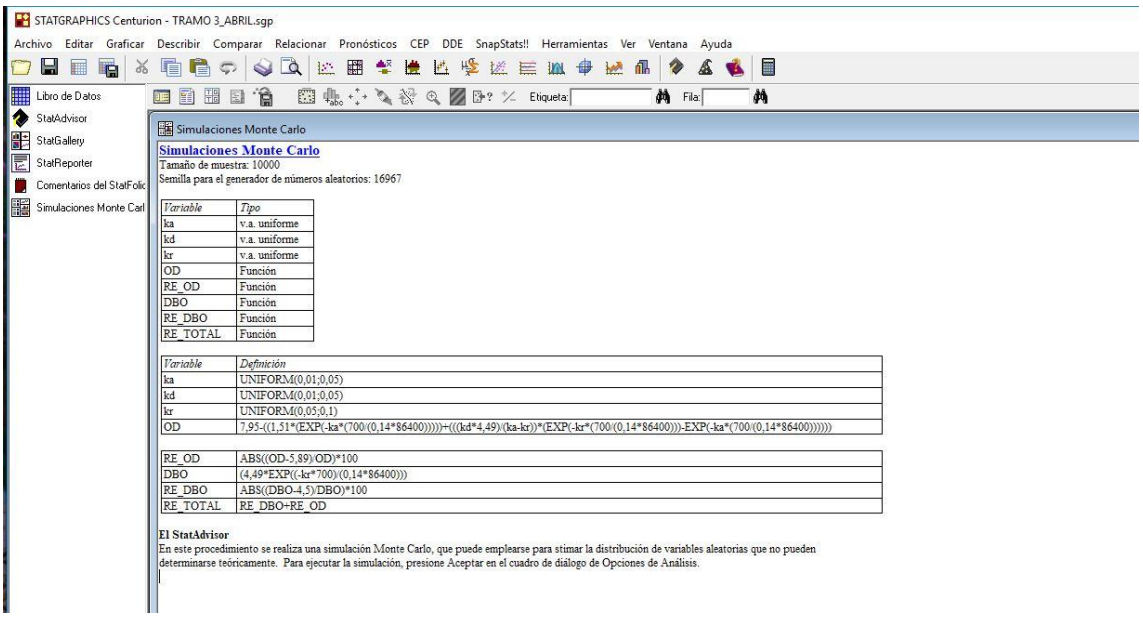
Variable	*Tipo*
ka	v.a. uniforme
kd	v.a. uniforme
kr	v.a. uniforme
OD	Función
RE_OD	Función
DBO	Función
RE_DBO	Función
RE_TOTAL	Función

Variable	*Definición*
ka	UNIFORM(1,0;12,0)
kd	UNIFORM(0,1;0,5)
kr	UNIFORM(0,5;1,5)
OD	7,95-((1,24*(EXP(-ka*(290/(0,40*86400)))))+(((kd*4,27)/(ka-kr))*(EXP(-kr*(290/(0,40*86400)))-EXP(-ka*(290/(0,40*86400))))))

RE_OD	ABS((OD-6,97)/OD)*100
DBO	(4,27*EXP((-kr*290)/(0,40*86400)))
RE_DBO	ABS((DBO-4,2)/DBO)*100
RE_TOTAL	RE_DBO+RE_OD

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

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



STATGRAPHICS Centurion - TRAMO 3_ABRIL.sgp

Archivo Editar Graficar Describir Comparar Relacionar Pronósticos CEP DDE SnapStats!! Herramientas Ver Ventana Ayuda

Libro de Datos
StatAdvisor
StatGallery
StatReporter
Comentarios del StatFolic
Simulaciones Monte Carl

Simulaciones Monte Carlo

Simulaciones Monte Carlo
Tamaño de muestra: 10000
Semilla para el generador de números aleatorios: 16967

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

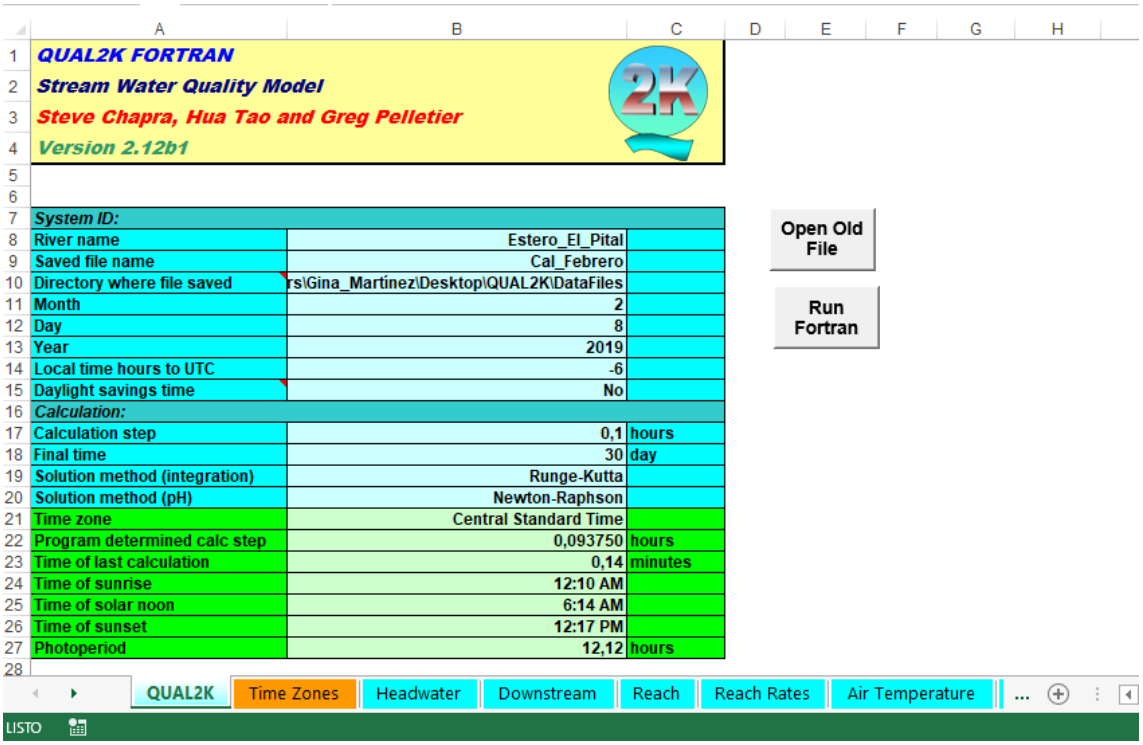
Variable	*Definición*
ka	UNIFORM(0,01;0,05)
kd	UNIFORM(0,01;0,05)
kr	UNIFORM(0,05;0,1)
OD	7,95-((1,51*(EXP(-ka*(700/(0,14*86400)))))+(((kd*4,49)/(ka-kr))*(EXP(-kr*(700/(0,14*86400)))-EXP(-ka*(700/(0,14*86400))))))

RE_OD	ABS((OD-5,89)/OD)*100
DBO	(4,49*EXP((-kr*700)/(0,14*86400)))
RE_DBO	ABS((DBO-4,5)/DBO)*100
RE_TOTAL	RE_DBO+RE_OD

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

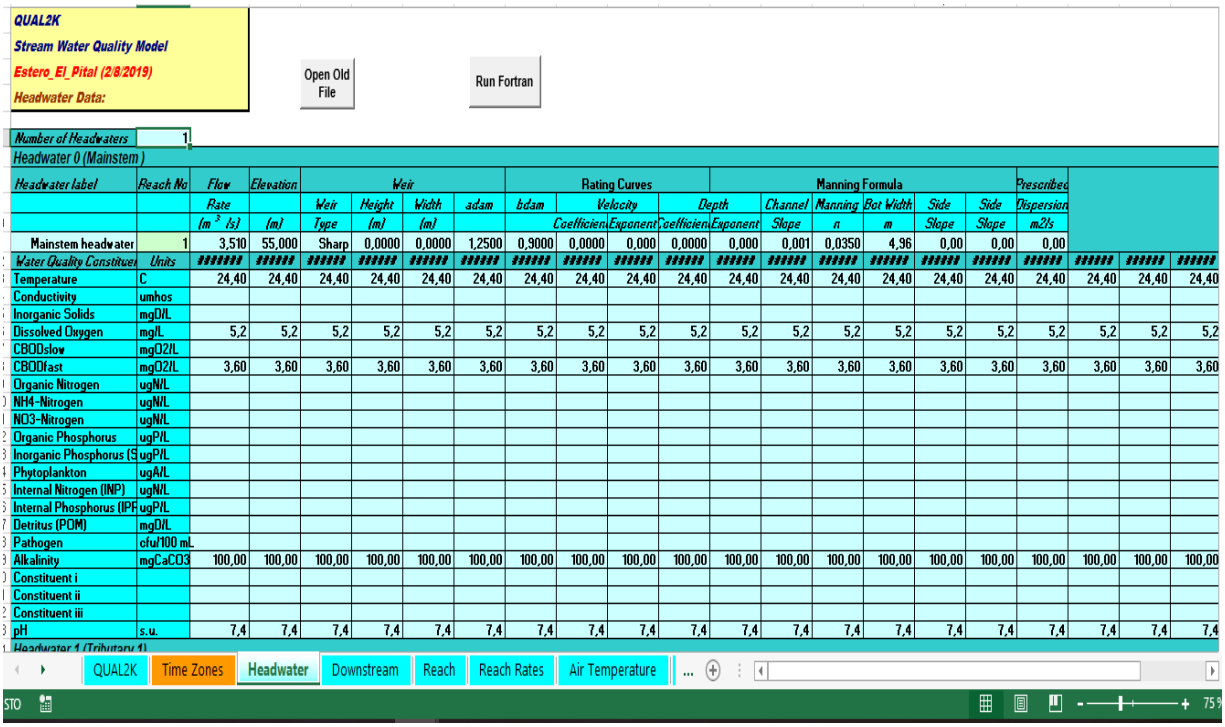
7.4.Hojas de datos de simulación con QUAL2K

Figura 15. Hoja de datos iniciales de QUAL2K



	A	B	C
1	QUAL2K FORTRAN		
2	Stream Water Quality Model		
3	Steve Chapra, Hua Tao and Greg Pelletier		
4	Version 2.12b1		
7	System ID:		
8	River name	Estero_El_Pital	
9	Saved file name	Cal_Febrero	
10	Directory where file saved	rs\Gina_Martínez\Desktop\QUAL2K\DataFiles	
11	Month	2	
12	Day	8	
13	Year	2019	
14	Local time hours to UTC	-6	
15	Daylight savings time	No	
16	Calculation:		
17	Calculation step	0,1	hours
18	Final time	30	day
19	Solution method (integration)	Runge-Kutta	
20	Solution method (pH)	Newton-Raphson	
21	Time zone	Central Standard Time	
22	Program determined calc step	0,093750	hours
23	Time of last calculation	0,14	minutes
24	Time of sunrise	12:10 AM	
25	Time of solar noon	6:14 AM	
26	Time of sunset	12:17 PM	
27	Photoperiod	12,12	hours

Figura 16. Hoja de datos de cabecera de QUAL2K



QUAL2K
Stream Water Quality Model
Estero_El_Pital (2/8/2019)
Headwater Data:

Open Old File
Run Fortran

Number of Headwaters: 1

Headwater 0 (Mainstem)

Headwater label	Reach No	Flow Rate (m³/s)	Elevation (m)	Weir Weir Type	Weir Height (m)	Weir Width (m)	Weir adam	Rating Curves bdam	Rating Curves Velocity Coefficient	Rating Curves Velocity Exponent	Rating Curves Depth Coefficient	Rating Curves Depth Exponent	Manning Formula Channel Slope	Manning Formula Manning n	Manning Formula Bot Width m	Manning Formula Side Slope	Manning Formula Side Slope	Prescribed Dispersion m2/s			
Mainstem headwater	1	3,510	55,000	Sharp	0,0000	0,0000	1,2500	0,9000	0,0000	0,000	0,0000	0,000	0,001	0,0350	4,96	0,00	0,00	0,00			
Water Quality Constituen	Units	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######
Temperature	C	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40	24,40
Conductivity	umhos																				
Inorganic Solids	mgD/L																				
Dissolved Oxygen	mg/L	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
CBODslow	mgO2/L																				
CBODfast	mgO2/L	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60
Organic Nitrogen	ugN/L																				
NH4-Nitrogen	ugN/L																				
NO3-Nitrogen	ugN/L																				
Organic Phosphorus	ugP/L																				
Inorganic Phosphorus (S	ugP/L																				
Phytoplankton	ugA/L																				
Internal Nitrogen (INP)	ugN/L																				
Internal Phosphorus (IPP	ugP/L																				
Detritus (POM)	mgD/L																				
Pathogen	cfu/100 mL																				
Alkalinity	mgCaCO3	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Constituent i																					
Constituent ii																					
Constituent iii																					
pH	s.u.	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4

Headwater 1 (Tributary 1)

Figura 17. Hoja de Reach (tramos) de ingreso de datos para los tramos

Reach Data:

Reach for diel plot	4																	
Element for diel plot	1	Reach	Headwater	Reach			Location		Element	Elevation		Downstream						
Reach	Downstream	Number	Reach	length	Downstream		Upstream	Downstream	Number	Upstream	Downstream	Latitude			Longitude			Wei
Label	end of reach label			(km)	Latitude	Longitude	(km)	(km)	>=1	(m)	(m)	Degrees	Minutes	Seconds	Degrees	Minutes	Seconds	Type
Mainstem headwater	Tramo 1	1	Yes	0,59	0,00	0,00	4,040	3,450	2	55,000	53,000							Sha
Tramo 1	Tramo 2	2		2,30	0,00	0,00	3,450	1,150	2	53,000	44,000							Sha
Tramo 2	Tramo 3	3		0,40	0,00	0,00	1,150	0,750	2	44,000	43,000							Sha
Tramo 3	Desembocadura	4		0,75	0,00	0,00	0,750	0,000	2	43,000	43,000							Sha

Figura 18. Hoja para ingresar las tasas o constantes cinéticas (Reach rates)

QUAL2K

Stream Water Quality Model

Estero_El_Pital (2/8/2019)

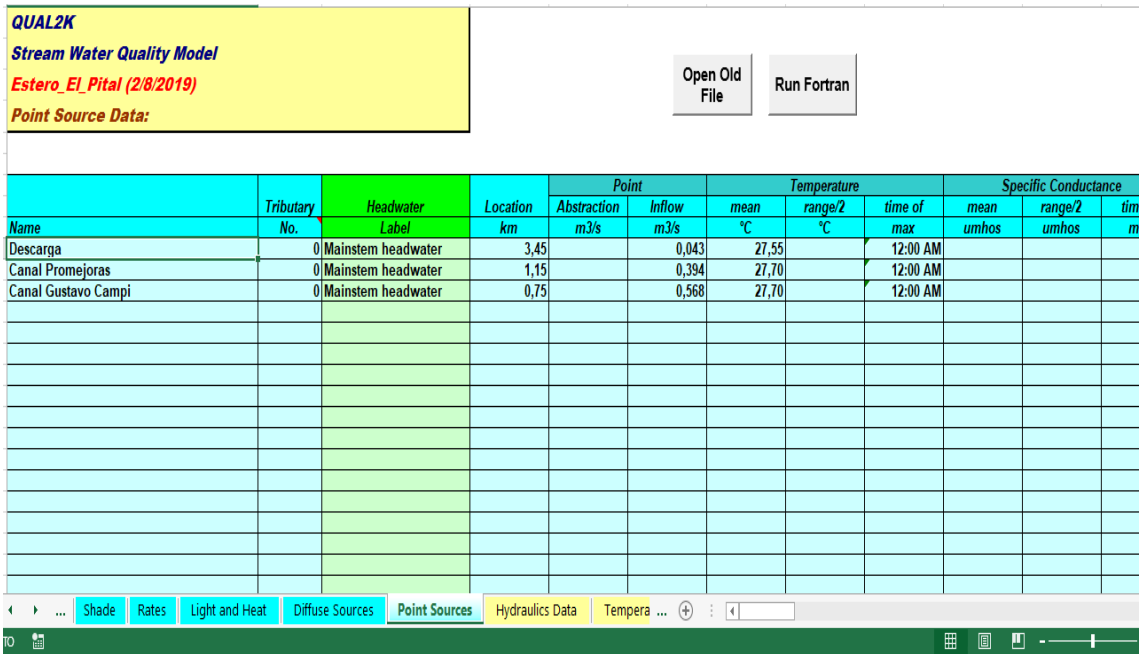
Reach Rates and Velocities:

Open Old File | Run Fortran

			ISS	Slow CBOD		Fast CBOD	Organic N		Ammonium	Nitrate	
Reach Number	Reach Label	Prescribed Reaeration	Settling Velocity	Hydrolysis Rate	Oxidation Rate	Oxidation Rate	Hydrolysis Rate	Settling Velocity	Nitrification Rate	Denitri Rate	Se tran
		/d	m/d	/d	/d	/d	/d	m/d	/d	m/d	
1	Mainstem headwater	0,503	0,233			0,640					
2	Tramo 1	0,503	0,233			0,640					
3	Tramo 2	0,194	0,271			0,673					
4	Tramo 3	2,292	0,086			0,354					

QUAL2K | Time Zones | Headwater | Downstream | Reach | Reach Rates | Air Temperature | ...

Figura 19. Hoja para ingresar los datos de las descargas puntuales



QUAL2K
Stream Water Quality Model
Estero_El_Pital (2/8/2019)
Point Source Data:

Open Old File | Run Fortran

Name	Tributary No.	Headwater Label	Location km	Point Abstraction m3/s	Point Inflow m3/s	Temperature mean °C	Temperature range/2 °C	Temperature time of max	Specific Conductance mean umhos	Specific Conductance range/2 umhos	Specific Conductance tim m
Descarga	0	Mainstem headwater	3,45		0,043	27,55		12:00 AM			
Canal Promejoras	0	Mainstem headwater	1,15		0,394	27,70		12:00 AM			
Canal Gustavo Campi	0	Mainstem headwater	0,75		0,568	27,70		12:00 AM			

Shade | Rates | Light and Heat | Diffuse Sources | Point Sources | Hydraulics Data | Tempera ...

7.5.Fotografías

Fotografía 1. Aforo en la sección aguas arriba

Fotografía 2. Toma de muestra para análisis de DBO, aguas arriba

Fotografía 3. Toma de muestra de la descarga principal del tramo 1

Fotografía 4. Mediciones del oxígeno disuelto en el punto de muestreo tramo 1

Fotografía 5. Toma de muestra de agua para el análisis de la DBO en el tributario 1

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

Fotografía 7. Realización de aforo en el tramo 3

Fotografía 8. Análisis de muestras en el laboratorio de suelos y agua de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo