



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

Título del Proyecto de Investigación:

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

Autor:

Anny Stefanía Valarezo Anchundia

Docente Auspiciante:

Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez, M.Sc.

Quevedo-Los Ríos- Ecuador

2018-2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Anny Stefanía Valarezo Anchundia, 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.

Anny Stefanía Valarezo Anchundia

C.C. # 120668356-5

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. Valarezo Anchundia Anny Stefanía, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado ***“Modelización de la calidad del agua del estero El Guayabo, cantón Quevedo, estación seca, año 2018”***, previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

.....

Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez Msc.

DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DESUSTENTACIÓN



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 Guayabo, cantón Quevedo, estación seca,
año 2018”

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

Aprobado por:

Dra. Lidia Vlassova

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE TESIS

Ing. Giselle Velásquez Figueroa

Ing. Norma Guerreño Chuéz

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR

2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres José Valarezo, Doris Anchundia y a mis hermanos, por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

Agradezco a mi director de tesis, Ing. Julio Pazmiño, quien con su experiencia, conocimiento y motivación me orientó en la investigación.

A mis amigos, como primordial a Jorge García, que aportaron con su presencia y apoyo para la realización de este importante proceso; y de manera muy especial a Jazmín García y Belén Toapanta, siempre juntas.

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados en mi formación educativa.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y privilegio ser su hija.

Además, a mis amigos que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación profesional y como ser humano. Y de manera muy especial a una persona que eternamente estará en mi corazón y la recordare por siempre, te quiero infinito King P.

Anny Stefanía Valarezo Anchundia

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES.

Los modelos de calidad del agua permiten evaluar el comportamiento de una corriente natural, describir el estado ecológico de un sistema fluvial y predecir escenarios futuros cuando ciertas condiciones límite o iniciales se alteran. El objetivo de esta investigación fue modelizar la incidencia la calidad del agua del estero El Guayabo, del cantón Quevedo, en la estación seca, con este fin se cumplieron los siguientes objetivos específicos: (1) determinar las características hidromorfológicas del estero, (2) caracterizar la calidad del agua del estero, (3) modelizar la calidad del agua aplicando el modelo de Streeter-Phelps, y, (4) simular con programas de computadora QUAL2K la calidad del agua. La modelización y calibración se realizó utilizando las expresiones matemáticas establecidas por el modelo de Streeter-Phelps, para lo cual se usaron los datos de campo de las características hidrométricas y fisicoquímicas observados. El proceso de calibración consistió en ajustar las constantes cinéticas de reaireación (k_a), desoxigenación (k_d) y de remoción total de la DBO (k_r), empleando la metodología GLUE (GeneralizedLikelihoodUncertaintyEstimation), con el fin de obtener posibles variaciones de las constantes cinéticas, a través de simulaciones Monte Carlo. Los resultados obtenidos revelan que en los tres segmentos estudiados la tasa de reaireación es mayor que la tasa de desoxigenación, una condición que indica un alto potencial de autodepuración. Por otra, se comprueba que la variación de la DBO se debe a los altos valores de k_r , que se les atribuyen a corrientes someras de bajas profundidades, lo que demuestra que se trata de sistemas relativamente sencillos de biodegradar. Finalmente, para determinar el error estadístico entre los valores medidos en el campo con los valores pronosticados por el modelo matemático se efectuó el análisis de rendimiento de la OD y DBO, presentándose diferencias inferiores del 10% de error relativo para el modelo de Streeter-Phelps. Sin embargo, en la simulación con QUAL2K, debido a la carencia de datos históricos de la cantidad de parámetros requeridos por el software no obtuvo un buen ajuste.

Palabras claves. -Calidad de agua, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Streeter-Phelps, QUAL2K, calibración, validación, metodología GLUE.

ABSTRACT AND KEYWORDS.

Water quality models allow evaluating the behavior of a natural stream, also to describe the ecological status of a river system, and to predict future scenarios when some boundary or initial conditions are changed. The objective of this research was to model the incidence of water quality in the El Guayabo estuary, in the Quevedo canton, in the dry season, for this purpose the following specific objectives were met: (1) determine the hydromorphological characteristics of the estuary, (2) characterize the water quality of the estuary, (3) model water quality by applying the Streeter-Phelps model, and, (4) simulate water quality with QUAL2K computer programs. The modeling and the calibration were performed using the mathematical expressions established by the Streeter-Phelps model, whereby it was needed to use field data of the hydrometric and physicochemical characteristics observed during the rainy and dry season. The calibration process consisted in adjusting the kinetic constants of re-aeration (k_a), deoxygenation (k_d) and total elimination of the BOD (k_r) using the GLUE methodology (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation), in order to get possible variations of the kinetic constants, through Monte Carlo simulations. The results reveal that in the three analyzed segments the re-aeration rate is higher than the deoxygenation rate, which means a high potential for self-purification of the stream. On the other hand, it was verified that the variation of BOD is due to the high values of k_r ; these are attributed to shallow currents of low depths, which means that these are relatively simple systems to biodegrade. Finally, to determine the statistical error between the values measured in the field with the values predicted by the mathematical model, it was performed the analysis of the yield of the DO and BOD, presenting relative errors less than 10% for the Streeter-Phelps model. However, in the simulation with QUAL2K, due to the lack of historical data of the amount of parameters required by the software, a good adjustment was not obtained.

Keywords: Water quality, Dissolved oxygen, Biochemical Oxygen Demand, Streeter-Phelps, Qual2k, Calibration, Validation, GLUE methodology.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES.....	vii
ABSTRACT AND KEYWORDS.	viii
Introducción.....	xvii
CAPÍTULO I.....	0
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	0
1.1 Problema de investigación	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.2 Formulación de problema	2
1.1.3 Sistematización del problema.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	5
CAPÍTULO II.....	6
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	6
2	7
2.1 Marco conceptual.....	7
2.1.1 Calidad del agua	7
2.1.2 Modelos de calidad del agua	9
2.2 Marco referencial.....	12
CAPÍTULO III.....	15
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	15
3	16
3.1 Localización	16
3.2 Tipo de investigación.....	17

3.2.1	Investigación exploratoria.....	17
3.3	Métodos de investigación.....	17
3.3.1	Método analítico	17
3.3.2	Método inductivo.....	17
3.4	Fuentes de recopilación de información	17
3.5	Diseño de la investigación.....	18
3.5.1	Determinación de las características hidrodinámicas del estero El Guayabo	18
3.5.2	Caracterización de la calidad del agua del estero El Guayabo.....	19
3.5.3	Modelización de la calidad del agua del estero El Guayabo con el modelo matemático de Streeter-Phelps	22
3.5.4	Simulación de la calidad del agua del estero El Guayabo con programas de computadora	25
3.6	Instrumentos de investigación	25
3.6.1	Hojas de cálculo para caudales.....	25
3.6.2	Hojas de calibración de Statgraphics	26
3.6.3	Hoja del modelo de Streeter-Phelps	26
3.7	Tratamiento de los datos	26
3.7.1	Análisis de rendimiento	26
3.8	Recursos materiales y equipos.....	27
3.8.1	Materiales y equipos	27
CAPÍTULO IV		28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		28
4		29
4.1	Resultados de la investigación.....	29
4.1.1	Características hidromorfológicas del estero El Guayabo	29
4.1.2	Caracterización de la calidad del agua del estero El Guayabo.....	33
4.1.3	Modelización de la calidad del agua con el modelo de Streeter-Phelps.....	39
4.1.4	Simulación de la calidad del agua del estero El Guayabo con QUAL2K.....	51
4.2	Discusión.....	57
CAPÍTULO V.....		60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		60

5		60
5.1	Conclusiones.....	60
5.2	Recomendaciones	62
CAPÍTULO VI		64
BIBLIOGRAFÍA		64
6		64
6.1	Referencias Bibliográficas	64
CAPÍTULO VII		69
ANEXOS.....		69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio	16
Figura 2. Mapa de localización de los puntos de monitoreo	21
Figura 3. Curva sag de oxígeno disuelto en corrientes de agua superficial	23
Figura 4. QUAL2K	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos utilizados para la medición de parámetros físicos y químicos básicos.....	19
Tabla 2. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo	20
Tabla 3. Requerimiento del laboratorio acreditado	22
Tabla 4. Fórmulas y rangos de profundidad y velocidad utilizados para estimar ka	24
Tabla 5. Medidas de bondad de Ajuste	26
Tabla 6. Materiales y equipos utilizados en la investigación	27
Tabla 7 Caudales en l/s del estero El Guayabo en la estación seca	29
Tabla 8. Velocidad de la corriente en m/s del estero El Guayabo en la estación seca	31
Tabla 9. Profundidad del cauce en m del estero El Guayabo en la estación seca	32
Tabla 10. Niveles de oxígeno disuelto en el estero El Guayabo, en mg/l.....	34
Tabla 11. DBO ₅ en el estero El Guayabo, en mg/l	35
Tabla 12. Valores de pH en el estero El Guayabo.....	36
Tabla 13. Conductividad eléctrica en el estero El Guayabo, en $\mu\text{S}/\text{cm}$	38
Tabla 14. Resultados de los valores calculados y calibrados de la constante de reaireación (ka)	39
Tabla 15. Resultados de los valores calculados y calibrados de la constante de desoxigenación (k_d).....	40
Tabla 16. Resultados de los valores calculados y calibrados de la constante de remoción total de la DBO(k_r).....	40
Tabla 17. Características de aguas arriba del tramo y descargas en el mes de julio.....	41
Tabla 18. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de julio	41
Tabla 19. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de julio	43
Tabla 20. Características de aguas arriba del tramo y descargas en el mes de agosto.....	43
Tabla 21. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de agosto	44
Tabla 22. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de agosto	45
Tabla 23. Características de aguas arriba del tramo y descargas en el mes de septiembre.....	46
Tabla 24. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de septiembre	46

Tabla 25. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de septiembre	48
Tabla 26. Características de aguas arriba del tramo y descargas en el mes de octubre	48
Tabla 27. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de octubre.....	48
Tabla 28. Error relativo del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno del mes de octubre.....	50
Tabla 29. Rendimiento del modelo Streeter-Phelps con respecto al OD.....	50
Tabla 30. Rendimiento del modelo Streeter-Phelps con respecto a la DBO.....	51
Tabla 31. Rendimiento del QUAL2K con respecto al OD	56
Tabla 32. Rendimiento del QUAL2K con respecto a la DBO	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Variación del caudal del estero El Guayabo	30
Gráfico 2. Velocidad de la corriente en el estero El Guayabo	31
Gráfico 3. Variación de la profundidad en el estero El Guayabo	33
Gráfico 4. Variación del oxígeno disuelto en el estero El Guayabo.....	34
Gráfico 5. Variación de la DBO5 en el estero El Guayabo.....	36
Gráfico 6. Variación del pH en el estero El Guayabo.....	37
Gráfico 7. Variación de la conductividad eléctrica en el estero El Guayabo.....	38
Gráfico 8. Perfil del OD del mes de julio.....	42
Gráfico 9. Perfil de la DBO del mes de julio	42
Gráfico 10. Perfil del OD del mes de agosto.....	44
Gráfico 11. Perfil de la DBO del mes de agosto	45
Gráfico 12. Perfil del OD del mes de septiembre.....	46
Gráfico 13. Perfil de la DBO del mes de septiembre.....	47
Gráfico 14. Perfil del OD del mes de octubre	49
Gráfico 15. Perfil de la DBO del mes de octubre	49
Gráfico 16. Simulación del OD con QUAL2K del mes de julio.....	52
Gráfico 17. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de julio.....	53
Gráfico 18. Simulación del OD con QUAL2K del mes de agosto	53
Gráfico 19. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de agosto.....	54
Gráfico 20. Simulación del OD con QUAL2K del mes de septiembre	54
Gráfico 21. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de septiembre.....	55
Gráfico 22. Simulación del OD con QUAL2K del mes de octubre	55
Gráfico 23. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de octubre	56

CÓDIGODUBLIN

Título:	Modelización de la calidad del agua del estero El Guayabo, cantón Quevedo, estación seca, año 2018			
Autor:	<u>Valarezo Anchundia Anny Stefanía</u>			
Palabras clave:	Oxígeno Disuelto (OD)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Modelo de Streeter-Phelps	Qual2k
Fecha de publicación:				
Editorial:				
Resumen: (hasta 300 palabras)	Resumen. -Se estudió el impacto de la descarga de aguas residuales en el comportamiento del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el estero El Guayabo, ubicado en el cantón Quevedo, en la estación seca durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre del 2018. La simulación se realizó en tres tramos de la corriente, por medio del modelo de Streeter-Phelps y el programa QUAL2K. Los modelos se calibraron ajustando las constantes de reaeración (k_a), desoxigenación (k_d) y remoción total (k_r), empleando la metodología GLUE (Estimación de la probabilidad de incertidumbre generalizada), a través de simulaciones de Monte Carlo. El análisis de rendimiento determinó valores promedio del coeficiente de determinación R^2 y del índice de Nash-Sutcliffe de 0,99, revelando un buen ajuste del modelo de Streeter-Phelps. El ajuste para QUAL2K fue sensiblemente inferior. El estudio sugiere una importante capacidad de autodepuración del estero por los altos valores de k_a y k_r. Abstract.- This paper studies the behavior of dissolved oxygen (DO) and biochemical oxygen demand (BOD) in the El Guayabo stream, located southwest of Quevedo. The impact of the modeling condition the calibration process, which consisted of adjusting the kinetic constant reaeration (k_a), deoxygenation (k_d) and total removal of the BOD (k_r), using the GLUE methodology, through Monte Carlo simulations. The study shows that k_a is greater than (k_d), a condition indicating a high potential for self-purification, while high values of k_r are attributed to shallow low-depth currents, demonstrating that they are relatively simple systems to biodegrade. Finally, the performance analysis of the OD and BOD showed differences less than 10% for the Streeter-Phelps model and more than 50% for QUAL2K software, due to the lack of information required by the model of k_a and k_r.			
Descripción:				
URI:	<u>(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)</u>			

Introducción

Durante muchos años, todos los recursos naturales eran considerados aprovechables para cualquier uso antrópico, sin tener en cuenta la calidad o las necesidades para los usos ambientales, a su vez la disponibilidad de agua es de suma importancia para la vida y el desenvolvimiento económico de cualquier región del mundo, y por lo tanto deben repartirse entre numerosos usuarios, además de tener en cuenta las necesidades del medio ambiente [1].

La alteración de los sistemas acuáticos debido al aporte de compuestos químicos y microorganismos ajenos a los sistemas contaminantes, la creciente demanda de alimentos y la necesidad de reúso del agua para diversos fines es una problemática irreversible y plantea un panorama preocupante en el que la adecuada distribución del agua para los sistemas naturales y artificiales constituye uno de los grandes retos del siglo XXI [2].

La disponibilidad del agua dulce se está convirtiendo en uno de los problemas más críticos de los recursos naturales que enfrenta la humanidad y se agrava porque la población mundial se está multiplicando rápidamente, lo que implica una gran y exigente demanda que no logrará ser lo suficientemente satisfecha por la cantidad de agua dulce existente y el uso inadecuado que se está haciendo de ella [3].

El Ecuador es un país privilegiado en cuanto a la cantidad de agua disponible en su territorio, sin embargo, la disponibilidad hídrica a lo largo de sus años no ha sido igual por los diferentes factores que causan su contaminación y lo cual conlleva a que se agote con el pasar del tiempo, convirtiéndose en un problema crítico para uso esencial que sirve el mismo, por lo tanto, es necesario aplicar modelos de calidad del agua.

El desarrollo de competencias para establecer, analizar y criticar modelos matemáticos es frecuentemente considerado relevante para los últimos años de la escuela secundaria o después de ella. La modelización matemática, en tanto estrategia didáctica y pedagógica, asume a la actividad matemática como un proceso continuo de resolución de problemas encuadrados en contextos reales permitiendo la combinación de diferentes tareas [4].

Los modelos matemáticos son técnicas que permiten representar alternativas propuestas y simular condiciones reales que podrían ocurrir dentro de una franja de incertezas, inherente al

conocimiento técnico-científico. Estos modelos se proponen explicar las causas y efectos de los procesos en el medio ambiente, diferenciar las fuentes antrópicas de las fuentes naturales de contaminantes, evaluar la eficiencia de los programas de gestión ambiental, determinar un tiempo o una distancia de recuperación de un cuerpo de agua con el objeto de implementar un programa de reducción de contaminantes, entre otras [5].

El cantón Quevedo posee una deficiente disposición de las aguas residuales, ya sea industrial o de agricultura, sin previo tratamiento a los cuerpos de agua naturales y esto se puede evidenciar en el deterioro de la calidad del agua, alcanzando niveles preocupantes de contaminación en varios esteros del cual está compuesto el cantón y que los mismos desembocan sus aguas al río Quevedo.

La presente investigación busca determinar la calidad de agua del estero El Guayabo, evidenciando cambios en los indicadores ambientales debido a cualquier actividad que la genere, midiendo su capacidad de autodepuración natural, utilizando el modelo de Streeter-Phelps, el mismo que se reflejan en la variación del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Problema de investigación

1.1.1 Planteamiento del problema

Las fuentes de agua superficial son eje de desarrollo de los seres humanos que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los asentamientos poblacionales; no obstante, de forma paradójica muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de las mismas. La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles [6].

El impacto de la población sobre los sistemas ecológicos del planeta se ha incrementado en los últimos años, poniendo de manifiesto la estrecha relación existente entre los niveles de contaminación ambiental y la salud de la población, por ende la mala calidad del agua[7].

El deterioro de la calidad del agua del estero El Guayabo radica principalmente en las actividades humanas, incluyendo las industriales que son llevadas a cabo en los alrededores del cuerpo de agua, descargando sus aguas residuales, muchas veces sin tratamiento previo. La agricultura también es uno de los causantes de las diferentes modificaciones que sufren estas fuentes hídricas, ya que la población utiliza el sistema de bombeo para regar su cultivo o crean pozas donde jalan el agua para su beneficio, perjudicando la estética paisajística y el diverso ecosistema acuático.

1.1.1.1 Diagnóstico

El estero El Guayabo se encuentra en el cantón Quevedo, desde su formación en la parroquia La Esperanza, hasta depositar sus aguas al río Quevedo.

Al ser una parroquia agrícola, gran parte de sus recursos hídricos son aprovechados, lo que conlleva también al desgaste de los mismos y a la pérdida de la calidad de sus aguas debido a la sobreutilización de ciertos elementos nocivos que son aplicados a los diferentes cultivos que son de ayuda económica para la población aledaña [8].

Sobre los recursos hídricos de la parroquia, se descargan aguas residuales sin tratamiento alguno, debido a la falta de un sistema de alcantarillado sanitario eficiente. Además gran parte de la población urbana no cuenta con un sistema de alcantarillado y al no contar también con pozos sépticos, disponen libremente sus aguas servidas sobre las fuentes de agua superficiales más cercanas a ellos, sin ningún conocimiento de las afectaciones que causan estos vertimientos [8].

A su vez las descargas de las aguas residuales de industrias madereras al estero, alterando la calidad de agua, y por ser de flujo constante son de mayor riesgo para la contaminación y su posterior recuperación.

1.1.1.2 Pronóstico

Una de las principales causas de contaminación de los sistemas de aguas dulces es el crecimiento demográfico, el mismo que ha puesto una enorme presión sobre los recursos naturales y que trae consigo necesidades que con los años aumentan y aporta que las descargas de químicos producto de la agricultura, así como de aguas residuales urbanas e industriales, pongan en riesgo la riqueza hídrica, como los esteros del cantón Quevedo.

Al persistir esta problemática los esteros perderán su vida acuática, llegando a niveles críticos de oxígeno disuelto y DBO, que son los principales indicadores de la calidad del agua tratados en esta investigación, y como cada vez más gente se establecen a las orillas de estos esteros, existen focos de contaminación y esto a su vez complica su capacidad de autodepuración, volviendo a su estado natural.

1.1.2 Formulación de problema

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

1.1.3 Sistematización del problema

¿Cuáles son las características hidromorfológicas del estero El Guayabo?

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

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

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

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Modelizar la calidad del agua del estero El Guayabo en la estación seca.

1.2.2 Objetivos específicos

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

1.3 JUSTIFICACIÓN

Muchas actividades económicas están ligadas de manera indirecta a los ecosistemas acuáticos, de modo que la contaminación de cuerpos de agua río arriba repercuten río abajo y en consecuencia las actividades dependientes de un alto grado de calidad del agua corren el riesgo de reducir su potencial productivo, entre ellas la agricultura, turismo, pesca, y algunas recreativas [2].

Los retos del crecimiento poblacional, aumento de la temperatura, reducción de ecosistemas naturales, deforestación y demás presiones que soportan estos ecosistemas naturales requieren una medición constante de los parámetros que determinan su funcionamiento y calidad[9].

La mejora de la calidad ambiental incidirá directamente en un aumento de la calidad de vida de la comunidad, descontaminación de las aguas residuales de los predios conectados al estero, eliminación de los malos olores que despiden las aguas, disminución del riesgo de enfermedades en los niños y adultos, recuperación de la belleza escénica de la ciudad en el sector, disminución del aporte contaminante al río Quevedo, rescate de la vida acuática y otras especies asociadas al estero, espacios para distracción familiar; jardines, puentes cercanos al estero y elevar la autoestima de la comunidad [2].

Por otro lado, es importante la realización de proyectos de investigación sobre la modelización de la calidad del agua y conocer el grado de contaminación que poseen los mismos, como también evidenciar los distintos cambios que sufren las características hidromorfológicas con el pasar de los meses en una estación determinada, aplicando un modelo matemático de Streeter-Phelps eficaz que proporcionara datos fiables de la calidad del agua para el control de enfermedades en la población, la protección de la fauna y flora y un debido desarrollo local del cantón Quevedo.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Calidad del agua

La calidad del agua se define al conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que debe tener un cuerpo de agua, para conferirle un uso determinado, entre los cuales se cuentan: consumo humano y doméstico, preservación de flora y fauna, agrícola, recreativo, industrial, estético, y demás usos.

2.1.1.1 Contaminación del agua

La contaminación, se refiere a la contaminación del medio ambiente por los residuos y materias nocivas, lo que provoca un cambio significativo en la calidad de la atmósfera circundante. La contaminación ambiental puede ser clasificada como contaminación atmosférica, contaminación del agua y contaminación acústica. La contaminación del agua también significa la contaminación de masas de agua, que las hacen no aptas para beber y otros usos [10].

2.1.1.2 Fuentes de contaminación del agua

La contaminación del agua es causada por la emisión de aguas residuales domésticas o urbanas, de residuos agrícolas, los contaminantes y los efluentes industriales que llegan a los cursos de agua. Hoy en día, una de las principales fuentes de contaminación del agua son los materiales residuales vertidos por las zonas industriales, y esta polución se conoce como la contaminación industrial del agua [10].

2.1.1.3 Efectos de la contaminación del agua

Los efectos más destacados en la contaminación del agua es la pérdida de la vida acuática y por su consiguiente la pérdida del mismo (estero), enfermedades por hacer uso del agua para la agricultura y por el consumo de alimentos con alto nivel de contaminación, enfermedades de piel en jóvenes y adultos que utilizan estos sistemas de aguas.

2.1.1.4 Parámetros de calidad del agua superficial

2.1.1.4.1 Parámetros físicos

Son definidos por las características del agua y responden a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato como puede ser:

2.1.1.4.1.1 Temperatura

La temperatura es una medida de grado de calor de un cuerpo, se expresa en unidades de grado centígrados (°C) y se mide con un termómetro de mercurio o digital. Las descargas de estas aguas en las nacientes superficiales pueden causar daño a la flora y fauna acuática, así como favorecer reacciones químicas secundarias, reducir niveles de oxígeno y acelerar el crecimiento de bacterias[11].

2.1.1.4.1.2 Olor

Es muy raro que las sustancias productoras de olor y sabor se encuentren aisladas en un agua. Las fuentes de sabores y olores en un agua responden a dos orígenes: naturales y artificiales. Las primeras incluyen gases, sales, compuestos inorgánicos, compuestos orgánicos y compuestos procedentes de la actividad vital de los organismos acuáticos. Los compuestos productores de olor/sabor de origen artificial pueden ser también orgánicos e inorgánicos y están probablemente más definidos, al poder identificarse la fuente concreta productora del problema [12].

2.1.1.4.1.3 Color

Existen dos tipos de color: el verdadero y aparente. El primero es el que se debe a las sustancias disueltas una vez eliminada la turbiedad. El segundo es el que resulta de las sustancias disueltas como por ejemplo las materias en suspensión. Se miden en unidades de platino cobalto (U-Pt-Co), basadas en 1 mg/L de Pt. Pueden deberse a la presencia de materias orgánicas coloreadas o de minerales como el hierro [11].

2.1.1.4.2 Parámetros químicos

Los parámetros químicos están relacionados con el agua para disolver diversas sustancias entre las que podemos mencionar:

2.1.1.4.2.1 pH

El pH es una medida de contenido de ión hidrogeno en medio acuoso. Las aguas que poseen un valor de pH superior a siete son alcalinas, y si es inferior son acidas. El agua de los ríos que no está afectada por la contaminación presenta un pH entre 6,5 y 8,5, dentro del cual los organismos acuáticos capturan y liberan dióxido de carbono durante la fotosíntesis y respiración, respectivamente[13].

2.1.1.4.2.2 Oxígeno disuelto

El oxígeno es un oxidante que se encuentra en la atmósfera y juega un papel muy importante en las reacciones de oxidación-reducción acuosas, así como también en la respiración microbiana. Este parámetro es un indicador de la capacidad de un cuerpo de agua para mantener la vida acuática[14].

2.1.1.4.2.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La demanda bioquímica es la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias durante cinco días a 20 °C. Se define como la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial, antes de la incubación, y el remanente después de cinco días de incubación a 20 °C [14].

2.1.2 Modelos de calidad del agua

Estos modelos se utilizan para aclarar las relaciones de causa y efecto entre las cargas de contaminantes y la masa de agua receptora, entendiendo mejor los procesos biológicos, físicos, químicos y a su vez apoyar la gestión de la calidad del agua y toma de decisiones.

2.1.2.1 Modelo de Streeter-Phelps

El conjunto de características físicas químicas y biológicas de un determinado tipo de agua define su calidad. En los embalses, por ser sistemas abiertos, estos componentes no permanecen estáticos, sino que tienen una dinámica particular e interactúan de tal manera que favorecen el establecimiento de procesos físicos, químicos y biológicos que dan lugar a cambios en el comportamiento de esa calidad [15].

El interés científico por predecir tales efectos dio lugar a que en los años veinte se iniciaran los primeros estudios para conocer la dinámica de los procesos arriba señalados. Uno de los principales resultados de lo anterior, fue el clásico modelo desarrollado por Streeter-Phelps para analizar la capacidad de autodepuración del río Ohio, en EEUU. Este modelo constituyó el punto de partida para la estructuración de los modelos de oxígeno disuelto, y en general de los de calidad del agua en las corrientes [15].

2.1.2.2 Programa QUAL2K

El programa QUAL2K es un modelo para el análisis del comportamiento de la calidad del agua, respaldado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés). Este modelo considera el flujo de agua como unidimensional y permanente. Para la simulación del transporte de sustancias contaminantes QUAL2K emplea el balance de calor y temperatura en función de datos meteorológicos horarios, introducidos en un espacio de ciclo diario[16].

2.1.2.3 Calibración de modelos de calidad del agua

La conveniencia del uso de modelos matemáticos para el análisis de los fenómenos de dispersión de contaminantes o simulación de escenarios de contaminación hídrica es innegable. Los actuales medios computacionales permiten, mediante la resolución de las ecuaciones que representan el fenómeno físico, generar simulaciones que proporcionan, una vez calibradas y validadas, fidedignas representaciones de la realidad[17].

En este proceso hay que destacar que la correcta utilización de cualquier modelo (no solamente el de dispersión de contaminantes) para la toma de decisiones está condicionada a que el proceso de calibración del mismo haya sido realizado correctamente. Si esto es así, el

modelador representará la realidad con un grado aceptable de fiabilidad, ya que el objeto de la calibración es asegurar la valía del modelo como herramienta de toma de decisiones [17].

La calibración es el proceso de ajuste de determinados parámetros del modelo para obtener la máxima igualdad entre lo observado (medidas de campo) y los resultados del modelo. La precisión del modelo, se fija a través del factor de convergencia definido, de forma que, cuando menor sea (nunca debería ser superior a 0,1m), más garantías existirá de haber alcanzado un resultado coherente y estable frente a los datos de iniciales.

2.2 Marco referencial

Para la realización del presente trabajo investigativo se tomaron en cuenta artículos publicados con temas similares para dar soporte a este estudio, además de comparar, describir y sustentar los resultados obtenidos.

Montes R., Navarro I., Domínguez R., & Jiménez B., en 2013, realizaron un estudio sobre la modificación de autodepuración del río Magdalena ante el cambio Climático, en México. El trabajo estudia el posible efecto en la capacidad de autodepuración del río Magdalena, que alimenta una de las plantas potabilizadoras de la Ciudad de México, debido al incremento de la temperatura y la variación de la precipitación futuros. El impacto de la variabilidad climática se midió con el modelo Streeter-Phelps tanto para condiciones actuales como para escenarios de cambio climático durante lluvias y estiaje. El escenario actual se evaluó con datos históricos disponibles, campañas de muestreo (2010-2011) y datos climatológicos (1967-1996). Se obtuvieron proyecciones para oxígeno disuelto (OD) y la demanda biológica de oxígeno (DBO), a partir del comportamiento del escenario actual; así como proyecciones de precipitación y temperatura para los escenarios A1B, A2 y B1, obtenidos de dos modelos de circulación general para el año 2020. Se encontró que, tanto para el escenario actual como para los escenarios con cambio climático, la temporada posible más crítica para la degradación de la DBO es la época de estiaje, con porcentajes de remoción entre 6.8 y 13.4%, aunque con mayores porcentajes de recuperación para el OD (13%). Para la época de lluvias se observa que habría una menor biodegradabilidad (entre 4.3 y 6.0%), con recuperación del OD $< 7.7\%$, en relación con la época de estiaje. Los resultados muestran la necesidad del seguimiento periódico tanto de calidad del agua como de la variación en el caudal del río, principalmente en la época de estiaje, ya que podrán presentarse situaciones críticas de mayor temperatura y menor caudal, que afectarían la eficiencia de potabilización [18].

Siguiendo con la utilización del modelo de Streeter-Phelps, tenemos a:

Pazmiño Julio, Zambrano Gabriela & Coello Hevert en 2018, realizaron un estudio sobre la Modelización de la calidad del agua del estero Aguas Claras, cantón Quevedo, Ecuador. Se tomó en cuenta el impacto de la descarga de aguas residuales en el comportamiento del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), durante los meses de octubre

2016 a febrero 2017. La simulación se realizó en tres tramos de la corriente, por medio del modelo de Streeter-Phelps y el programa QUAL2K. Los modelos se calibraron ajustando las constantes de reaeración (k_a), desoxigenación (k_d) y remoción total (k_r), empleando la metodología GLUE (Estimación de la probabilidad de incertidumbre generalizada), a través de simulaciones de Monte Carlo. El análisis de rendimiento determinó valores promedio del coeficiente de determinación R^2 y del coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0,99, revelando un buen ajuste del modelo de Streeter-Phelps. El ajuste para QUAL2K fue sensiblemente inferior. El estudio sugiere una importante capacidad de autodepuración del estero por los altos valores de k_a y k_r [19].

Otro artículo donde utilizaron el programa de QUAL2K para simular y analizar la calidad del agua de un cauce fue:

Ruibin Zhang, Xin Qian, Huiming Li, Xingcheng Yuan y Rui Ye en 2012, realizaron un estudio sobre la selección de programas óptimos de mejora de la calidad del agua del río utilizando QUAL2K y analizaron el caso de la cuenca del lago Taihu, China, donde las principales fuentes de contaminación son sus ríos de entrada y sus afluentes. El objetivo de este estudio fue facilitar la selección de este programa óptimo, utilizando el modelo QUAL2K para simular los efectos de una serie de escenarios de mejora de la calidad del agua en el río Hongqi, que es un afluente contaminado en la cuenca del lago Taihu. Estos escenarios consistían en una serie de tres tecnologías de tratamiento de agua en diferentes configuraciones, desde la corriente ascendente hasta la descendente. Los resultados mostraron que el escenario óptimo comprendía un sistema de oxidación por contacto biológico aguas arriba, seguido de un lecho flotante ecológico y un lecho ecológico móvil vertical río abajo. Las tasas de reducción de contaminación alcanzadas en este escenario para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno amoniacal ($(NH)_3-N$), el nitrógeno total (TN) y el fósforo total (TP) fueron de 49.50%, 32.81%, 35.94% y 45.27%, respectivamente. El modelo QUAL2K demostró ser una herramienta eficaz en la evaluación comparativa de posibles programas de mejora de la calidad del agua [20].

Leu H, Lee C, Ouyang C, &Pai T, en 1998, realizaron un estudio sobre un modelo de calidad del agua modificado para las variaciones de la DBO y OD en un canal poco contaminado. Las pruebas experimentales se realizaron en un canal modelo en diversas condiciones de flujo. Los

resultados de la prueba mostraron que el coeficiente de tasa de desoxigenación de la materia orgánica (k_1) varía significativamente con las velocidades del agua en lugar de ser una constante como se creía anteriormente. El modelo actual junto con una versión simplificada y el modelo convencional de Streeter-Phelps se utilizaron para comparar los datos experimentales obtenidos de las pruebas realizadas en diversas condiciones de flujo. Los resultados de la prueba revelaron que las concentraciones de BOD y DO residuales pronosticadas por el presente estudio concuerdan muy bien con los valores medidos, mientras que los valores predichos se desvían significativamente de los datos observados [21].

González M., Torres F., Rodríguez H., & Rivera N., en el 2013, realizaron un estudio el modelo de calidad del agua QUAL2K, fue aplicado y calibrado al dren El Burrión, el drenaje principal del distrito de riego 063, en el Municipio de Guasave, Sinaloa, México. El modelo se ajustó adecuadamente a los datos medidos, para lo cual se tuvo en cuenta la influencia de descargas puntuales y descargas difusas presentes a lo largo del dren. La calidad de agua fue evaluada para estimar los impactos que las descargas de agua residual y los drenes tributarios tiene sobre el dren principal. Esto permitió examinar la influencia que tienen las estrategias de manejo de calidad del agua en los distritos de riego, sobre los parámetros de calidad del agua más representativos, como el oxígeno disuelto y los nutrientes [22].

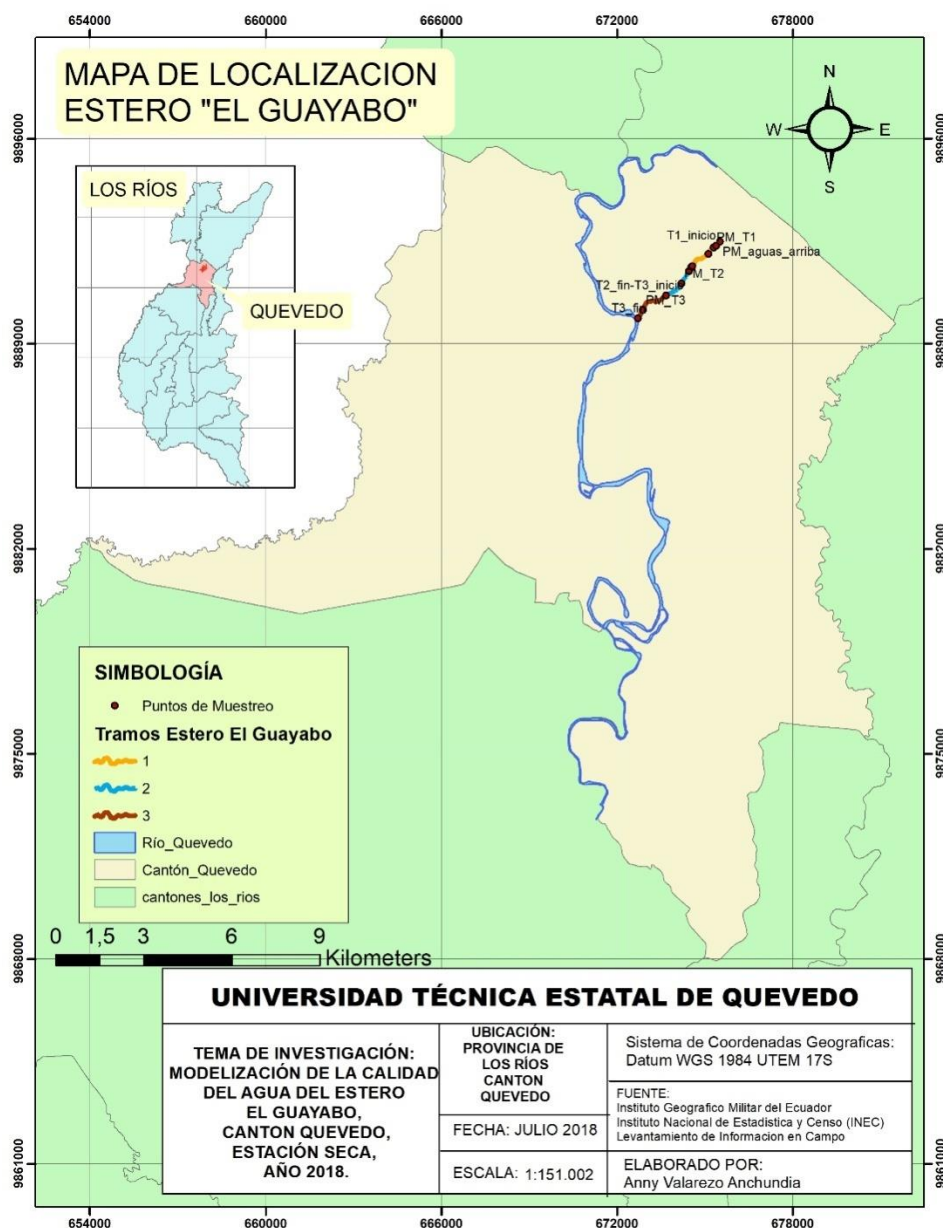
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización

La presente investigación se realizó en el estero EL Guayabo del cantón Quevedo, provincia de Los Ríos, con una altitud promedio de 72 msnm, predomina el ecosistema del Bosque Tropical Húmedo, con una temperatura promedio anual de 25°C, la precipitación varía entre 1750-2500 mm y el suelo va desde franco arenoso hasta arcilloso. El segmento estudiado nace desde la parroquia La Esperanza y desemboca en el río Quevedo.

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio



3.2 Tipo de investigación

3.2.1 Investigación exploratoria

La investigación exploratoria se realizó para conocer la situación actual del estero El Guayabo, ya que no cuenta con estudios previamente realizados sobre calidad del agua. La primera fase que tiene que hacer el investigador para ver las condiciones iniciales que tiene el objeto de estudio es conseguir información general, comportamiento y características sobre lo cual pretendemos establecer la investigación y llevarla a cabo.

3.3 Métodos de investigación

3.3.1 Método analítico

Este modelo es el encargado de conocer las causas y sus características del objeto de estudio, se encargó de la identificación de las características hidromorfológicas en el estero y de la misma manera determinar las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos necesarios para la aplicación de modelo matemático requerido en la presente investigación.

3.3.2 Método inductivo

Es el encargado de conocer la realidad del problema, por tal motivo la aplicación de este método en la investigación se basó en el planteamiento del modelo de Streeter-Phelps, del cual obtenemos resultados sobre la calidad del agua y que son presentados a través de gráficos sobre los perfiles de DBO Y OD que son los encargados de concluir el grado de contaminación por materia orgánica en cuerpos de agua y de la misma manera se emplearon pruebas estadísticas para la calibración y simulación en la modelización.

3.4 Fuentes de recopilación de información

Fuentes primarias. - Los datos principales de la investigación se obtuvieron de la fase de campo que duro de julio hasta octubre del 2018.

Fuentes secundarias. - La búsqueda de información para la investigación se basó en artículos

científicos en distintas plataformas de internet con temas relacionados a modelización de la calidad del agua.

3.5 Diseño de la investigación

3.5.1 Determinación de las características hidrodinámicas del estero El Guayabo

El cuerpo de agua considerado en la investigación, fue segmentado en 3 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 identificaron en el recorrido exploratorio previo al desarrollo de la investigación [23].

En cada una de las unidades de modelización se realizaron aforos quincenales en la estación seca en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre del año 2018, utilizando el método del flotador, que se basó en determinar el área de la sección transversal de la corriente, con la ayuda de estacas y un flexómetro. Para determinar la velocidad de la corriente se utilizó una pelota flotante ligera donde se midió con un cronómetro el tiempo que duro la pelota en recorrer una longitud de entre cinco a siete metros. De modo que el caudal en los tramos y descargas se obtuvo multiplicando el área de las secciones transversales al cauce, por la velocidad de la corriente. Para tal efecto el área de la sección transversal representativa de cada tramo fue calculada mediante la siguiente integral definida [23].

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

Donde, los límites inferior y superior de la integral (x_0 y x_f) fueron el inicio y el final de la anchura del cauce; y $f(z)$ es la curva resultante del ajuste de los diferentes datos e profundidad que se midieron en las secciones transversales de los tramos a modelizar, o por regresión polinómica o por el método de interpolación de Newton [23].

3.5.2 Caracterización de la calidad del agua del estero El Guayabo

Paralelamente a los aforos, se recolectaron muestras de agua quincenales *in situ* en los 7 puntos de muestreo designados en el cauce para poder modelizar la calidad del agua del estero El Guayabo, es decir, en los tres tramos, aguas arriba del tramo uno y en la descarga principal, observando los criterios establecidos por las normas INEN 2176:1998, INEN 2226:2000 e INEN 2169:1998, sobre manejo y conservación de muestras, técnicas de muestreo, y diseño de programas de muestreo, respectivamente. Se determinaron cinco parámetros físicoquímicos en 7 puntos de muestreo, 8 veces: demanda bioquímica del oxígeno (DBO), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE) y temperatura. La DBO fue el único parámetro cuyos análisis fueron hechos por un laboratorio acreditado, mientras que los parámetros restantes se tomaron con su respectivo equipo de medición [24][25].

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

En la tabla 1 se detallan los equipos empleados en la medición de los parámetros referidos:

Tabla 1. Equipos utilizados para la medición de parámetros físicos y químicos básicos

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

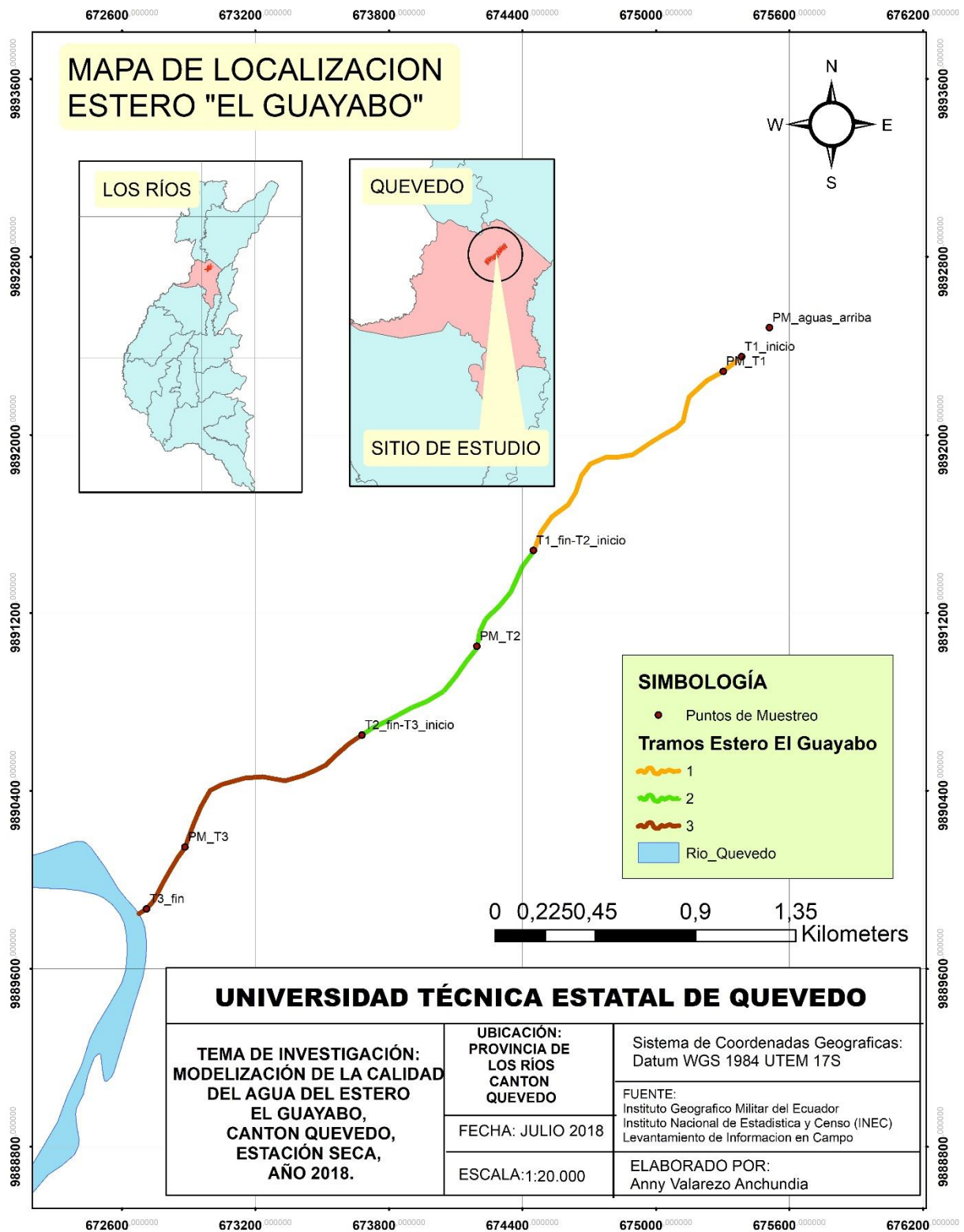
3.5.2.1 Identificación puntos de muestreo

Para la modelización de la calidad del agua del estero El Guayabo, se realizó el recorrido para el reconocimiento del mismo, tomando en cuenta las características hidromorfológicas y se identificó los afluentes que se descargaban en el cuerpo del agua, en el cual se establecieron 3 tramos y 2 afluentes, donde un afluente consistió en una descarga de canal de aguas de cultivo y otra descarga continua de aguas residuales de una industria maderera. El segmento total considerado para la investigación es de 4,15 km, donde se establecieron 7 puntos de muestreo que se observan en la siguiente tabla 2.

Tabla 2. Coordenadas UTM de los puntos de muestreo

Puntos de muestreo	COORDENADAS UTM	
	LONGITUD E	LATITUD N
Aguas arriba	675509	9892436
Descarga 1	675363	9892325
1 PM-Tramo 1	675278	9892277
2 PM-Tramo 1	672749	9889873
Tramo 2	674204	9891048
Descarga 2	673653	9890639
Tramo 3	672749	9889873

Figura 2. Mapa de localización de los puntos de monitoreo



3.5.2.2 Recolección de muestras de agua

Para las mediciones de la temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica se tomaron las muestras de manera *in situ* en los siete puntos de muestreo, es decir, aguas arriba del tramo uno, en los puntos de muestreo de los tres tramos y las dos descargas, llenando un envase estéril y prelavado con agua del mismo estero. En el caso de la demanda bioquímica del oxígeno (DBO), se utilizaron envases de plástico aproximadamente de 1 litro de agua del estero (solicitado por el laboratorio acreditado), tomando en la mitad del cauce y sumergiendo el envase hasta llenar al tope, después rotular las muestras de agua con el nombre del punto, lugar de toma de muestra, la hora en que la tomaron y las coordenadas del punto, para después ser enviadas al laboratorio encargado del análisis, como se lo especifica en la siguiente tabla 3.

Tabla 3. Requerimiento del laboratorio acreditado

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

3.5.3 Modelización de la calidad del agua del estero El Guayabo con el modelo matemático de Streeter-Phelps

La modelización matemática de la calidad del agua se realizó utilizando las ecuaciones del modelo de Streeter-Phelps, producto de lo cual se obtuvieron perfiles tanto del OD como de la DBO, que describieron el comportamiento de tales variables en cada uno de los tramos del estero El Guayabo. Cabe señalar que, para efectos de la modelización, se utilizaron los valores medios calculados para las variables hidrodinámicas y fisicoquímicas, en la estación seca. El referido modelo matemático se expresa como[23][26]:

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

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 [26].

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

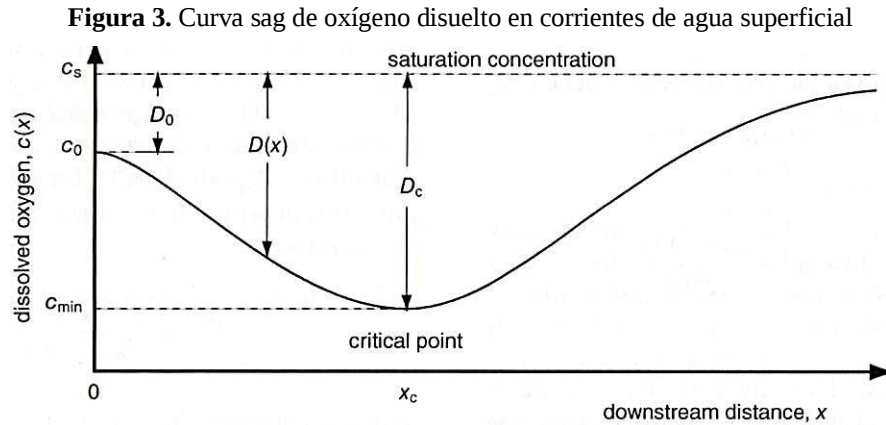
$$L = L_o e^{-kt}$$

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

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

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

De modo que al final se obtuvieron perfiles de oxígeno disuelto para describir la curva sag correspondiente en la figura 3 [23]:



Fuente: Sierra 2011

Además, las constantes de desoxigenación fueron estimadas mediante el método de Thomas, y las constantes de reaireación mediante las siguientes fórmulas empíricas, diseñadas por varios autores como se puede observar en las siguientes tablas 4.

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

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

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

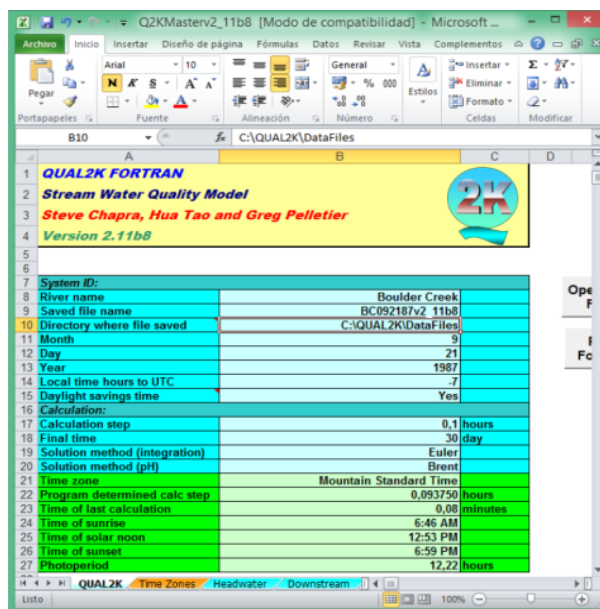
Asimismo, se efectuó la calibración del modelo de Streeter-Phelps, ajustando las constantes cinéticas de reaireación, desoxigenación y de remoción total de la DBO, k_a , k_d , y k_r , respectivamente. Este proceso de calibración paramétrica se realizó mediante una combinación del método manual, o de ensayo y error, y el método automático, para el cual se empleó la metodología GLUE (GeneralizedLikelihoodUncertaintyEstimation), que consistió en definir los intervalos o rangos de variación de las constantes cinéticas, suponiendo una distribución de probabilidad uniforme de sus posibles valores, y luego, mediante simulaciones de Monte Carlo, se obtuvieron 100000 posibles combinaciones de los parámetros a calibrar, en función de los cuales se obtienen respuestas de las variables modelizadas. De este modo, y minimizando el estadístico la función objetivo, se obtienen los valores calibrados de las constantes cinéticas [26].

La validación del modelo se desarrolló siguiendo las directrices de Sierra (2011), en el sentido de correr el modelo calibrado para predecir concentraciones de OD y DBO₅, manteniendo constantes los parámetros ya ajustados y manipulando las variables externas, principalmente las cargas contaminantes y las características hidrodinámicas del estero [23].

3.5.4 Simulación de la calidad del agua del estero El Guayabo con programas de computadora

Finalmente, se utilizó el software de modelización de la calidad del agua superficial QUAL2K, versión 2.12, como se observa en la figura 4, para la simulación computacional del comportamiento del OD y la DBO en el agua del estero.

Figura 4. 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 y dos descargas, en las cuales se ingresaron datos que fueron tomados en la fase de campo durante los cuatro meses de las ocho campañas de muestreo, realizándose aforos en los siete puntos de muestreo, es decir, aguas arriba del tramo uno, puntos de muestreo en los tres tramos y dos descargas (ver anexos 16-20).

3.6.2 Hoja del modelo de Streeter-Phelps

La hoja de cálculo para la modelización, fue diseñada en base a las ecuaciones de Streeter-Phelps, ingresando los valores y variables requeridas para el funcionamiento del modelo y obtención de los perfiles del OD y la DBO, para la determinación de la calidad del agua del estero (ver anexos 21-24).

3.6.3 Hojas de calibración de Statgraphics

Para la calibración de las constantes cinéticas, se utilizó el programa de Statgraphics, el cual es una herramienta de análisis de datos, donde se ingresaron los promedios mensuales de las características hidromorfológicas y parámetros como temperatura, oxígeno disuelto y DBO de los siete puntos de muestreo y mediante la opción de Simulación de Monte Carlos, se realizaron 100000 simulaciones, de las cuales arrojaron datos predichos más exactos o iguales a los medidos en el campo (ver anexos 25-27).

3.7 Tratamiento de los datos

3.7.1 Análisis de rendimiento

El análisis de rendimiento de la OD y DBO para determinar la bondad del ajuste de los valores medidos en el campo con los valores pronosticados por el modelo matemático, se efectuó mediante el coeficiente de determinación R^2 y el índice de rendimiento de Nash-Sutcliffe (NSE), como se puede observar en la tabla 5[27].

Tabla 5. Medidas de bondad de 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-QualityEngineering in Natural Systems: Fate and TransportProcesses in theWaterEnvironment; 2013

3.8 Recursos materiales y equipos

3.8.1 Materiales y equipos

A continuación, se detallan en la tabla 6, los materiales que se utilizaron para el desarrollo de la fase de campo, materiales de oficina, equipos utilizados para las mediciones de los distintos parámetros, software y demás bases de datos que fueron efectuados en la modelización:

Tabla 6. Materiales y equipos utilizados en la investigación

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

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de la investigación

4.1.1 Características hidromorfológicas del estero El Guayabo

Las características hidromorfológicas del estero El Guayabo para la modelización de la calidad del agua, fueron: caudal, velocidad de la corriente, profundidad del cauce, el área de la sección transversal y el ancho.

4.1.1.1 Caudal

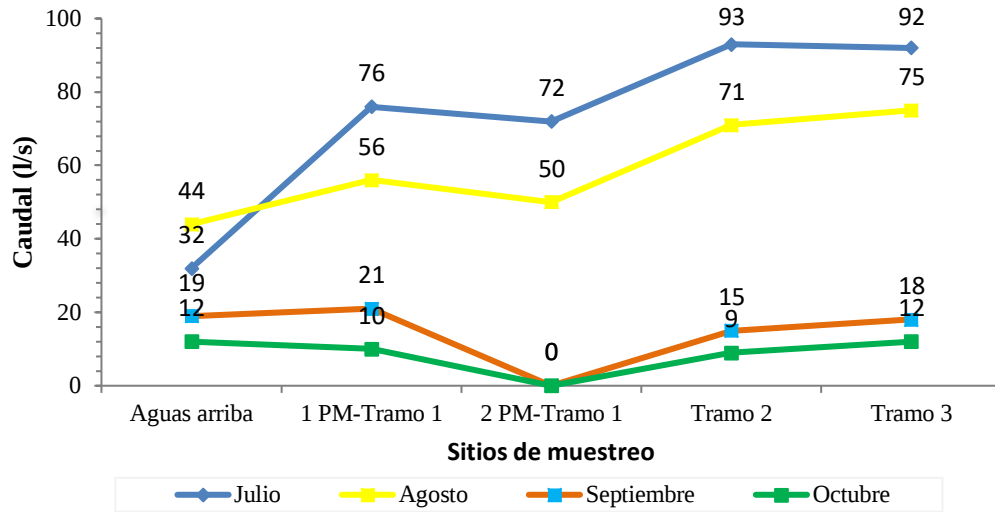
Los caudales determinados en las ocho campañas de muestreo se detallan en la tabla 7:

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

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga 1	1 PM- Tramo 1	2 PM - Tramo 1	Tramo 2	Descarga 2	Tramo 3
07-Jul-18	23	79	112	105	95	6	101
21-Jul-18	41	22	40	39	90	6	82
04-Ago-18	50	21	71	76	78	4	82
18-Ago-18	37	2	40	24	63	4	67
08-Sep-18	7	5	15	-	11	3	14
22-Sep-18	29	9	26	-	18	4	22
11-Oct-18	9	6	11	-	9	2	11
20-Oct-18	15	8	8	-	8	5	13

Se puede observar en la tabla 7 los resultados obtenidos en el trabajo de campo durante los aforos en los puntos de muestreo establecidos en el estero El Guayabo. En el segundo punto de muestreo del tramo 1 no se pudieron realizar aforos por la escasez de agua, debido a que estancan y bombean agua del estero para el uso agrícola en esta zona. En el grafico se puede observar que los caudales disminuyen a medida que pasan los meses debido a que la fase de campo se desarrolló en época seca, con los mayores caudales registrados en los dos primeros meses (julio y agosto), llegando a un caudal en los puntos de muestreo del tramo uno de 105 a 112 l/s y desembocando con un caudal de 101 l/s; por el contrario, los caudales más bajos se registran en los últimos meses, es decir septiembre y octubre, llegando a valores de 8 l/s en los puntos de muestreo del tramo uno y dos, desembocando con un caudal de 11 l/s.

Gráfico 1. Variación del caudal del estero El Guayabo



En el gráfico 1 se tomaron los valores promedios de cada mes, para cada uno de los puntos de muestreo de los tramos, donde se puede observar que los mayores niveles de caudales se encuentran en el mes de julio y agosto, llegando a tener aguas arriba del tramo uno un caudal promedio de 32 y 44 l/s respectivamente y llegando a desembocar en el tramo tres con un caudal promedio de 92 y 75 l/s respectivamente, mientras que en los meses de septiembre y octubre tiende a disminuir los caudales, donde aguas arriba del tramo uno tiene un caudal promedio de 19 y 12 l/s respectivamente y desemboca en el tramo tres con un caudal de 18 y 12 l/s respectivamente.

4.1.1.2 Velocidad de la corriente

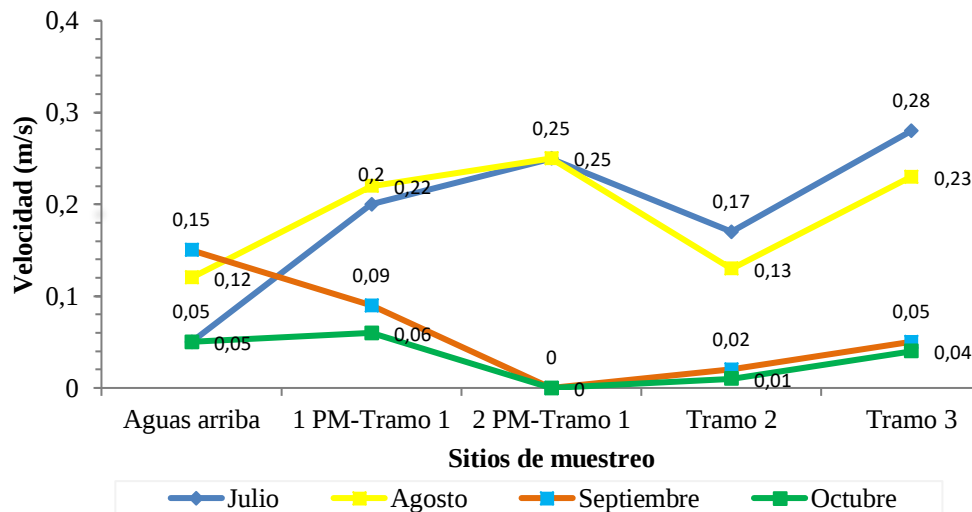
Las velocidades de la corriente fueron determinadas mediante los aforos realizados en las corrientes principales, como se puede observar en la siguiente Tabla 8:

Tabla 8. Velocidad de la corriente en m/s del estero El Guayabo en la estación seca

Fecha de campaña	Aguas arriba	1 PM – Tramo 1	2 PM - Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
07-Jul-18	0,05	0,20	0,32	0,14	0,31
21-Jul-18	0,05	0,20	0,18	0,20	0,25
04-Ago-18	0,05	0,24	0,29	0,17	0,26
18-Ago-18	0,18	0,19	0,20	0,08	0,19
08-Sep-18	0,18	0,10	-	0,03	0,05
22-Sep-18	0,12	0,08	-	0,02	0,04
11-Oct-18	0,08	0,07	-	0,01	0,04
20-Oct-18	0,02	0,04	-	0,01	0,03

En la tabla 8 se obtienen los valores de la velocidad de la corriente de las ocho campañas en los puntos de muestreo de los tramos, en el cual se puede observar que en el segundo punto de muestreo del tramo uno, no existen valores por falta de agua en el estero para realizar el aforo. Las velocidades sufren cambios dependiendo de los tramos y meses, donde la velocidad más alta se registró en el mes de julio, en el segundo punto de muestreo del tramo uno de 0,32 m/s, a su vez le sigue el tramo tres con 0,31 m/s, y la más baja fue el mes de octubre, en el punto de muestreo del tramo dos de 0,01 m/s.

Gráfico 2. Velocidad de la corriente en el estero El Guayabo



En el gráfico 2 se tomaron los valores promedios de cada mes, en cada uno de los puntos de muestreo de los tramos, donde la velocidad promedio mensual más alta se registró en el mes de julio en el tramo tres de 0,28 l/s, a su vez hubo una similitud en la velocidad promedio mensuales en los meses de julio y agosto en el segundo punto de muestreo del tramo dos de 0,25 l/s, y la velocidad promedio mensual más baja se encontró en el mes de septiembre y octubre de 0,02 y 0,01 l/s respectivamente.

4.1.1.3 Profundidad del cauce

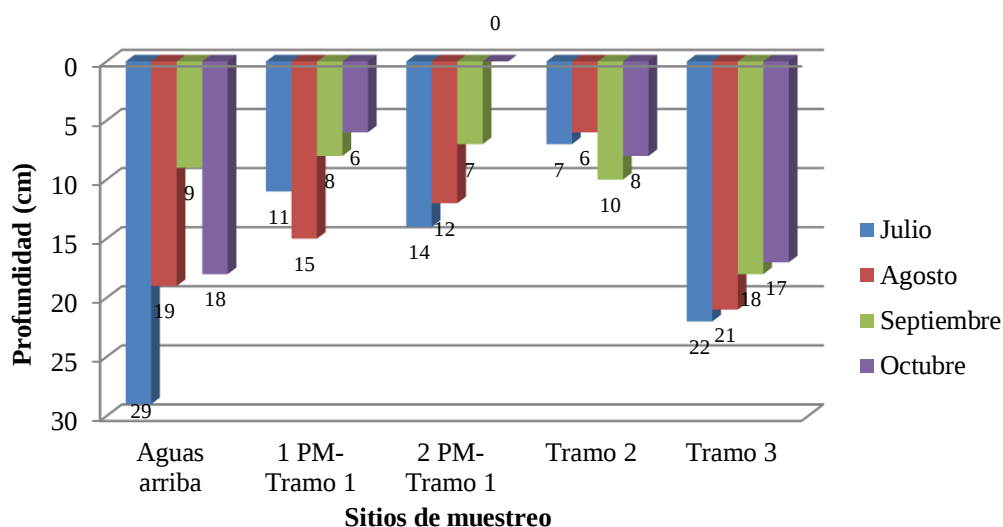
La profundidad del cauce se calculó mediante el valor promedio medido en el centro de la corriente, dividida en dos secciones, para cada uno de los puntos de muestreo, como se puede observar en la siguiente Tabla 9.

Tabla 9. Profundidad del cauce en m del estero El Guayabo en la estación seca

Fecha de campaña	Aguas arriba	1 PM – Tramo 1	2 PM – Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
<i>07-Jul-18</i>	0,29	0,14	0,16	0,08	0,23
<i>21-Jul-18</i>	0,28	0,08	0,11	0,05	0,20
<i>04-Ago-18</i>	0,29	0,16	0,12	0,06	0,21
<i>18-Ago-18</i>	0,08	0,13	0,11	0,06	0,20
<i>08-Sep-18</i>	0,09	0,10	-	0,12	0,20
<i>22-Sep-18</i>	0,08	0,06	-	0,08	0,16
<i>11-Oct-18</i>	0,08	0,06	-	0,08	0,16
<i>20-Oct-18</i>	0,27	0,06	-	0,08	0,18

En la tabla 9 se obtienen los valores de la profundidad del cauce en las ocho campañas de los puntos de muestreo por tramos, a su vez no existen datos en los meses de septiembre y octubre para el segundo punto de muestreo del tramo uno por falta de agua. Se puede observar que el tramo tres tiene mayor profundidad en todos los meses, varía desde julio a octubre de 0,23 a 0,18 m respectivamente, y el tramo dos en todos los meses cuenta con muy poca profundidad, que va de julio a octubre de 0,08 a 0,08 m respectivamente.

Gráfico 3. Variación de la profundidad en el estero El Guayabo



El gráfico 3 se tomaron los valores promedios de cada mes, en cada uno de los puntos de muestreo de los tramos, donde se puede observar que las profundidades más constantes fueron en el tramo tres, durante todos los meses, donde la mayor profundidad se encuentra en el mes de julio a 0,22 m y su menor profundidad en el mes de octubre a 0,17 m. Sin embargo, en el mes de julio en aguas arriba del tramo uno se encuentra la mayor profundidad del cauce con 0,29 m y la menor profundidad se encuentran en los meses de octubre y agosto, con una similitud de 0,06 m.

4.1.2 Caracterización de la calidad del agua del estero El Guayabo

4.1.2.1 Oxígeno Disuelto

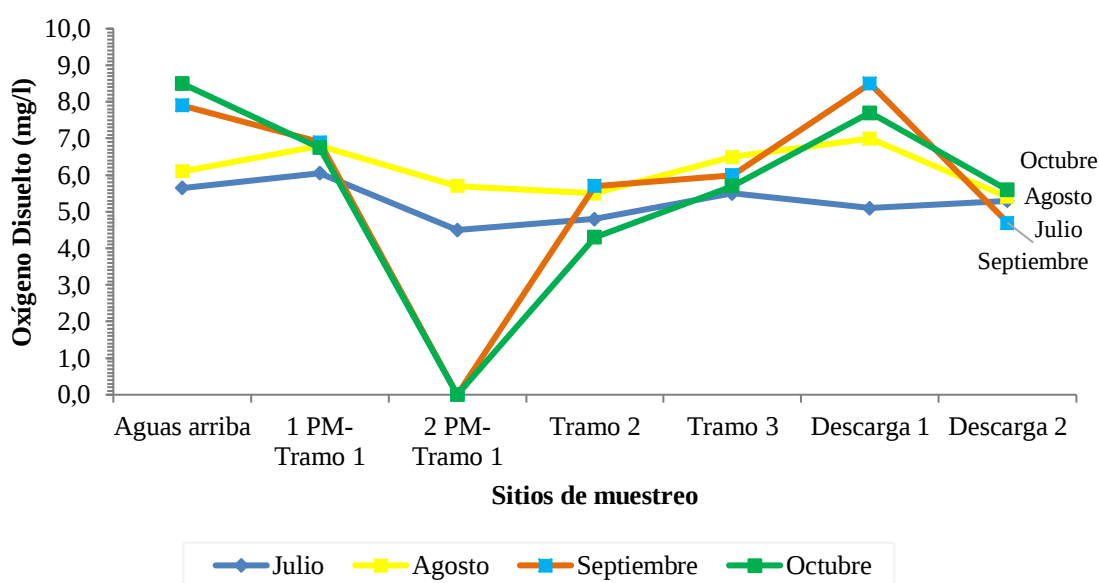
En la siguiente tabla 10 se muestran los valores de oxígeno disuelto medidos en cada uno de los puntos de muestreo.

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

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

En la tabla 10 se adquieren valores de oxígeno disuelto para los distintos puntos de muestreo en las ocho campañas, donde en el segundo punto de muestreo del tramo uno para el mes de septiembre y octubre no se registraron valores por falta de agua en el estero, ya que en ese tramo bombean agua para el uso agrícola del sector. Por otra parte, se puede observar que los valores más altos de oxígeno disuelto se dan aguas arriba y en la descarga uno, en los meses de octubre y agosto, con valores de 8,5 y 8,2 mg/l respectivamente; y el valor más bajo se encuentra en el tramo dos del mes de octubre de 4,3 mg/l.

Gráfico 4. Variación del oxígeno disuelto en el estero El Guayabo



En el gráfico 4 se muestra la variación de los niveles de oxígeno disuelto de los promedios mensuales en los distintos puntos de muestreo, observando que en los últimos dos meses no existen datos para el segundo punto de muestreo del tramo uno. Los niveles más altos de OD se da aguas arriba y en la Descarga 1, en los meses de octubre y septiembre, respectivamente, con un promedio de 8,5 mg/l para ambos casos; y el valor promedio más bajo de OD se registró en el tramo dos del mes de octubre con un valor de 4,3 mg/l.

4.1.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno

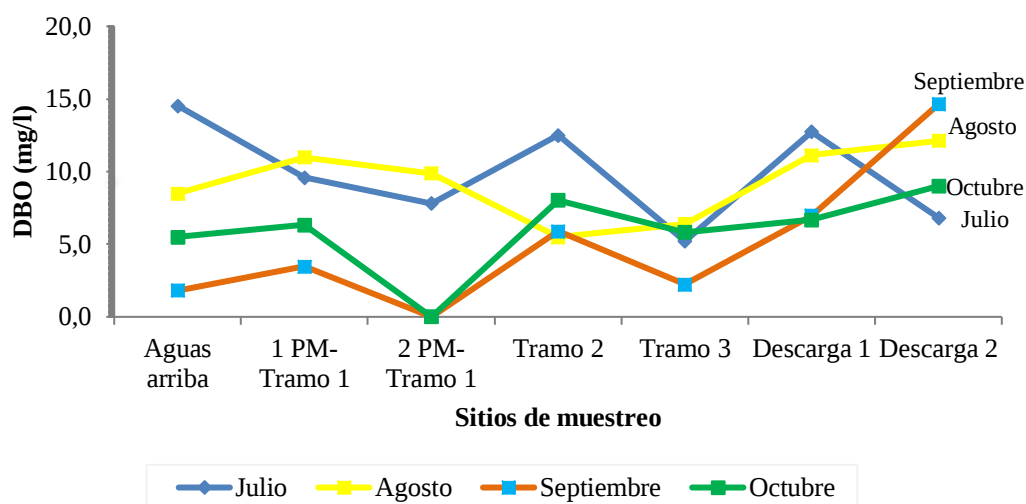
Los valores de DBO fueron medidos en cada uno de los puntos de muestreo, detallados en la siguiente Tabla 11.

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

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga 1	1 PM - Tramo 1	2 PM - Tramo 1	Tramo 2	Descarga 2	Tramo 3
07-Jul-18	6,10	10,20	6,10	2,0	6,10	2,2	2,20
21-Jul-18	22,98	15,30	13,08	13,62	18,90	11,43	8,22
04-Ago-18	9,18	11,46	12,90	7,62	6,60	8,40	7,41
18-Ago-18	7,80	10,80	9,06	12,12	4,41	15,84	5,34
08-Sep-18	1,02	8,46	3,78	-	7,86	15,12	3,27
22-Sep-18	5,49	2,61	3,15	-	3,93	14,13	1,20
11-Oct-18	4,50	5,13	5,01	-	6,39	6,75	3,78
20-Oct-18	6,48	8,25	7,65	-	9,66	11,25	7,86

En la Tabla 11 se encuentra la variación de la DBO, y como se puede observar no constan datos en los meses de septiembre y octubre por falta de agua en el estero, ya que los habitantes del sector utilizan el sistema de bombeo para el riego de sus cultivos. Aguas arriba del mes de julio se presenta el valor máximo de DBO de 22,98 mg/l y le sigue el tramo dos del mismo mes con un valor de 18,90 mg/l; por otro lado, los niveles más bajos se encuentran en el mes de septiembre para aguas arriba y tramo tres de 1,02 y 1,20 mg/l, respectivamente.

Gráfico 5. Variación de la DBO5 en el estero El Guayabo



En el gráfico 5 se muestra los niveles promedios mensuales de DBO en los distintos puntos de muestreo, donde el valor promedio mensual máximo se dio en la descarga dos del mes de septiembre de 14,63 mg/l, y le sigue aguas arriba del mes de julio con un valor promedio mensual de 14,54 mg/l; por otro lado, los valores promedios mensuales más bajos se observaron en el mes de septiembre aguas arriba y tramo tres con 1,8 y 2,2 mg/l respectivamente.

4.1.2.3 pH

En la siguiente Tabla 12, se observan las medidas de pH tomadas en diferentes puntos de muestreo.

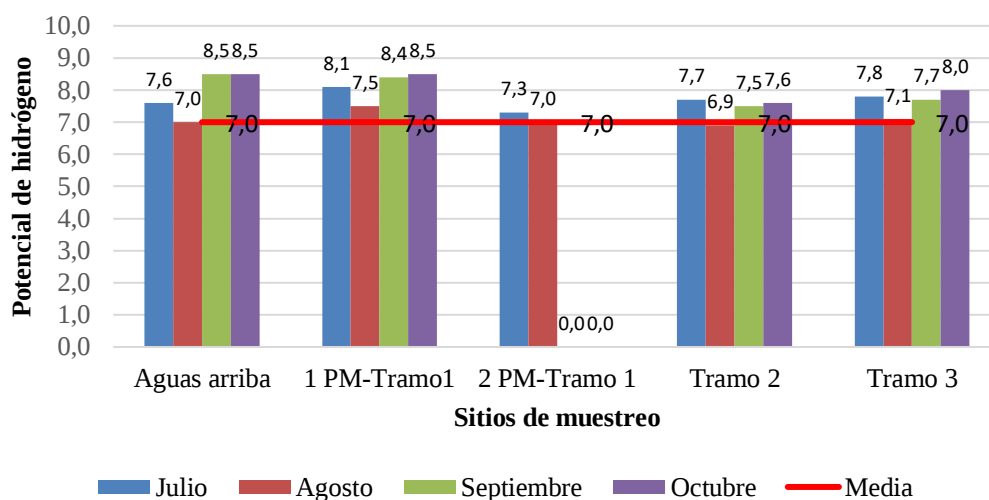
Tabla 12. Valores de pH en el estero El Guayabo

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

20-Oct-18	8,6	9,6	8,7	-	7,6	9,2	8,0
-----------	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----

En la Tabla 12 se encuentran los valores de pH en los distintos puntos de muestreo, donde se puede observar que no existen valores en el segundo punto de muestreo del tramo uno en el mes de septiembre y octubre por falta del cauce, ya que los habitantes bombean agua para el uso agrícola. Donde los valores más altos se presentaron en el mes de octubre en la descarga dos y descarga uno, de 9,7 y 9,6 respectivamente, siendo un pH alcalino; y los valores más bajos se dio en el mes de agosto en aguas arriba y tramo dos, de 6,6 y 6,9 respectivamente, que son consideradas un poco acidas, pero siguen dentro del rango.

Gráfico 6. Variación del pH en el estero El Guayabo



En el gráfico 6 se muestran los valores promedios mensuales para cada corriente principal del pH, donde se pueden observar que en todos los puntos de muestreo sobrepasan el límite de un pH normal de 7,0, teniendo un valor promedio mensual máximo en aguas arriba en los meses de septiembre y octubre y en el primer punto de muestreo del tramo uno del mes de octubre de 8,5 para ambos casos; y el valor promedio mensual mínimo se encuentra en el tramo dos del mes de agosto con 6,9 y le sigue aguas arriba y el segundo punto de muestreo del tramo uno del mes de agosto con 7,0.

4.1.2.4 Conductividad eléctrica

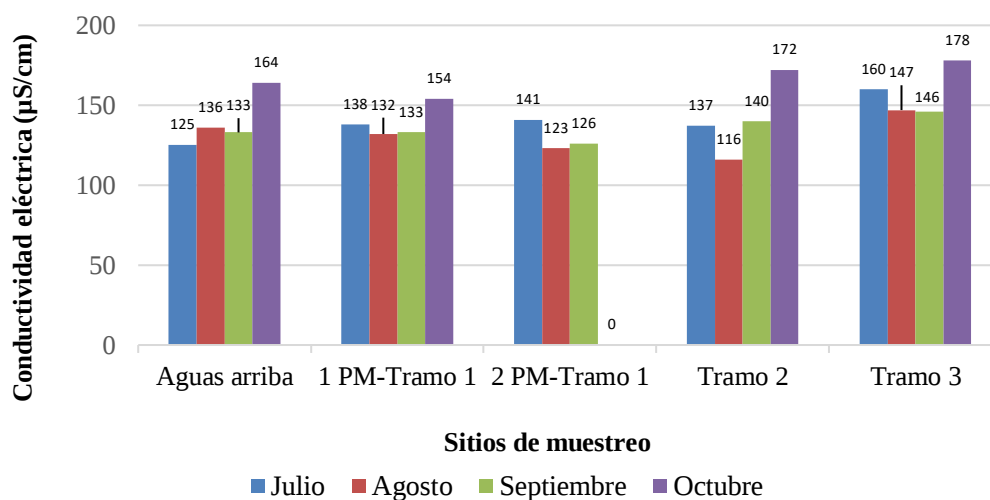
Los valores de conductividad eléctrica se midieron en cada punto de muestreo, como se puede apreciar en la Tabla 13.

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

Fecha de campaña	Aguas arriba	Descarga 1	1 PM - Tramo 1	2 PM - Tramo 1	Tramo 2	Descarga 2	Tramo 3
07-Jul-18	138	161	144	168	160	238	179
21-Jul-18	112	112	133	114	114	162	140
04-Ago-18	140	80	140	120	111	242	137
18-Ago-18	131	103	123	126	122	307	156
08-Sep-18	134	89	131	-	134	373	150
22-Sep-18	133	105	134	-	145	632	142
11-Oct-18	128	84	120	-	134	320	139
20-Oct-18	200	131	187	-	209	499	217

En la tabla 13 se puede observar que en los meses de septiembre y octubre no presentan valores, ya que no contaba con agua el estero, por el sistema de bombeo que utilizaban los habitantes para regar sus cultivos. Los valores de conductividad eléctrica más altos se dieron en la descarga dos durante todos los meses que va desde 162 a 632 $\mu\text{S/cm}$, y los valores más bajos se registraron en la descarga uno en los meses de agosto y octubre de 80 y 84 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente.

Gráfico 7. Variación de la conductividad eléctrica en el estero El Guayabo



En el gráfico 7 se puede observar los valores promedios mensuales de conductividad eléctrica para cada corriente principal, donde el valor máximo de CE se da en el tramo tres del mes de octubre de 178 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y le continua con el tramo dos del mes de octubre con 172 $\mu\text{S}/\text{cm}$; mientras que los valores mínimos de CE se dan en el mes de agosto en el tramo dos y segundo punto de muestreo del tramo uno, con 116 y 123 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente.

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 reaeración (k_a)

En la Tabla 14 se puede apreciar los valores de la constante de re-aeración, k_a (d^{-1}) las mismas que son calculados por fórmulas empíricas y no se aproximaron al ajuste inicial del modelo por la variación en las condiciones hidromorfológicas. En la cual se observa que los valores más bajos de las constantes de reaeración corresponden al tramo uno, ya que en este punto durante todos los meses la corriente es muy lenta y por consiguiente es menor el proceso de absorción de oxígeno de la atmósfera por el cuerpo de agua. En el tramo dos se aprecia que en los dos primeros meses la corriente del cauce es levemente más rápida y los dos últimos meses vuelve hacer muy lenta. En el tramo tres por ser la desembocadura existe una corriente más rápida en todos los meses.

Tabla 14. Resultados de los valores calculados y calibrados de la constante de reaeración (k_a)

Meses	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3	
	<i>Ka calculada</i>	<i>Ka calibrada</i>	<i>Ka calculada</i>	<i>Ka calibrada</i>	<i>Ka calculada</i>	<i>Ka calibrada</i>
<i>Julio</i>	20,174	1,122	22,659	7,014	7,175	3,974
<i>Agosto</i>	19,220	0,616	21,246	3,414	6,002	5,847
<i>Septiembre</i>	17,447	0,608	2,473	0,028	1,579	1,475
<i>Octubre</i>	17,133	0,146	2,233	0,036	1,357	2,140

4.1.3.1.2 Constante de desoxigenación (K_d)

En la Tabla 15 se encuentran los valores de las constantes de desoxigenación a la temperatura y profundidad del agua medida en los puntos de muestreo, para su calibración se utilizó el software estadístico Statgraphic, mediante simulaciones de Montecarlo, obteniendo las

constantes que más se ajusten a las reales de cada tramo. Se puede observar que en el tramo uno se obtienen las constantes más altas, debido a la primera descarga de aguas de cultivo que existe en este segmento y el tramo tres presenta los valores más bajos tanto para la calculada y calibrada, por no presentar ningún cambio en su corriente de agua.

Tabla 15. Resultados de los valores calculados y calibrados de la constante de desoxigenación (k_d)

Meses	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3	
	<i>Kd calculada</i>	<i>Kd calibrada</i>	<i>Kd calculada</i>	<i>Kd calibrada</i>	<i>Kd calculada</i>	<i>Kd calibrada</i>
<i>Julio</i>	1,356	1,165	1,777	0,859	1,083	0,710
<i>Agosto</i>	1,332	1,297	1,927	1,897	1,120	0,509
<i>Septiembre</i>	1,816	1,199	1,643	0,048	1,269	0,658
<i>Octubre</i>	1,889	0,696	1,666	0,690	1,201	0,629

4.1.3.1.3 Constante de remoción total de la DBO (K_r)

En la Tabla 16 se aprecian valores de la constante de remoción total de la DBO, para que la simulación se ajuste a las medidas reales, se observa en el tramo tres valores calibrados altos a los calculados, por la profundidad y esto a su vez genera sedimentación en el fondo del cauce. Cabe recalcar que el efecto de la sedimentación de la materia orgánica es despreciable en algunos tramos del estero, y se asume que la constante de desoxigenación es igual a la constante de remoción.

Tabla 16. Resultados de los valores calculados y calibrados de la constante de remoción total de la DBO(k_r)

Meses	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3	
	<i>Kr calculada</i>	<i>Kr calibrada</i>	<i>Kr calculada</i>	<i>Kr calibrada</i>	<i>Kr calculada</i>	<i>Kr calibrada</i>
<i>Julio</i>	1,356	1,766	2,100	1,083	1,083	9,147
<i>Agosto</i>	1,332	3,051	2,659	3,134	1,120	2,611
<i>Septiembre</i>	1,375	1,496	2,492	0,052	0,581	2,158
<i>Octubre</i>	2,094	0,791	1,666	0,709	0,963	1,576

4.1.3.2 Comportamiento del Oxígeno Disuelto y la Demanda Bioquímica de Oxígeno

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

En la tabla 17 se observan los valores de entrada utilizados en la modelización del OD y la DBO para el mes de julio:

Tabla 17. Características de aguas arriba del tramo y descargas en el mes de julio

	Q (m ³ /s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (°C)
Corrientes aguas arriba	0,032	14,54	5,65	25,9
Descarga 1	0,051	15,30	5,10	24,9
Descarga 2	0,006	16,69	5,30	26,0

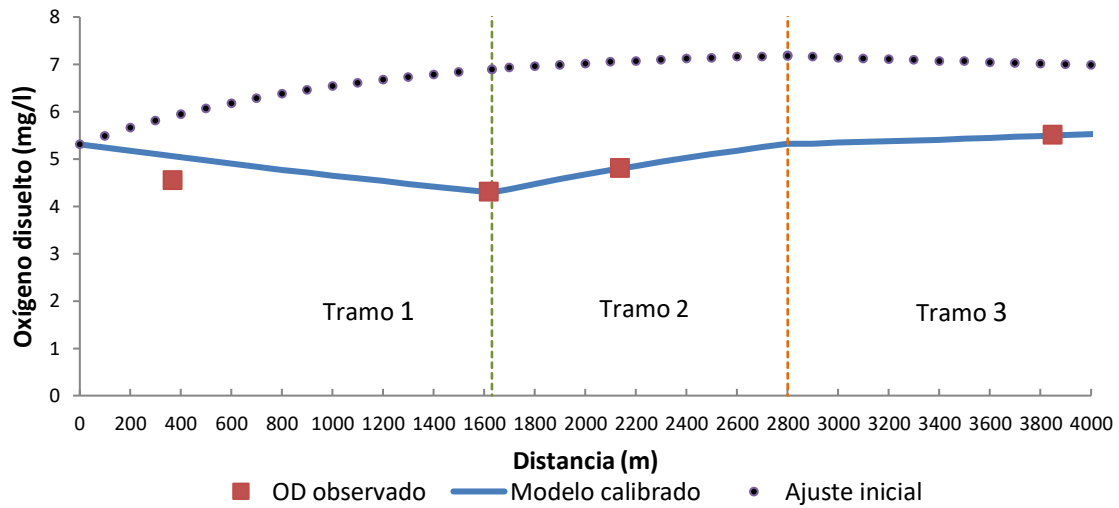
En la tabla 18 se puede apreciar las condiciones iniciales determinadas para cada tramo en el mes de julio, datos que sirvieron para la aplicación del modelo matemático y obtener los perfiles de oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno, tanto para el ajuste inicial como del modelo calibrado.

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

Tramo	L _o (mg/l)	OD ₀ (mg/l)	T ₀ (°C)	OD _{SAT} (mg/l)	D ₀ (mg/l)
1	15,01	5,31	25,29	8,22	2,91
2	12,99	4,29	25,33	8,21	3,92
3	12,21	5,32	25,37	8,21	2,89

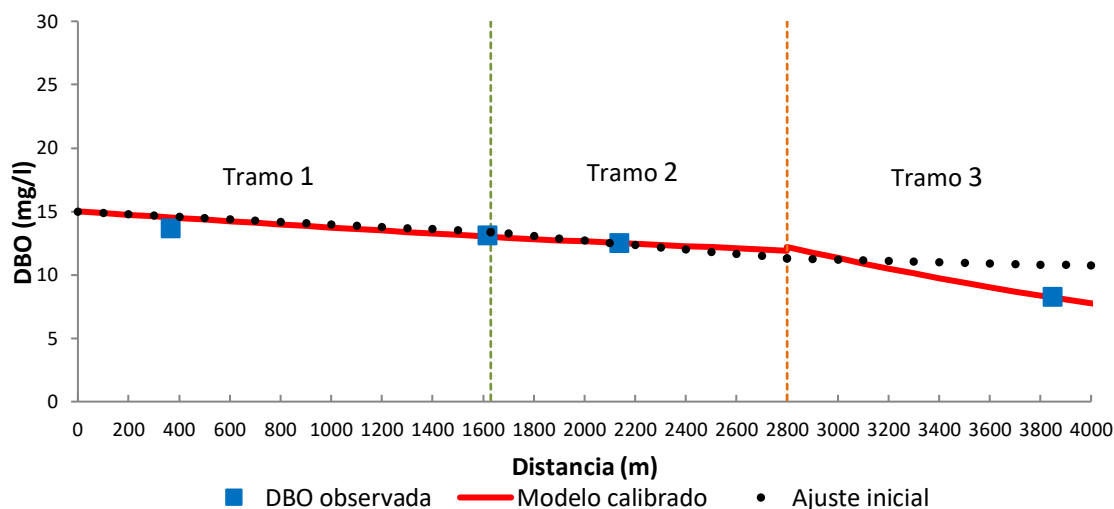
En el grafico 8 se puede apreciar el perfil de OD para el mes de julio, donde se determinó una constancia en todos los puntos de muestreo de los tramos, iniciando con una concentración en el primer punto de muestreo del tramo uno de 4,5 mg/l y luego en el segundo punto de muestreo del mismo tramo disminuye a 4,3 mg/l debido a la primera descarga de agua de cultivo que existe en este segmento. Para los tramos dos (2140 m) y tres (3850 m) los valores corresponden a 4,8 y 5,5 mg/l respectivamente, observando que la segunda descarga de la industria maderera no afecta en nada al punto de muestreo del tramo tres, ya que existe una distancia considerable que ayuda al oxígeno a recuperarse. Se observa también que, luego de la calibración paramétrica, se obtuvo un nivel de ajuste óptimo en relación con el ajuste inicial.

Gráfico 8. Perfil del OD del mes de julio



En el caso del perfil de la DBO mostrado en el gráfico 9, se observa un ajuste óptimo de la calibración del modelo de Streeter-Phelps en relación con las mediciones de campo en cada punto de muestreo. Al respecto, la curva revela una variación mínima desde una concentración inicial de 13,62 mg/l a 13,43 en el primer y segundo punto de muestreo del tramo 1; no obstante, la disminución se torna más pronunciada desde el tramo dos y tramo tres, con valores de 12,56 a 8,22 mg/l respectivamente, debido a la descarga industrial y pequeña profundidad del cauce, que genera una significativa sedimentación de la materia orgánica regulado por los valores altos determinados para la constante de remoción total de la DBO (k_r).

Gráfico 9. Perfil de la DBO del mes de julio



Los resultados del cálculo del error relativo entre los valores observados en la corriente y los predichos por el modelo calibrado, tanto para el OD como para la DBO, se puede apreciar en la Tabla 19, señalando que el ajuste tuvo errores muy pequeños, menores al 0,1%, ya que la literatura especializada sugiere un error máximo al 10%, siendo el error relativo más alto de 0,636 % en el tramo 1 para la DBO.

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

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
OD	0,061	0,003	0,107
DBO	0,636	0,083	0,133

4.1.3.2.2 Comportamiento del OD y DBO en el mes de agosto

En la tabla 20 se observan los valores de entrada utilizados en la modelización del OD y la DBO para el mes de agosto:

Tabla 20. Características de aguas arriba del tramo y descargas en el mes de agosto

	Q (m ³ /s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (°C)
Corrientes aguas arriba	0,044	9,18	6,80	25,4
Descarga 1	0,012	11,46	8,20	26,4
Descarga 2	0,004	23,13	6,00	26,0

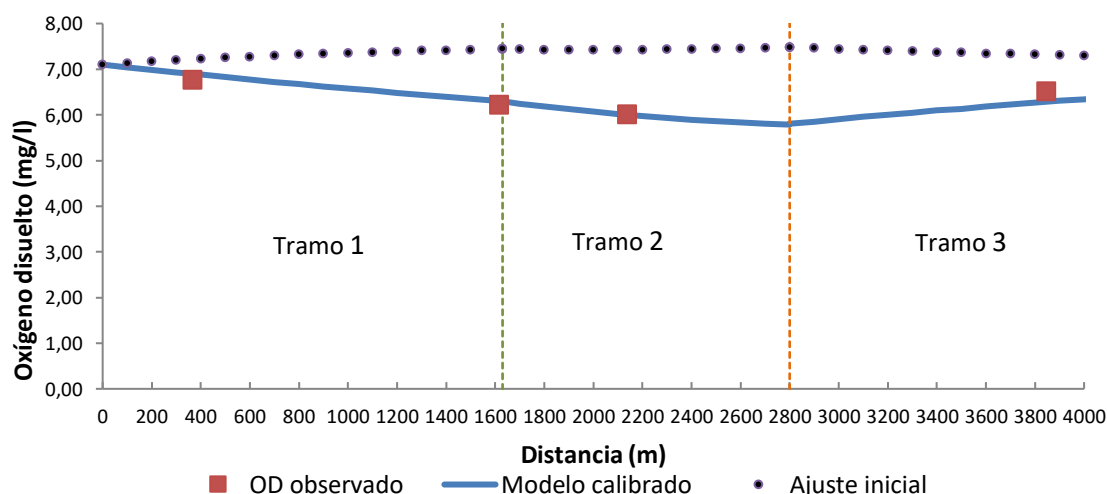
En la tabla 21 se observan las condiciones iniciales determinadas para cada tramo en el mes de agosto, que sirvieron para la aplicación del modelo matemático y obtener los perfiles de oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno, tanto para el ajuste inicial como del modelo calibrado:

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

Tramo	L_o (mg/l)	OD_0 (mg/l)	T_o (°C)	OD_{SAT} (mg/l)	D_o (mg/l)
1	9,67	7,10	25,61	8,17	1,07
2	7,61	6,30	25,64	8,17	1,87
3	6,59	5,80	25,66	8,16	2,36

Para el mes de agosto el perfil del OD mostrado en el gráfico 10, se caracteriza por mantener los niveles en todos los tramos, iniciando con una concentración de 6,75 y 6,20 mg/l para el primero y segundo punto de muestreo del tramo uno, respectivamente, siendo la descarga uno de aguas de cultivo la causante de este pequeño desnivel del oxígeno. Para el tramo dos se mantiene a 6,00 mg/l ya que no existe ninguna entrada de corriente, y para el tramo tres el nivel de oxígeno sube a 6,50 mg/l, debido a la distancia que se encuentran el punto de muestreo, llegando a la desembocadura del estero al río Quevedo.

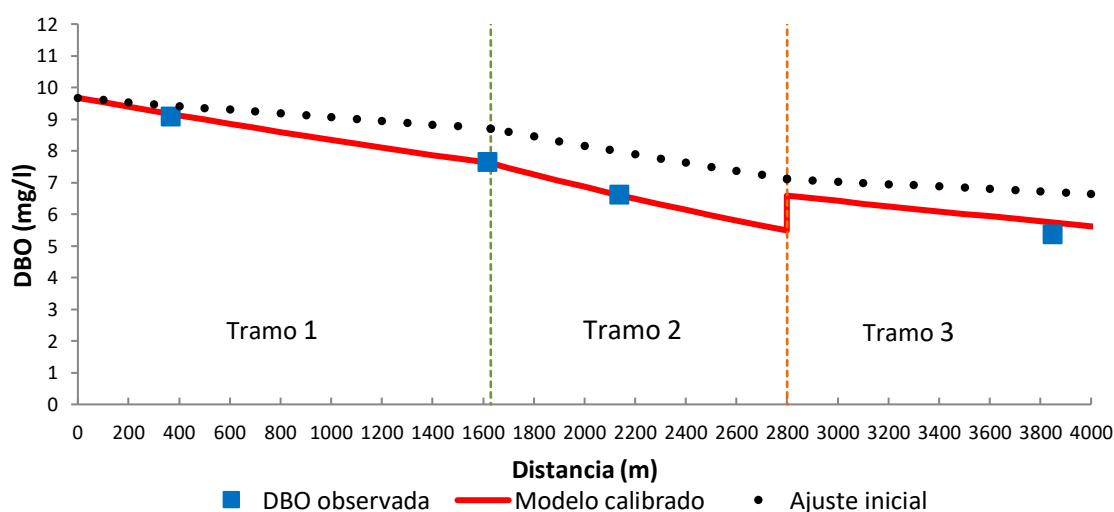
Gráfico 10. Perfil del OD del mes de agosto



En el gráfico 11 se muestra el perfil de la DBO para el mes de agosto, en el cual se sigue observando un ajuste óptimo de la calibración del modelo de Streeter-Phelps en relación con

las mediciones de campo en cada punto de muestreo. La curva revela una variación pronunciada en los puntos de muestreo del tramo 1, con valores de 9,06 a 7,62 mg/l, debido a la poca profundidad del cauce y para el tramo dos la concentración es de 6,6 mg/l a lo largo de la longitud hasta el tramo tres con 5,4 mg/l, no siendo significativa la descarga dos.

Gráfico 11. Perfil de la DBO del mes de agosto



La tabla 22 contiene los resultados del cálculo del error relativo entre los valores observados en la corriente y los predichos por el modelo calibrado, tanto para el OD como para la DBO, señalando que el ajuste tuvo errores muy pequeños como 0,010 en el tramo 2 para la DBO, siendo el error máximo del 10% sugerido por la literatura especializada, y el error relativo más alto fue de 2,064 en el tramo 3 para el OD.

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

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
OD	1,583	0,060	2,064
DBO	0,010	0,011	0,118

4.1.3.2.3 Comportamiento del OD y DBO en el mes de septiembre

En la tabla 23 se observan los valores de entrada utilizados en la modelización del OD y la DBO para el mes de septiembre:

Tabla 23. Características de aguas arriba del tramo y descargas en el mes de septiembre

	Q (m ³ /s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (°C)
Corrientes aguas arriba	0,020	3,26	7,80	26,80
Descarga 1	0,007	8,46	6,60	27,80
Descarga 2	0,004	22,08	4,70	26,50

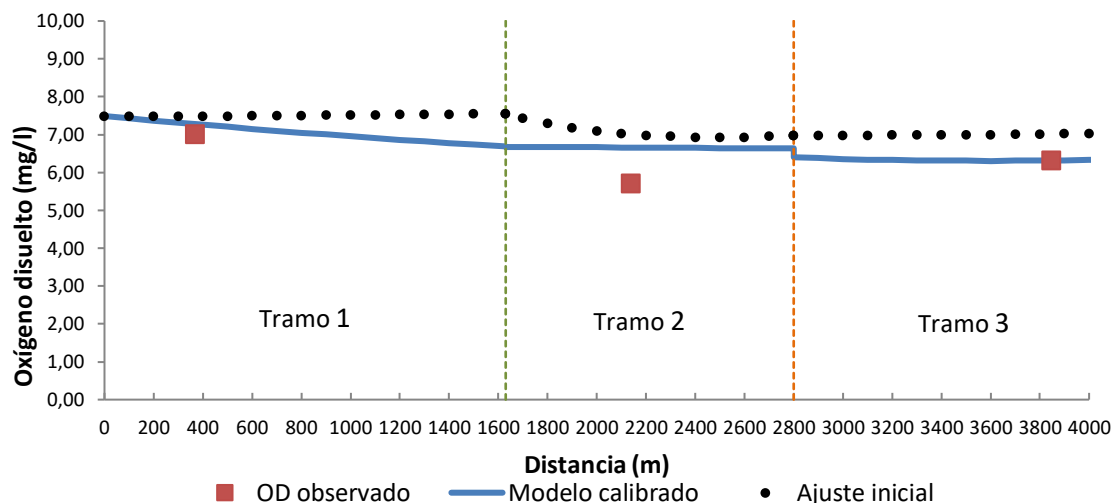
En la tabla 24 se observan las condiciones iniciales determinadas para cada tramo en el mes de septiembre, que sirvieron para la aplicación del modelo matemático y obtener los perfiles de oxígeno disuelto y de la demanda bioquímica de oxígeno, tanto para el ajuste inicial como del modelo calibrado:

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

Tramo	L _o (mg/l)	OD ₀ (mg/l)	T ₀ (°C)	OD _{SAT} (mg/l)	D _o (mg/l)
1	4,61	7,49	27,06	7,96	0,47
2	3,48	6,68	26,99	7,97	1,29
3	5,53	6,41	26,93	7,98	1,57

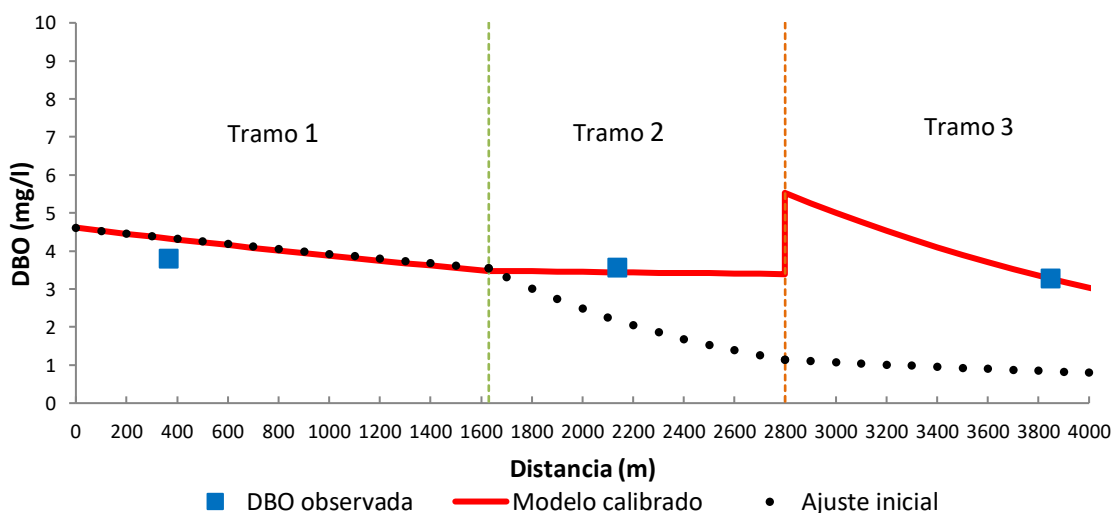
La variación del OD en el mes de septiembre, como lo representa el gráfico 12, la curva sigue la tendencia de disminuir a lo largo de los tramos. En el tramo uno inicia con una concentración 7,00 mg/l, para el tramo dos la curva sufre un decaimiento a 5,70 mg/l, esto se puede justificar por el bajo nivel del cauce en este mes, y en el tramo tres, mejora un poco su concentración a 6,30 mg/l por la distancia de los puntos. Teniendo una calibración con valores un poco distantes a los predichos por el modelo en el tramo dos.

Gráfico 12. Perfil del OD del mes de septiembre



En el caso del perfil de la DBO para el mes de septiembre presentado en el gráfico 13, muestra concentraciones menores de materia orgánica, iniciando con 3,78 mg/l, la cual disminuye poco con cada tramo hasta llegar a un valor de 3,27 mg/l en la desembocadura al río Quevedo. El ajuste que se observó fue óptimo de la calibración del modelo de Streeter-Phelps en relación con las mediciones de campo en cada punto de muestreo.

Gráfico 13. Perfil de la DBO del mes de septiembre



La tabla 25 contiene los resultados del cálculo del error relativo entre los valores observados en la corriente y los predichos por el modelo calibrado, tanto para el OD como para la DBO, señalando que el ajuste tuvo errores muy altos, al error relativo máximo del 10%, por el ajuste de las concentraciones en el tramo 1 para la DBO y el tramo dos para el OD.

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

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
OD	3,791	14,341	0,216
DBO	12,580	2,767	0,092

4.1.3.2.4 Comportamiento del OD y DBO en el mes de octubre

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

Tabla 26. Características de aguas arriba del tramo y descargas en el mes de octubre

	Q (m ³ /s)	DBO última (mg/l)	OD (mg/l)	T (°C)
Corrientes aguas arriba	0,008	6,48	8,50	24,20
Descarga 1	0,008	12,05	7,40	26,20
Descarga 2	0,004	13,14	5,60	25,15

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

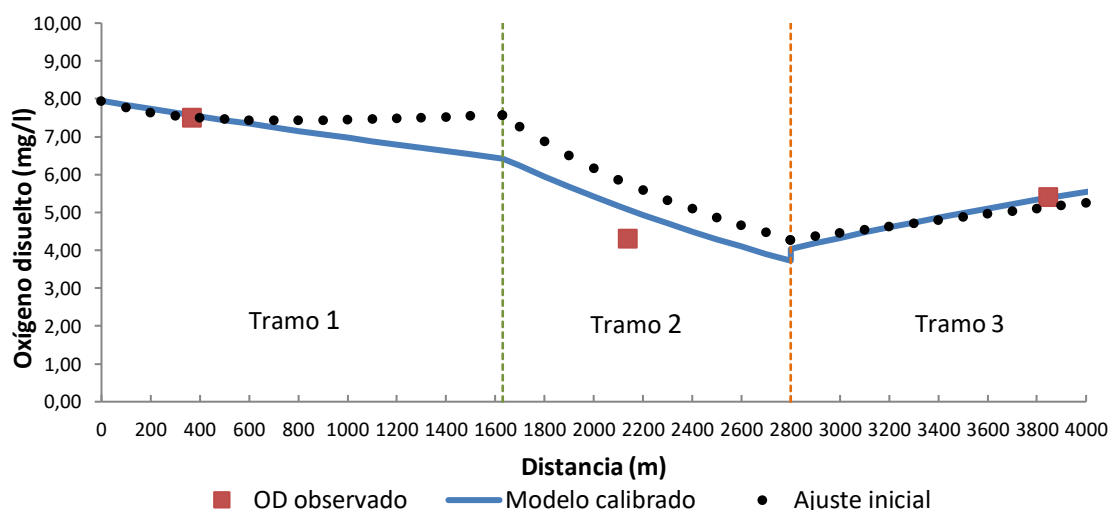
Tabla 27. Condiciones iniciales de cada tramo en el mes de octubre

Tramo	L _o (mg/l)	OD ₀ (mg/l)	T _o (°C)	OD _{SAT} (mg/l)	D _o (mg/l)
1	9,27	7,95	25,20	8,23	0,28
2	7,49	6,43	25,19	8,23	1,81
3	6,05	4,04	25,18	8,24	4,20

El perfil del OD para el mes de octubre presenta una variación en la que los niveles nuevamente disminuyen a lo largo de todo el estero como lo muestra el grafico 14. Iniciando

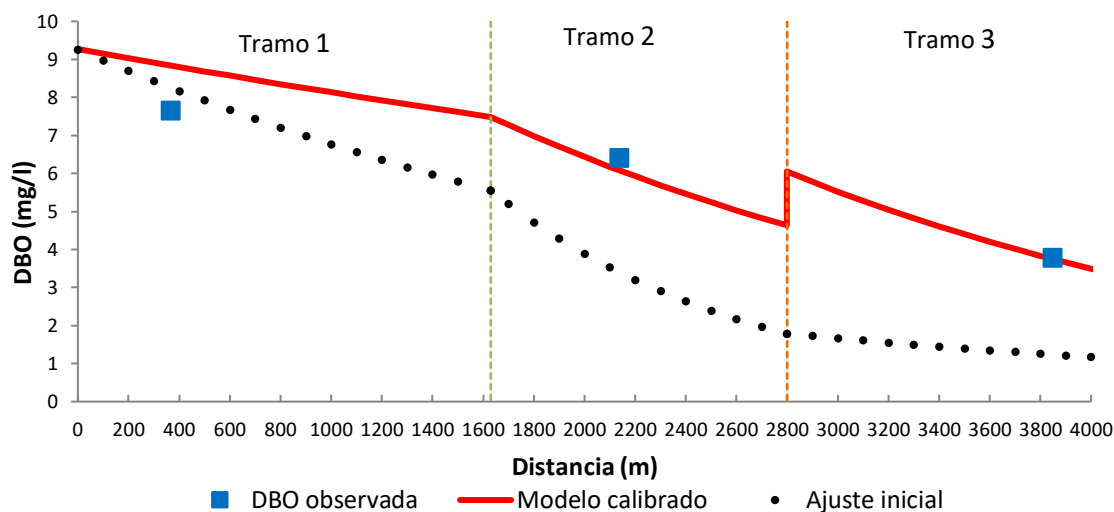
con una concentración de 7,50 mg/l en el tramo uno, decrece hasta llegar al tramo dos con 4,30 mg/l, y aumenta a 5,40 mg/l en la desembocadura de estero por la distancia de los puntos de muestreo y puede recuperarse este oxígeno, ya que la descarga dos no afecta mucho al tramo tres. La calibración presenta valores poco distantes a los predichos por el modelo.

Gráfico 14. Perfil del OD del mes de octubre



El perfil de la DBO para el mes de octubre mostrado en el gráfico 15, se observa un ajuste un poco despreciable para el tramo uno, ya que el valor predicho por el modelo no se acopla con el medido. De igual manera la curva va disminuyendo en las concentraciones, de 7,65 mg/l para el tramo uno, a 3,78 mg/l para el tramo tres, esto refleja concentraciones menores de materia orgánica al disminuir el cauce del estero y no existir descargas significativas.

Gráfico 15. Perfil de la DBO del mes de octubre



La tabla 28 contiene los resultados del cálculo del error relativo entre los valores observados en la corriente y los predichos por el modelo calibrado, tanto para el OD como para la DBO, señalando que el ajuste tuvo errores mayores al 10% como sugiere la literatura especializada, siendo el error relativo más alto de 15,347 en el tramo dos para el OD, y 13,385 en el tramo 1 para la DBO.

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

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
OD	0,907	15,347	0,192
DBO	13,385	5,162	0,846

4.1.3.2.5 Análisis de rendimiento

El modelo de Streeter-Phelps calibrado muestra un análisis de rendimiento, basado en el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe y el coeficiente de determinación para el OD y DBO que se puede apreciar en las tablas 29 y 30. Para el OD y DBO el rendimiento fue moderadamente óptimo para los meses de julio, agosto, y en menor medida octubre, por ser los más estables en el aspecto hidromorfológico del estero; sin embargo, en el mes de septiembre la calibración mostró un rendimiento muy bajo, por el bajo nivel del agua y la alteración del flujo normal por represamiento del agua para fines agrícolas, los valores medidos en el campo fueron muy distantes a los predichos en algunos puntos de muestreo.

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

<i>Tramo</i>	<i>Origen datos</i>	<i>Meses</i>				<i>Media</i>	<i>Error</i>	
		JUL	AGO	SEP	OCT		NSE	R2
T1	Medición	4,55	6,75	7,00	7,50	6,45	0,930	0,996
	Predicción	5,05	6,90	7,28	7,57	6,70		
T2	Medición	4,80	6,00	5,70	4,30	5,20	0,186	0,663
	Predicción	4,80	6,00	6,66	5,07	5,63		
T3	Medición	5,50	6,50	6,30	5,40	5,93	0,948	0,970
	Predicción	5,50	6,28	6,31	5,39	5,87		
Media	Medición	4,95	6,42	6,33	5,73			
	Predicción	5,12	6,39	6,75	6,01			
Error	NSE	0,750	0,812	0,000	0,402			
	R2	0,665	0,845	0,442	0,949			

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

<i>Tramo</i>	<i>Origen datos</i>	<i>Meses</i>				<i>Media</i>	<i>Errores</i>	
		JUL	AGO	SEP	OCT		E	R2
T1	Medición	13,62	9,06	3,78	7,65	8,53	0,949	0,988
	Predicción	14,52	9,16	4,32	8,83	9,21		
T2	Medición	12,50	6,60	3,93	6,39	7,36	0,991	0,998
	Predicción	12,50	6,60	3,41	6,08	7,15		
T3	Medición	8,22	5,34	3,27	3,78	5,15	0,989	0,992
	Predicción	8,21	5,74	3,27	3,75	5,24		
Media	Medición	11,45	7,00	3,66	5,94			
	Predicción	11,74	7,17	3,67	6,22			
Error	NSE	0,190	0,968	0,438	-0,489			
	R2	0,985	0,991	0,172	0,940			

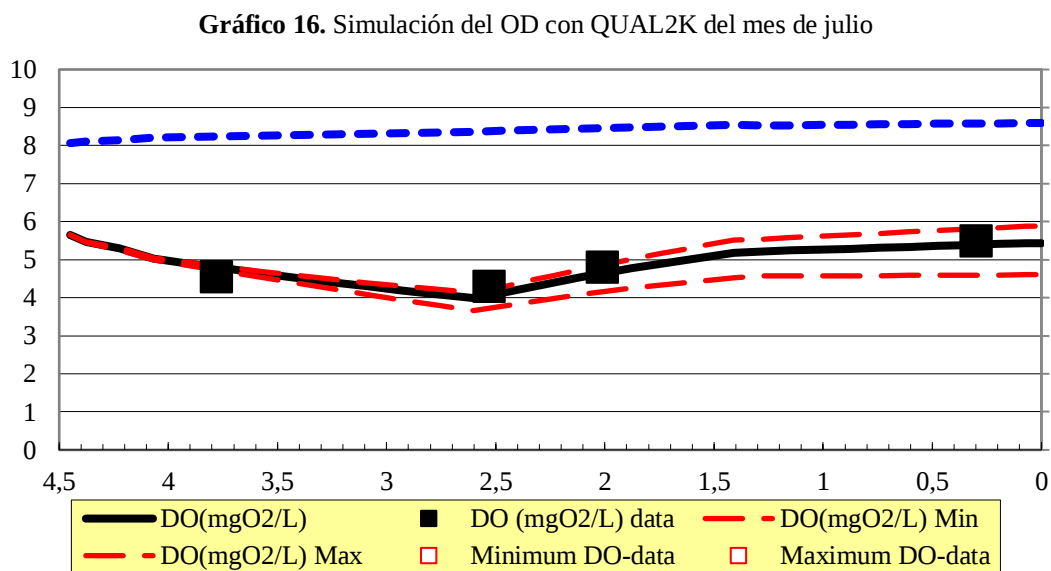
4.1.4 Simulación de la calidad del agua del estero El Guayabo con QUAL2K

Se realizó una nueva simulación de los niveles de oxígeno disuelto y DBO a través del software QUAL2K, para lo cual se hizo uso de los valores correspondientes a las distintas

variables hidrodinámicas del estero, así como datos adicionales como la altitud, y además las constantes cinéticas (k_a , k_d) calibradas, como lo requiere el modelo.

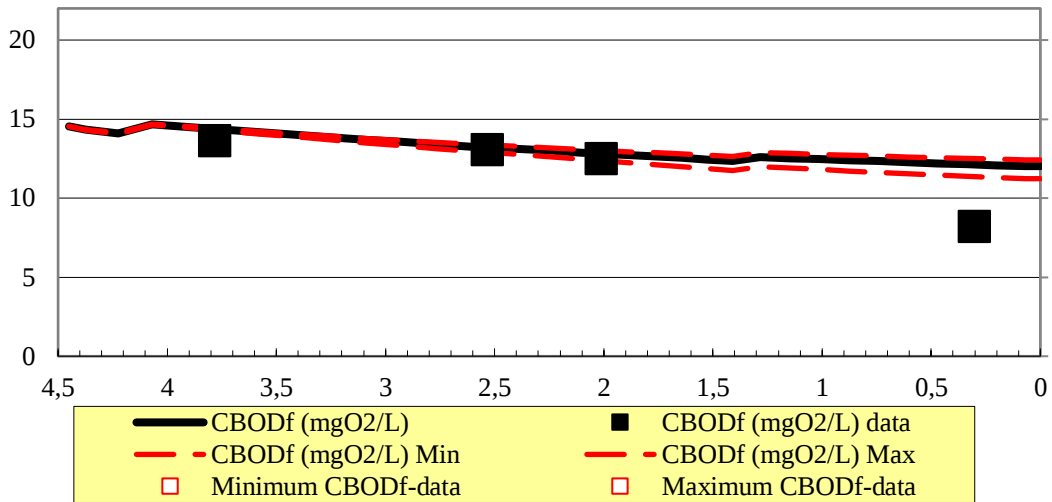
4.1.4.1 Simulación del OD y la DBO en el mes de julio

En el grafico 16 se muestra la simulación realizada por el QUAL2K en el mes de julio, el cual brinda una cercana apreciación de los valores observados en el campo y los predichos por el programa, dando como resultado un ajuste óptimo para los tres tramos.



La simulación del QUAL2K para la DBO en el mes de julio, mostrado en el grafico 17, presenta un ajuste óptimo para los puntos de muestreo en los tramos uno y dos. El tramo tres, debido a que el programa sobrevalora la concentración de este punto, muestra un error en el valor observado en el campo con el predicho por el modelo.

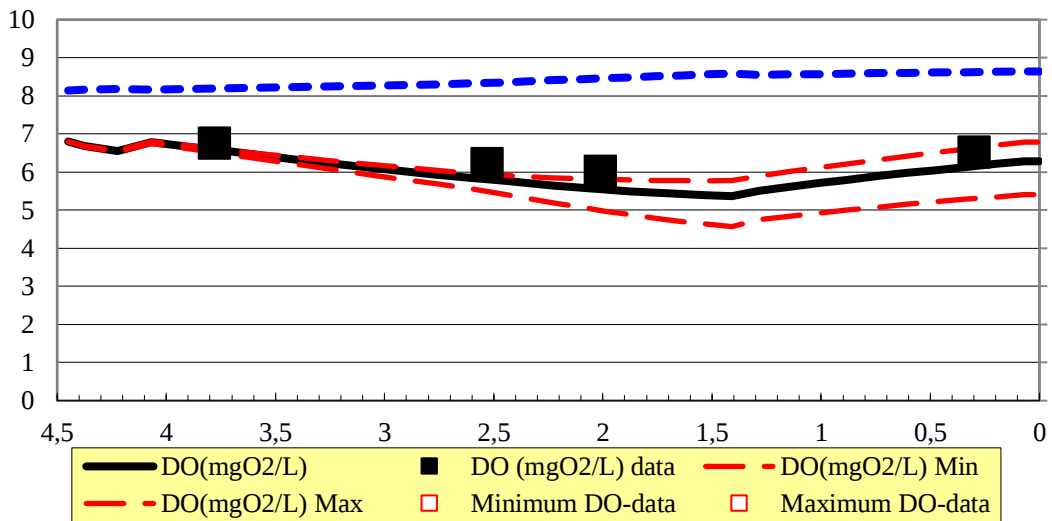
Gráfico 17. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de julio



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

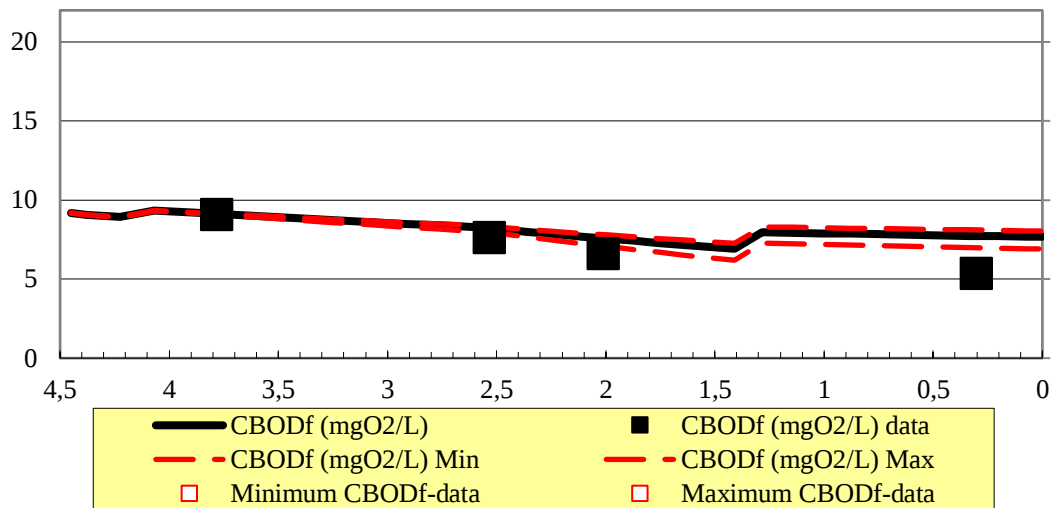
En el gráfico 18 se muestra la simulación realizada por el QUAL2K en el mes de agosto, y expresa un ajuste medianamente óptimo para los distintos tramos, ya que existe una cercana apreciación de los valores observados en el campo y los predichos por el programa.

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



Como se puede observar en el gráfico 19 la simulación de la DBO con QUAL2K para el mes de agosto, muestra un ajuste óptimo para los puntos de muestreo en los tramos uno y dos, y predice valores altos en el tramo 3 en contraste con el determinado en el campo, siendo un error relativo amplio.

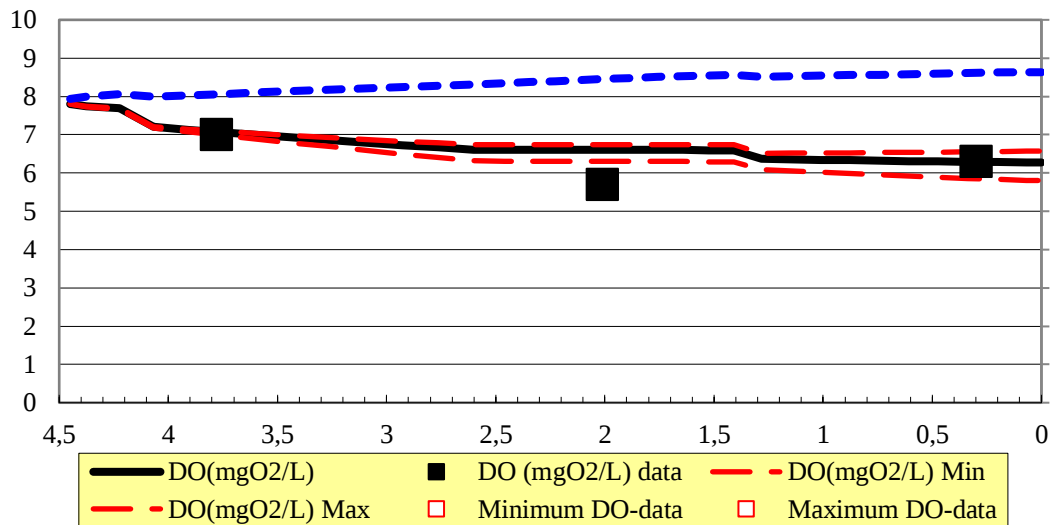
Gráfico 19. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de agosto



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

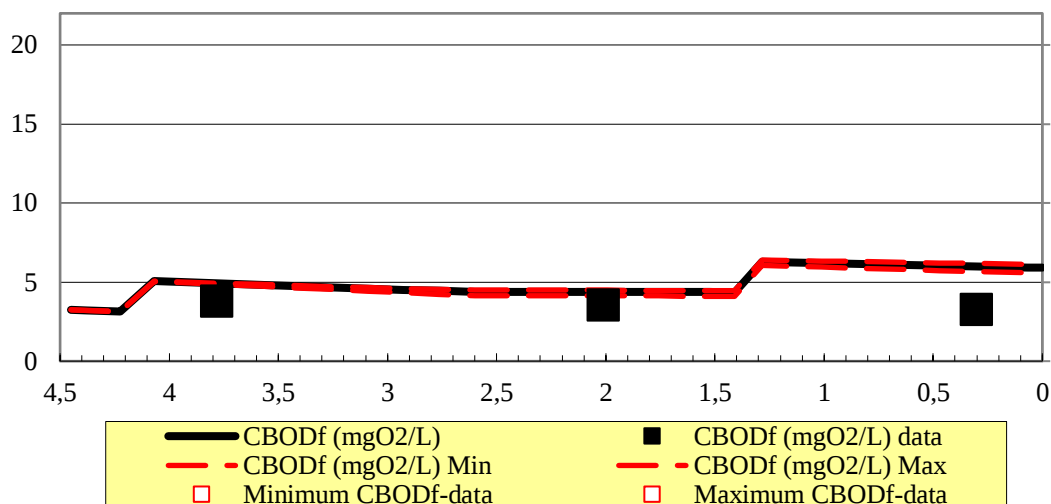
Mediante el gráfico 20 se puede observar la simulación del OD para el mes de septiembre ejecutada por el QUAL2K, donde muestra un ajuste muy cercano para el tramo uno y tres, dando como resultado valores muy cercanos a los puntos de muestreo. El tramo dos tiene valores predichos muy altos a lo medidos en el campo y como consecuencia el un ajuste nulo por el amplio error de este.

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



Los valores de DBO arrojados mediante la simulación del QUAL2K para el mes de septiembre, se muestran en el grafico 21, el cual presenta un ajuste casi óptimo, ya que el valor predicho es más alto a lo medido en el campo en el tramo tres.

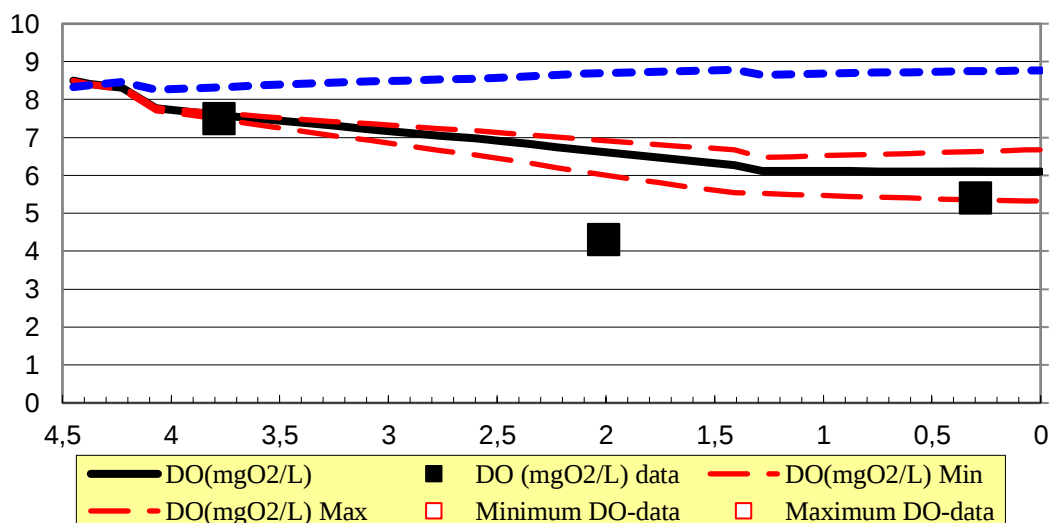
Gráfico 21. Simulación de la DBO con QUAL2K del mes de septiembre



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

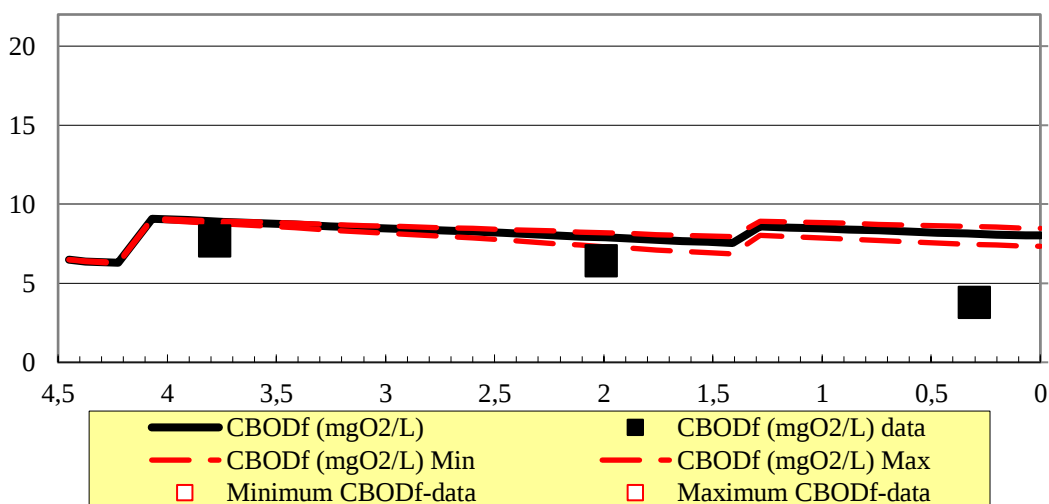
En el mes de octubre, la simulación del OD mediante QUAL2K, se puede apreciar en el grafico 22, el cual muestra un error alto en el tramo dos y los valores predichos se acercan más a los observados en el tramo uno y tres

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



La simulación con QUAL2K de los valores de la DBO para el mes de octubre se muestra en el grafico 23, donde se observa un ajuste pobre, ya que los valores predichos son altos para los medidos en el campo, desde el tramo uno hasta un error relativamente alto en el tramo tres.

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



4.1.4.5 Análisis de rendimiento

La simulación con QUAL2K muestra, como se puede apreciar en la tabla 31, un análisis de rendimiento menos aceptable para la predicción del oxígeno disuelto, con respecto al caso de Streeter-Phelps, con rendimientos óptimos solo en julio y agosto, y en el tramo uno. No obstante, en relación con la simulación de la DBO, el rendimiento se mantuvo aceptable para los meses de julio y agosto, con respecto a Streeter-Phelps, pero septiembre y octubre mostraron un rendimiento muy pobre, aunque en los tramos la calibración fue satisfactoria.

Tabla 31. Rendimiento del QUAL2K con respecto al OD

Tramo	Origen datos	Meses				Media	Error	
		JUL	AGO	SEP	OCT		NSE	R2
T1	Medición	4,55	6,75	7,00	7,50	6,45	1,000	1,000
	Predicción	4,55	6,75	7,00	7,50	6,45		
T2	Medición	4,80	6,00	5,70	4,30	5,20	-2,388	0,003
	Predicción	4,80	5,55	6,60	6,60	5,89		
T3	Medición	5,50	6,50	6,30	5,40	5,93	0,324	0,355
	Predicción	5,50	6,13	6,30	6,10	6,01		
Media	Medición	4,95	6,42	6,33	5,73			

<i>Error</i>	Predicción	4,95	6,14	6,63	6,73
	NSE	1,000	0,328	0,190	-4,383
	R2	1,000	0,957	0,367	0,580

Tabla 32. Rendimiento del QUAL2K con respecto a la DBO

<i>Tramo</i>	<i>Origen datos</i>	<i>Meses</i>				<i>Media</i>	<i>Errores</i>	
		JUL	AGO	SEP	OCT		E	R2
<i>T1</i>	Medición	13,08	9,06	3,78	7,65	8,39	0,937	0,983
	Predicción	13,08	9,06	4,89	8,89	8,98		
<i>T2</i>	Medición	12,50	6,60	3,54	6,39	7,26	0,908	0,983
	Predicción	12,50	7,56	4,37	7,90	8,08		
<i>T3</i>	Medición	8,22	5,34	3,27	3,78	5,15	-2,211	0,875
	Predicción	12,15	7,74	6,00	8,15	8,51		
<i>Media</i>	Medición	11,27	7,00	3,53	5,94			
	Predicción	12,58	8,12	5,09	8,31			
<i>Error</i>	NSE	-0,096	-0,726	-58,163	-5,268			
	R2	0,721	0,811	0,478	0,322			

4.2 Discusión

En el estero El Guayabo, el caudal presentó diferencias con el pasar de los meses, llegando con menos flujo en el mes de octubre, por ser el último mes de muestreo, dando un valor de 12 l/s en el punto de muestreo del tramo tres (desembocadura) que, al inicio, es decir, en el mes de julio, registró un valor de 101 l/s del mismo segmento. En este punto de muestreo el agua se ha alimentado de la descarga de aguas residuales de la industria maderera asentada en su orilla y la descarga de aguas de cultivo. En este contexto, en la investigación de Cocha, J. del año 2009, se destaca que las estaciones de monitoreo ubicadas en las zonas alta, media y baja, incrementan respectivamente sus caudales por los aportes de los tributarios que están a lo largo de la subcuenca, situación que ocurre en el estero El Guayabo, el mismo que es alimentado por las descargas de aguas residuales y cultivo; así, el caudal promedio más alto en el río Yanuncay encontrado fue en la estación YAN 1 con 12,8 m³/s (zona baja) y el caudal más bajo se presentó en la estación YAN 5 con 0,21 m³/s (zona alta) [28].

Los valores de oxígeno disuelto se incrementaron secuencialmente en cada uno de los tramos establecidos, oscilando entre 4,3 mg/l hasta 8,5 mg/l durante la época seca; además, en el

tramo dos, en el último mes de muestreo (octubre), se obtuvo la concentración más baja, ya que este segmento presentó una velocidad lenta con respecto a los demás tramos. Algo similar de variabilidad estacional del oxígeno disuelto presentaron Montes y colaboradores en el año 2013, quienes al realizar un estudio de la modificación de la capacidad autodepuradora del río Magdalena en México, concluyeron que un mayor caudal favorece las concentraciones mayores de oxígeno disuelto causadas por el efecto de reaeración, mientras que el incremento de la velocidad de la corriente produce tiempos de retención menores a los que se presentan en la época de estiaje. Además, afirmó que el OD se recuperó debido al proceso natural de reaeración, y al incremento de la velocidad de flujo y turbulencia causada por los eventos de precipitación existente en el cauce [18].

La variación de la DBO_5 se caracterizó por registrar una tendencia común a todos los meses de muestreo, que muestra la disminución constante de la DBO_5 hasta la desembocadura en el río Quevedo, con valores medios mensuales más altos iguales a 14 mg/l (julio), 11 mg/l (agosto) y 8 mg/l (octubre), y valores medios mensuales más bajos iguales a 2 mg/l (septiembre), 3 mg/l (septiembre) y 6 mg/l (septiembre), para aguas arriba, tramo uno y dos, en ese orden; atribuyéndose este comportamiento a la ausencia de fuentes puntuales de carga contaminante importante, a la reaeración rápida de la corriente, y a procesos de sedimentación significativos, en los últimos dos tramos, produciendo una mayor eliminación de la materia orgánica. El mismo patrón de variabilidad fue determinado por Pazmiño et al., en el año 2017, quienes modelaron la calidad del agua del estero Aguas Claras, en el cantón Quevedo, y también observaron una tendencia descendente de la DBO_5 a medida que avanzaba la corriente a lo largo de los tramos modelizados, que fue explicada en términos de la influencia de la constante de remoción total de la DBO en el proceso de autodepuración de la corriente [19].

La modelización de la calidad del agua a través del modelo matemático de Streeter-Phelps en términos de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno, incluyó la calibración de tres constantes cinéticas: desoxigenación, reaeración y remoción total. El modelo calibrado mostró un rendimiento óptimo, medido mediante el coeficiente de determinación, llegando a valores de 0,996 para OD y 0,988 en la DBO. De manera similar, en el caso de estudio de Pazmiño, Zambrano & Coello, en el año 2018, se calibró el modelo de Streeter-Phelps en el

estero Aguas Claras, también de la ciudad de Quevedo, obteniendo un mínimo error entre valores observados en el campo y los valores predichos por el modelo. Así, en ambos casos se obtuvo un valor promedio de 0,99 para el coeficiente de determinación y el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe[19].

La simulación del OD y la DBO por medio del programa QUAL2K, empleando los valores correspondientes a las distintas variables hidrodinámicas del estero, dieron un ajuste entre los valores medidos y los simulados. Para el caso del oxígeno disuelto con respecto al análisis de rendimiento, se presentó un resultado óptimo de 1,00 y 0,957 para el mes de julio y agosto respectivamente, y para el tramo uno con 1,00, pero en menor medida con respecto al ajuste logrado con el modelo de Streeter-Phelps. Los valores de DBO medidos no mostraron una adecuada bondad de ajuste. Así mismo se puede apreciar en el estudio realizado por Pazmiño, Zambrano & Coello, que se consiguió un ajuste óptimo en relación con el OD para todos los meses de muestreo y se registraron altos errores en el ajuste para la DBO[19].

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El mes de julio, por ser el más cercano a la finalización de la época lluviosa, registró un caudal en el tramo tres (desembocadura) de 92 l/s, mientras que, en el mes de octubre, el caudal en el mismo punto de muestreo disminuyó a sólo 12 l/s. La disminución del caudal se da por la realización del estudio en la estación seca y también se le atribuye a que en algunos puntos las habitantes realizan pozas para luego bombear el agua para el riego de sus cultivos agrícolas.
- En cuanto a la velocidad de la corriente, se determinó que el tramo tres registró mayor rapidez en los dos meses iniciales (julio y agosto), con valores de 0,31 a 0,19 m/s, respectivamente. Por otro lado, el tramo dos en el mes de octubre registró el valor mínimo de 0,01 m/s.
- Con respecto a las variables fisicoquímicas, el análisis de las concentraciones de pH

reflejó que los valores en todos los meses y en los respectivos puntos de muestreo, se encuentran dentro del límite permisible de 6,5 a 9, establecido en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA.

- Las mediciones de conductividad eléctrica se mostraron constantes en los puntos de muestreo y meses correspondientes, con valores medios mensuales más altos de 178 y 164 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el tramo tres y aguas arriba, respectivamente.
- Las mediciones de oxígeno disuelto revelaron que, aguas arriba para todos los meses, se presentaron los valores más altos, llegando al mes de octubre con 8,5 mg/l; luego, es notorio también que solo en pocas ocasiones se observaron valores en el intervalo de 2 a 3 mg/l, lo que está relacionado con la buena oxigenación de la corriente de El Guayabo.
- El análisis de DBO demostró que los valores más altos se presentaron aguas arriba en el mes de julio con 22,98 mg/l, revelando una fuente de contaminación probable no identificada aún en algún punto de la cabecera. La tendencia que se observó fue que la DBO disminuía a lo largo de los segmentos, llegando al tramo tres del mismo mes, con un valor de 8,22 mg/l, lo que demuestra la importancia de la constante de remoción total (k_r) en el estero.
- El análisis de rendimiento del modelo de Streeter-Phelps determinó un buen ajuste para el OD y DBO entre los valores medidos en el campo y los predichos por el modelo, con valores promedios de 0,996 para el OD y para la DBO un valor de 0,988 en el mes de julio y tramo uno, tanto en el coeficiente de determinación como para el índice de Nash-Sutcliffe en los dos parámetros.
- La simulación de los niveles de oxígeno disuelto a través del software QUAL2K mostró un ajuste muy similar al observado en la modelización de Streeter-Phelps, por lo que, al comparar las predicciones realizadas por el programa y las concentraciones observadas en los puntos de muestreo, reflejaron un error relativo menor al 10% en casi todos los casos, lo que no pasó con la DBO, reflejando errores muy altos, que se atribuye a la falta de información requerida por el software.

5.2 Recomendaciones

- Los Municipios deben ejecutar medidas destinadas a la conservación de los recursos hídricos, ya que los cursos superficiales de agua en el cantón Quevedo se afectan por la descarga de aguas residuales, sin previo tratamiento, por tal razón al construirse el sistema alcantarillado que cubra las parroquias urbanas y rurales en conjunto con una planta de tratamiento de aguas residuales, se evitara la contaminación a los ríos y esteros.
- Es pertinente recomendar la realización de estudios de calidad del agua en los distintos esteros del cantón Quevedo, conociendo las concentraciones de los parámetros que reflejan la contaminación, como el OD y la DBO, ya que muchos de estos arroyos desembocan en el rio Quevedo, contaminándolo sin control alguno. Esto serviría tanto

para determinar las causas de contaminación, que pueden ser las mismas en varios esteros, buscando una solución con la autoridad respectiva del caso.

- Para la optima confiabilidad y capacidad predictiva del programa QUAL2K, que es donde se obtuvo mayores errores tanto para el OD y DBO, es necesario introducirle al modelo información adicional en la fase de campo.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1 Referencias Bibliográficas

- 1 Fernández A. El agua: un recurso esencial. Química Viva. 2012;11(3):147-170.
- 2 Aguilar A. Calidad del Agua. [Internet]. 2010 [cited 2018 junio 6]. Available from: <http://ru.iiec.unam.mx/65/1/CalidadAguaImpr.pdf>.
- 3 Padrón A. & Cantu P. El recurso agua en el entorno de las ciudades sustentables.

- Culcyt/Sustentabilidad. 2009;6(31):15-25.
- 4 Maria M. Modelización Matemática - Una Teoría para la Práctica. [Internet]. 2008 [cited 2018 Julio 21]. Available from: <http://www.famaf.unc.edu.ar/~revm/Volumen23/digital23-2/Modelizacion1.pdf>.
 - 5 Raquel. PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO QUEBRADA MIRAFLORES. [Internet]. 2012 [cited 2018 Junio 11]. Available from: <http://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp5.pdf>.
 - 6 Torres, Hernan & Patiño. ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.. Ingenierías Universidad de Medellin. 2009;8(15):79-94.
 - 7 Bofill-Mas S. &Clemente P. Efectos sobre la salud de la contaminacion de agua y alimentos por virus emergentes humanos. Revista Española de Salud Pública. 2005;79(2):253-269.
 - 8 PDOT. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia rural La Esperanza. [Internet]. 2015 [cited 2018 junio 18]. Available from: http://www.gadlaesperanza.gob.ec/images/octubre/PDOT-LA_ESPERANZA_2015-2019.pdf.
 - 9 Calles J. El Agua en el Ecuador. [Internet]. 2016 [cited 2018 junio 18]. Available from: <http://agua-ecuador.blogspot.com/2016/07/monitoreo-de-la-calidad-y-cantidad-del.html>
Blog El Agua en el Ecuador.
 - 10 Hernández F. El agua y los contaminantes industriales. [Internet]. 2018 [cited 2018 junio 18]. Available from: <https://es.scribd.com/document/350217663/El-agua-y-los-Contaminantes-Industriales-2-pdf>.

- 11 OMS. Guías para la calidad del agua potable. Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad. Organización Mundial de la Salud. 1998;3:255.
- 12 Marín R. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. [Internet]. [cited 2018 junio 19]. Available from: file:///C:/Users/a/Downloads/componente48099%20(1).pdf.
- 13 Hem J. Study and Interpretation of the Chemical Characteristic of Natural Water. [Internet]. 1985 [cited 2018 junio 19]. Available from: <http://pubs.usgs.gov/wsp2254/html/pdf.html>.
- 14 Zhen B. Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubande, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008. [Internet]. 2009 [cited 2018 junio 19]. Available from: <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Calidad%20f%C3%ADsico-qu%C3%ADmica%20y%20bateriol%C3%B3gica%20del%20agua%20para%20consumo%20humano%20de%20la%20microcuenca.pdf>.
- 15 Victorica J. Modelo para simular la evolución del oxígeno disuelto en embalses. Ingeniería del Agua. 1996;3(2):63-74.
- 16 Jaramillo M, Galvis A, Escobar M, Forni L, Purkey D, Siebel J, Lozano G, Rodríguez C, Castaño J, y Sabas C. Integración de los modelos WEAP y QUAL2K para la simulación de la calidad agua fuentes superficiales. Agua-LAC. 2016;8(2):14-24.
- 17 López P, Espert V, Alberola M, y Martínez F. Metodología para la calibración de modelos de calidad de aguas. Ingeniería del agua. 2003;10(4).
- 18 Montes R., Navarro I., Domínguez R., & Jiménez B. Modificación de la capacidad de autodepurarse del río Magdalena ante el cambio climático. Tecnología y Ciencias del

- Agua. 2013;IV(5):71-83.
- 19 Pazmino J. Zambrano G,yCoello H. Modelización de la calidad del agua del estero aguas Claras, cantón. DYNA. 2018;85(204):204-214.
- 20 Ruibin Zhang. Selección de programas óptimos de mejora de la calidad del agua del río utilizando QUAL2K: un estudio de caso de la cuenca del lago Taihu, China. Ciencia del Medio Ambiente Total. 2012;431:278-285.
- 21 H. G. Leu. Un modelo de calidad del agua modificado para la variacion de la DBO y OD en un canal poco contaminado. Environmental Technology. 2010;19:933-940.
- 22 Gonzáles L. Modelación de la Calidad del Agua en el Dren El Burrión del Distrito de Riego 063, Guasave, Sinaloa, México. LACCEI. 2013.
- 23 Sierra C. Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico. 1st ed. Medellín: Ediciones de la U; 2011.
- 24 INEN, NTE INEN 2176: Agua. Calidad de agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. Quito 1998.
- 25 [Anonymous]. INEN, NTE INEN 2226: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo. Quito 2000.
- 26 Chapra SC. Surface water-quality modeling. Segunda ed. Long Grove: Waveland PRESS, INC; 2008.
- 27 Chin DA. Water-Quality Engineering in Natural Systems: Fate and Transport Processes in the Water Environment. Segunda ed. Jhon Wiley & Son, Inc., Publication; 2013.

- 28 J. Cocha Pallo. Estado actual de la calidad fisico-quimica, bacteriologica y biologica del agua de la subcuenca del Rio Yanuncay en dos estaciones climaticas (invierno y verano) del cantón Cuenca, Provincia del Azuay - Ecuador. [Internet]. 2009.

CAPÍTULO VII

ANEXOS



Anexo 1. Recorrido y toma de coordenadas del estero



Anexo 2. Reconocimiento de la desembocadura del estero El Guayabo al río Quevedo



Anexo 3. Medición del segmento a analizar



Anexo 4. Medición de sección transversal del estero



Anexo 5. Realización del aforo volumétrico en la descarga 2.



Anexo 6. Análisis in-situ de los parámetros físico-químicos (OD).



Anexo 7. Análisis in-situ de los parámetros físico-químicos (ST – T°)



Anexo 8. Análisis in-situ realizado por el laboratorio acreditado



72799-14 06/08/18 09:03:37 Luis

VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA

Representante Legal:

Catón Quevedo, Parroquia Viva Alfaro, Quevedo Los Ríos, Tel. 0969877543

Atención: Ing. Anny Valarezo

Guayaquil, 6 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 22/07/18 18:30 Estero El Guayabo
Fecha/Hora Recepción Muestras: 23/07/18 09:07
Punto e Identificación de la Muestra: Aguas arriba de Tramo 1
Matriz de la muestra: AGUAS NATURALES
Muestreo por/Muestreador/Tipo de Muestreo: VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: 17M0675509 - 9892436---
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

AGREGADOS ORGANICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	15,30	mgO2/l	0,73	PEE-GQM-FQ-05	23/07/18 LS

SIMBOLOGÍA:

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

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

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

NOMENCLATURA:

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

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

IMPORTANTE:

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

Anexo 9. Informe de ensayo de la DBO, emitido por el laboratorio acreditado para aguas arriba del mes julio



72799-13 06/08/18 09:03:23 Luis

VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA

Representante Legal:

Catón Quevedo, Parroquia Viva Alfaro, Quevedo Los Ríos, Tel. 0969877543

Atención: Ing. Anny Valarezo

Guayaquil, 6 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 22/07/18 17:56 Estero El Guayabo
Fecha/Hora Recepción Muestras: 23/07/18 09:07
Punto e Identificación de la Muestra: Primera descarga (Canal aguas de cultivo)
Matriz de la muestra: AGUAS NATURALES
Muestreador por/Muestreador/Tipo de Muestreo: VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: 17M0675363 - 9892320---
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

AGREGADOS ORGANICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	22,98	mgO ₂ /l	1,10	PEE-GQM-FQ-05	23/07/18 LS

SIMBOLOGÍA:

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

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

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

NOMENCLATURA:

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

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q. F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

IMPORTANTE:

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

Anexo 10. Informe de ensayo de la DBO emitido por el laboratorio acreditado para la descarga uno del mes julio



72799-12 06/08/18 09:03:00 Luis

VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA

Representante Legal:

Catón Quevedo, Parroquia Viva Alfaro, Quevedo Los Rios, Tel. 0969877543

Atención: Ing. Anny Valarezo

Guayaquil, 6 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 22/07/18 17:40 Estero El Guayabo
Fecha/Hora Recepción Muestras: 23/07/18 09:07
Punto e Identificación de la Muestra: Primer punto de muestreo del Tramo 1
Matriz de la muestra: AGUAS NATURALES
Muestreador por/Muestreador/Tipo de Muestreo: VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: 17M0675278 - 9892277---
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

AGREGADOS ORGANICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	13,08	mgO2/l	0,63	PEE-GQM-FQ-05	23/07/18 LS

SIMBOLOGÍA:

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

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

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

NOMENCLATURA:

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

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

IMPORTANTE:

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

Anexo 11. Informe de ensayo de la DBO, emitido por el laboratorio acreditado para el primer punto de muestreo del tramo uno del mes julio



72799-11 06/08/18 09:02:44 Luis

VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA

Representante Legal:

Catón Quevedo, Parroquia Viva Alfaro, Quevedo Los Rios, Tel. 0969877543

Atención: Ing. Anny Valarezo

Guayaquil, 6 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 22/07/18 17:25 Estero El Guayabo
Fecha/Hora Recepción Muestras: 23/07/18 09:07
Punto e Identificación de la Muestra: Segundo punto de muestreo del Tramo 1.
Matriz de la muestra: AGUAS NATURALES
Muestreado por/Muestreador/Tipo de Muestreo: VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: 17M0674580 - 9891667---
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

AGREGADOS ORGANICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	13,62	mgO2/l	0,65	PEE-GQM-FQ-05	23/07/18 LS

SIMBOLOGÍA:

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

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

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

NOMENCLATURA:

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

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

IMPORTANTE:

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

Anexo 12. Informe de ensayo de la DBO, emitido por el laboratorio acreditado para el segundo punto de muestreo del tramo uno del mes julio



72799-10 06/08/18 09:02:21 Luis

VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA

Representante Legal:

Catón Quevedo, Parroquia Viva Alfaro, Quevedo Los Rios, Tel. 0969877543

Atención: Ing. Anny Valarezo

Guayaquil, 6 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 22/07/18 16:37 Estero El Guayabo
Fecha/Hora Recepción Muestras: 23/07/18 09:07
Punto e Identificación de la Muestra: Punto de muestreo del Tramo 2.
Matriz de la muestra: AGUAS NATURALES
Muestreador por/Muestreador/Tipo de Muestreo: VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: 17M0674204 - 9891048---
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

AGREGADOS ORGANICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	18,90	mgO2/l	0,91	PEE-GQM-FQ-05	23/07/18 LS

SIMBOLOGÍA:

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

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

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

NOMENCLATURA:

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

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

IMPORTANTE:

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

Anexo 13. Informe de ensayo de la DBO, emitido por el laboratorio acreditado para el punto de muestreo del tramo dos del mes julio



72799-9 06/08/18 09:01:51 Luis

VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA

Representante Legal:

Catón Quevedo, Parroquia Viva Alfaro, Quevedo Los Rios, Tel. 0969877543

Atención: Ing. Anny Valarezo

Guayaquil, 6 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 22/07/18 15:49 Estero El Guayabo
Fecha/Hora Recepción Muestras: 23/07/18 09:07
Punto e Identificación de la Muestra: Segunda descarga (Aguas Residuales Industriales)
Matriz de la muestra: AGUAS NATURALES
Muestreador por/Muestreador/Tipo de Muestreo: VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: 17M0673653 - 9890639---
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

AGREGADOS ORGANICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	11,43	mgO ₂ /l	0,55	PEE-GQM-FQ-05	23/07/18 LS

SIMBOLOGÍA:

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

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

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

NOMENCLATURA:

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

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

IMPORTANTE:

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

Anexo 14. Informe de ensayo de la DBO, emitido por el laboratorio acreditado para la segunda descarga del mes julio



INFORME DE ENSAYOS
72799-8



72799-8 06/08/18 09:01:36 Luis

VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA

Representante Legal:

Catón Quevedo, Parroquia Viva Alfaro, Quevedo Los Rios, Tel. 0969877543

Atención: Ing. Anny Valarezo

Guayaquil, 6 DE AGOSTO DEL 2018

DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 22/07/18 15:22 Estero El Guayabo
Fecha/Hora Recepción Muestras: 23/07/18 09:07
Punto e Identificación de la Muestra: Punto de muestreo del Tramo 3
Matriz de la muestra: AGUAS NATURALES
Muestreador por/Muestreador/Tipo de Muestreo: VALAREZO ANCHUNDIA ANNY STEFANIA / Cliente / Simple
Duración de Muestreo:
Coordenadas Geográficas: 17M0672749 - 9889873---
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

AGREGADOS ORGANICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno (3)	8,22	mgO2/l	0,39	PEE-GQM-FQ-05	23/07/18 LS

SIMBOLOGÍA:

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

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

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

NOMENCLATURA:

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

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico

Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

IMPORTANTE:

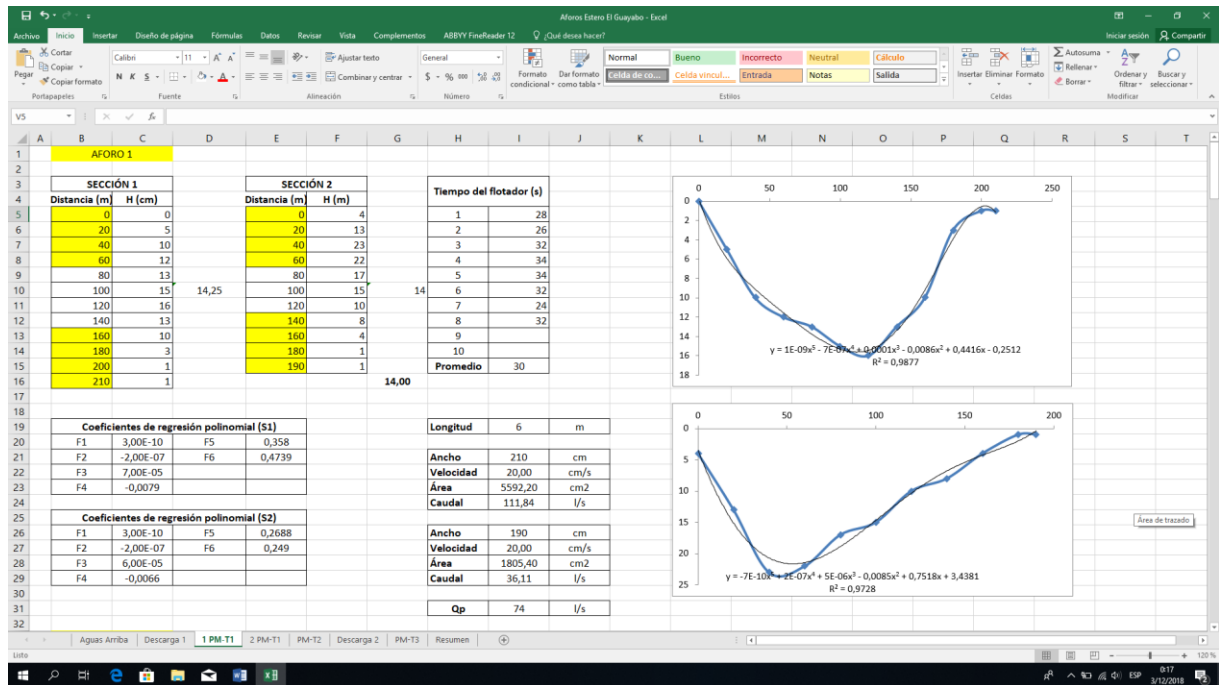
Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.

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

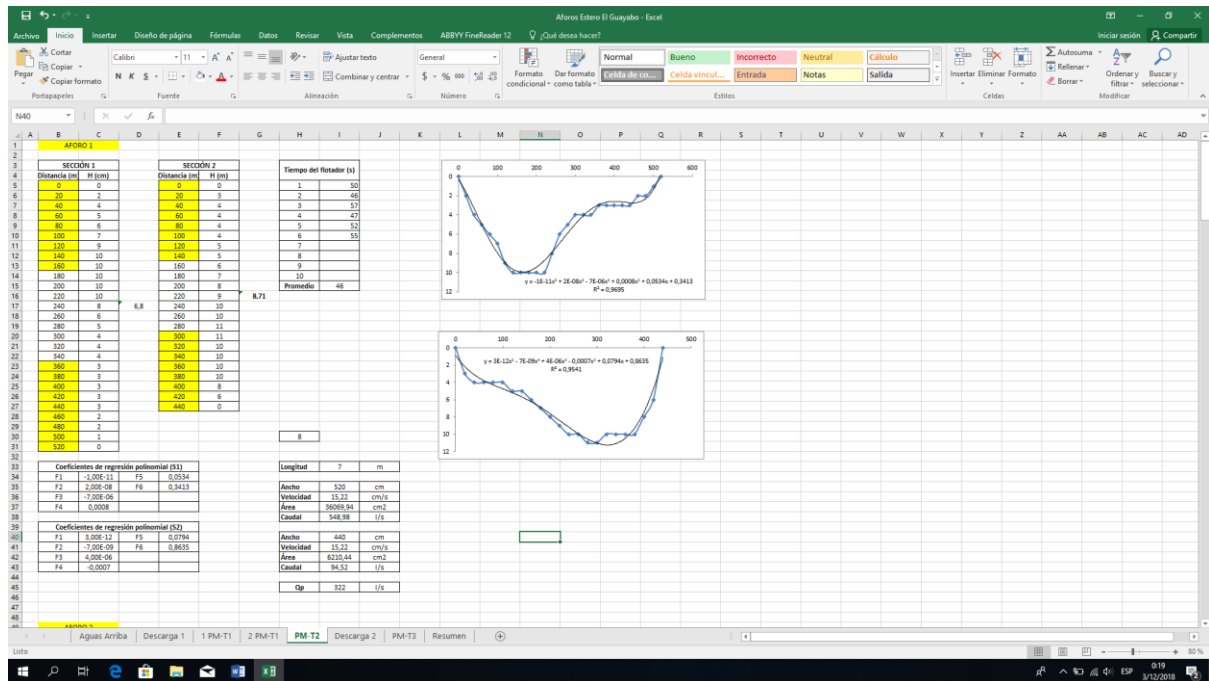
MC2201-13

Pág. 1 de 2

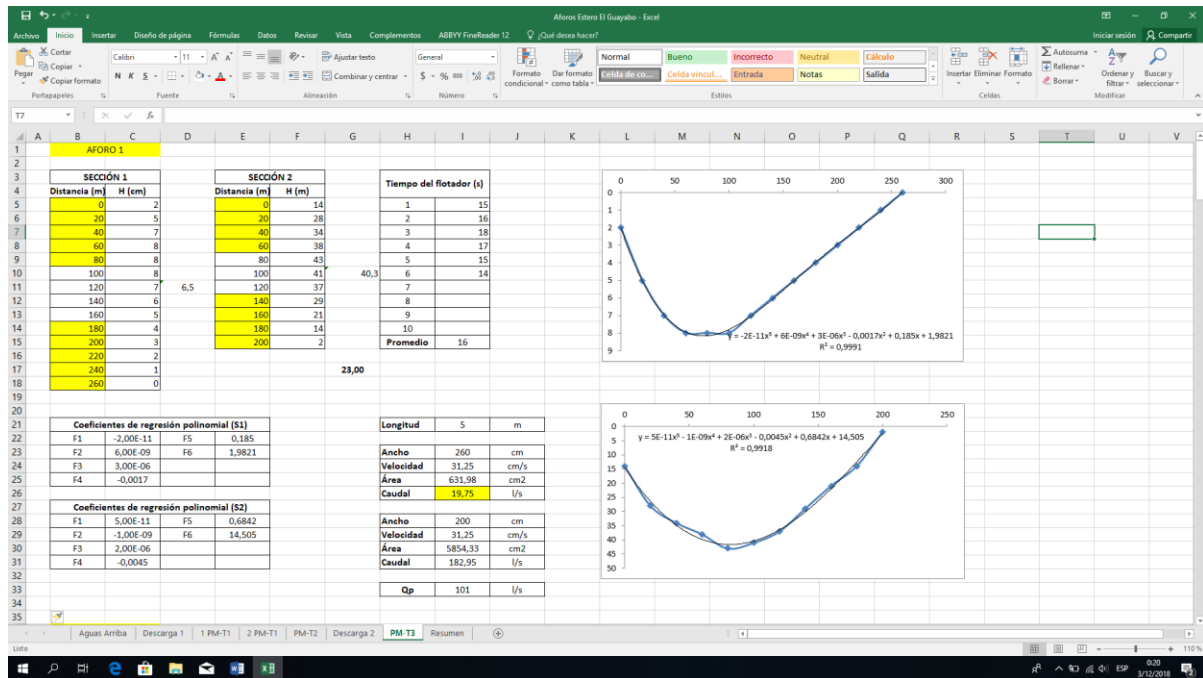
Anexo 15. Informe de ensayo de la DBO, emitido por el laboratorio acreditado para el punto de muestreo del tramo tres del mes



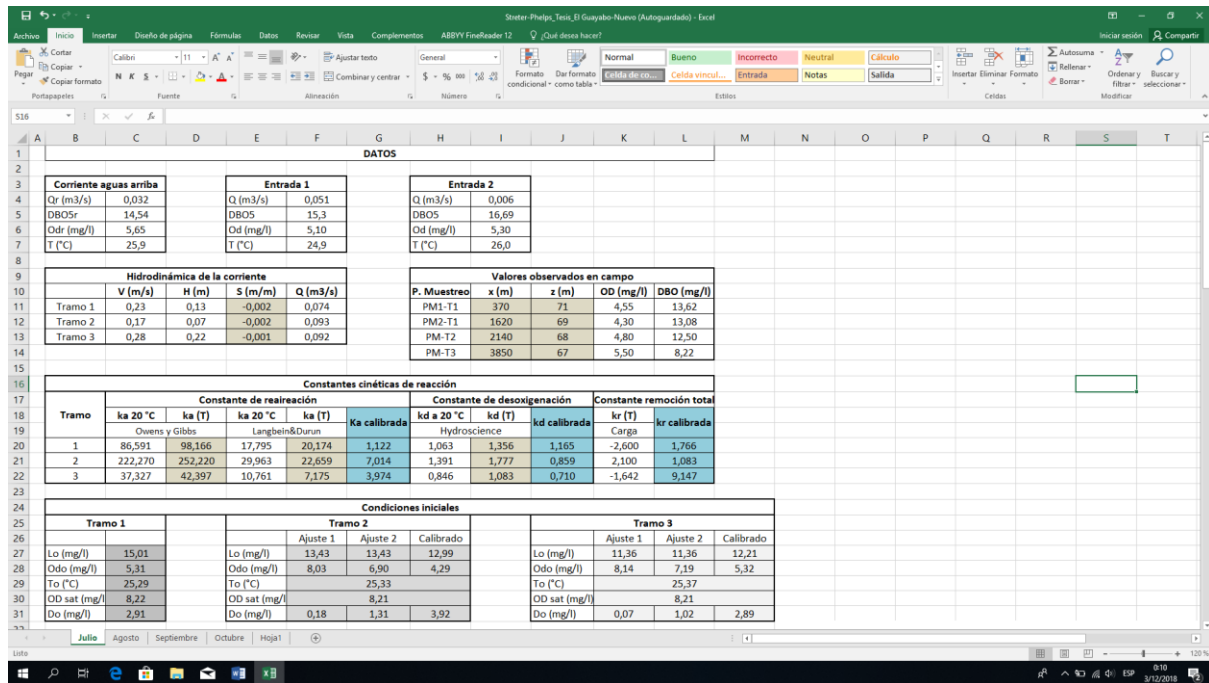
Anexo 16. Hoja para el cálculo de caudales del tramo uno en el mes de julio



Anexo 17. Hoja para el cálculo de caudales del tramo dos en el mes de julio



Anexo 18. Hoja para el cálculo de caudales del tramo tres en el mes de julio



Anexo 19. Hoja del modelo de Streeter y Phelps para el mes de julio

Inicio

Insertar

Diseño de página

Fórmulas

Datos

Revisar

Vista

Complementos

ABBYY FineReader 12

¿Qué desea hacer?

Calibri

11

A

A

Ajustar texto

General

Formato condicional

Normal

Bueno

Incorrecto

Neutral

Cálculo

Celda de color

Celda vinculada

Entrada

Notas

Salida

Insertar

Eliminar

Formato

Autosuma

Rellenar

Borrar

Ordenar y filtrar

Buscar y seleccionar

Modificar

Portapapeles

Fuente

Alineación

Número

Estilos

Celdas

R22

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

DATOS

Corriente aguas arriba

Qr (m3/s)

0,044

DBO5r

9,18

Od (mg/l)

6,8

T (°C)

25,4

Entrada 1

Q (m3/s)

0,012

DBO5

11,46

Od (mg/l)

8,2

T (°C)

26,4

Entrada 2

Q (m3/s)

0,004

DBO5

23,13

Od (mg/l)

6,0

T (°C)

26,0

Hidrodinámica de la corriente

V (m/s)

H (m)

S (m/m)

Q (m3/s)

Tramo 1

0,24

0,14

-0,002

0,053

Tramo 2

0,13

0,06

-0,002

0,071

Tramo 3

0,23

0,21

-0,001

0,075

Valores observados en campo

P. Muestreo

x (m)

z (m)

OD (mg/l)

DBO (mg/l)

PM1-T1

370

71

6,75

9,06

PM2-T1

1620

69

6,20

7,62

PM-T2

2140

68

6,00

6,60

PM-T3

3850

67

6,50

5,34

Constantes cinéticas de reacción

Constante de reaeración

ka 20 °C

ka (T)

ka 20 °C

ka (T)

Owens y Gibbs

88,736

16,826

19,220

Langbein&Dunin

28,127

21,246

6,002

Ka calibrada

0,616

3,414

5,847

Constante de desoxygenación

kd a 20 °C

kd (T)

Hydroscience

1,030

1,332

kd calibrada

1,297

1,897

Constante remoción total

kr (T)

Carga

-1,525

2,659

kr calibrada

3,051

3,134

Condiciones iniciales

Tramo 1

Lo (mg/l)

9,67

Odo (mg/l)

7,10

To (°C)

25,61

OD sat (mg/l)

8,17

Do (mg/l)

1,07

Tramo 2

Ajuste 1

Ajuste 2

Calibrado

Lo (mg/l)

8,71

8,71

7,61

Odo (mg/l)

8,04

7,45

6,30

To (°C)

25,64

OD sat (mg/l)

8,17

Do (mg/l)

0,13

0,72

1,87

Tramo 3

Ajuste 1

Ajuste 2

Calibrado

Lo (mg/l)

7,12

7,12

6,59

Odo (mg/l)

8,12

7,48

5,80

To (°C)

25,66

OD sat (mg/l)

8,16

Do (mg/l)

0,04

0,68

2,36

Julio

Agosto

Septiembre

Octubre

Hoja1

100%

Anexo 20. Hoja del modelo de Streeter y Phelps para el mes de agosto

Inicio

Insertar

Diseño de página

Fórmulas

Datos

Revisar

Vista

Complementos

ABBYY FineReader 12

¿Qué desea hacer?

Cortar

Copiar

Copiar formato

Portapapeles

Calibri

11

A

A

Ajustar texto

N

K

S

+

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

□

Anexo 21. Hoja del modelo de Streeter y Phelps para el mes de septiembre

Streeter-Phelps_Test, El Guayabo Nuevo (AutoGuardado) - Excel

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Complementos ABBYY FineReader 12 ¿Qué desea hacer?

Calibre 11 A A Ajustar texto General Fuente Alineación Número Edición

Normal Bueno Incorrecto Neutral Cálculo Cálculo de co... Celda vincul... Entrada Notas Salida Insertar Eliminar Formato Borrar Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Modificar

Q10

DATOS												
Corriente aguas arriba			Entrada 1			Entrada 2						
Qr (m³/s)	0,008		Q (m³/s)	0,008		Q (m³/s)	0,004					
DBO5r	6,48		DBO5	12,05		DBO5	13,14					
ODr (mg/l)	8,50		OD (mg/l)	7,40		OD (mg/l)	5,60					
T (°C)	24,20		T (°C)	26,20		T (°C)	25,15					
Hidrodinámica de la corriente						Valores observados en campo						
	V (m/s)	H (m)	S (m/m)	Q (m³/s)		P. Muestreo	x (m)	z (m)	OD (mg/l)	DBO (mg/l)		
Tramo 1	0,07	0,06	-0,002	0,013		PM1-T1	370	71	7,50	7,65		
Tramo 2	0,02	0,08	-0,001	0,006		PM-T2	2140	68	4,30	6,39		
Tramo 3	0,04	0,17	#REF!	0,013		PM-T3	3850	67	5,40	3,78		
Constantes cinéticas de reacción												
Tramo	Constante de reaeración				Constante de desoxygenación				Constante remoción total			
	ka 20 °C	ka (T)	ka 20 °C	ka (T)	Ka calibrada	kd a 20 °C	kd (T)	kd calibrada	kr (T)	kr calibrada		
1	163,135	184,547	15,145	17,133	0,146	1,487	1,889	0,696	2,094	0,791		
2	41,389	46,810	2,951	2,233	0,036	1,313	1,666	0,690	-0,376	0,709		
3	16,329	18,464	2,166	1,357	2,140	0,946	1,201	0,629	0,963	1,576		
Condiciones iniciales												
Tramo 1			Tramo 2				Tramo 3					
			Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado				Ajuste 1	Ajuste 2	Calibrado	
Lo (mg/l)	9,27		5,57	5,57	7,49				1,80	1,80	6,05	
Odo (mg/l)	7,95		8,18	7,58	6,43				7,98	4,28	4,04	
To (°C)	25,20		25,19						25,18			
OD sat (mg/l)	8,23		8,23						8,24			
Do (mg/l)	0,28		0,06			1,81			0,26			4,20
Ajuste inicial del modelo												
Julio Agosto Septiembre Octubre												

10,00

Anexo 22. Hoja del modelo de Streeter y Phelps para el mes de octubre

STATGRAPHICS Centurion - Calibracion_Julio-Tramo1.sgp - [Simulaciones Monte Carlo]

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

Libro de Datos StatAdvisor StatGallery StatReporter Comentarios del StatFolio StatLog Simulaciones Monte Carlo

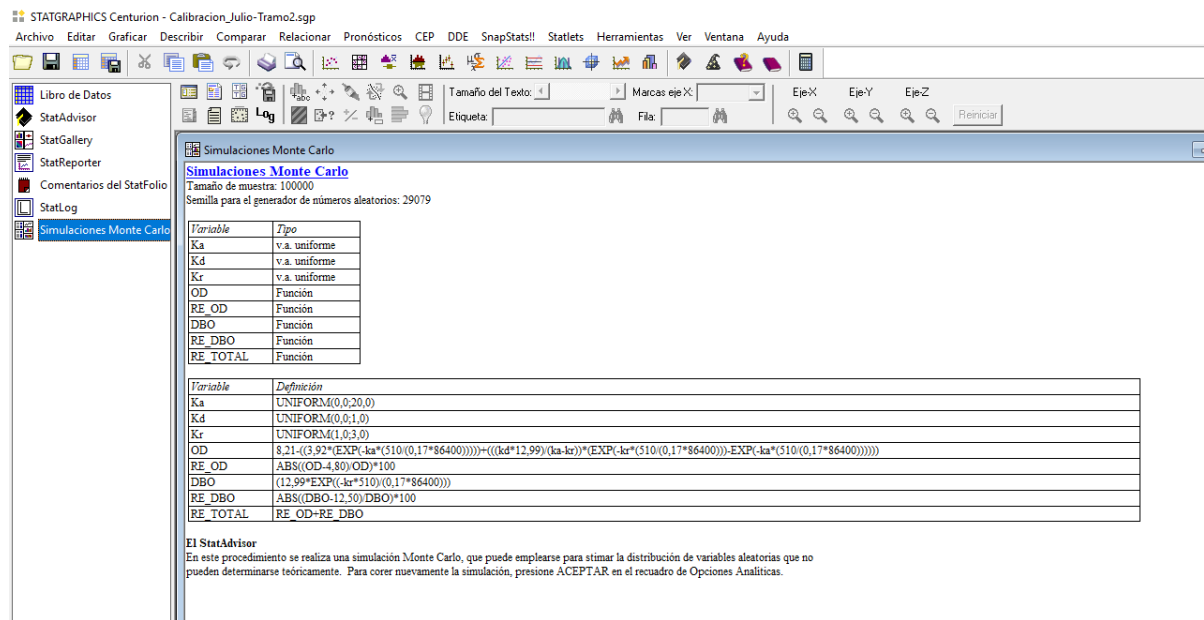
Tamaño de muestra: 100000
Semilla para el generador de números aleatorios: 28720

Variable	Tipo
Ka	v.a. uniforme
Kd	v.a. uniforme
Kr	v.a. uniforme
OD	Función
RE_OD	Función
OD2	Función
RE_OD2	Función
DBO	Función
RE_DBO	Función
DBO2	Función
RE_DBO2	Función
RE_TOTAL	Función

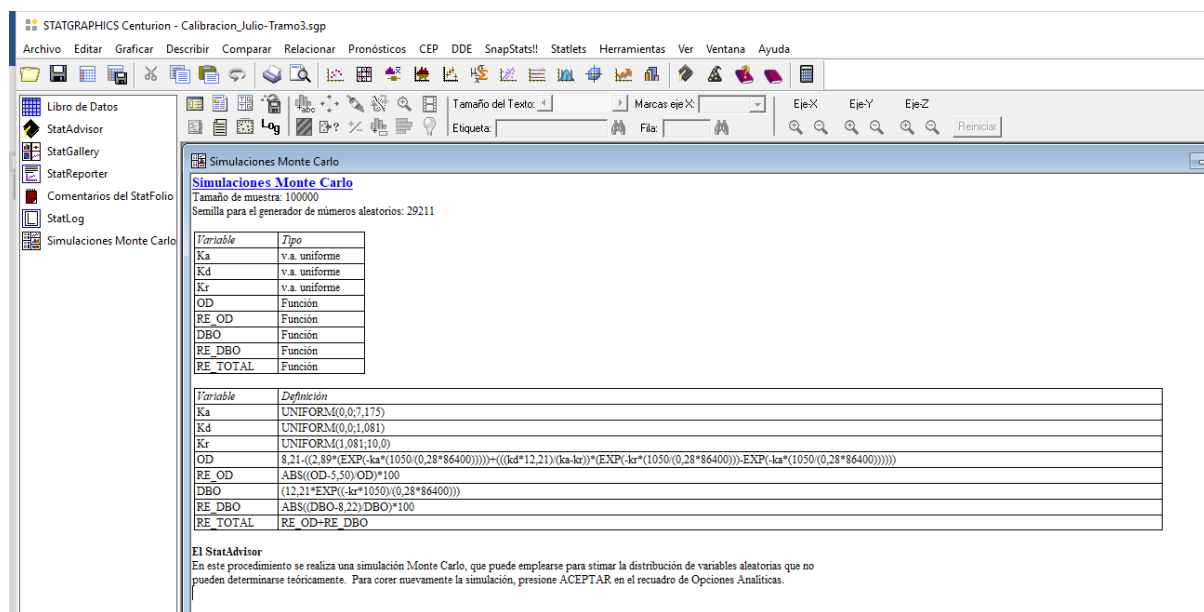
Variable	Definición
Ka	UNIFORM(0,0,20,0)
Kd	UNIFORM(0,0,1,356)
Kr	UNIFORM(1,356,10,0)
OD	$8,22 - ((2,91 * \text{EXP}(-ka * (370 / (0,23 * 86400)))) + ((kd * 15,01) * (\text{EXP}(-kr * (370 / (0,23 * 86400))) - \text{EXP}(-ka * (370 / (0,23 * 86400))))))$
RE_OD	$\text{ABS}((OD - 4,55) / OD) * 100$
OD2	$8,22 - ((2,91 * \text{EXP}(-ka * (1620 / (0,23 * 86400)))) + ((kd * 15,01) * (\text{EXP}(-kr * (1620 / (0,23 * 86400))) - \text{EXP}(-ka * (1620 / (0,23 * 86400))))))$
RE_OD2	$\text{ABS}((OD2 - 4,55) / OD2) * 100$
DBO	$(15,01 * \text{EXP}(-kr * (370 / (0,23 * 86400))))$
RE_DBO	$\text{ABS}((DBO - 13,62) / DBO) * 100$
DBO2	$(15,01 * \text{EXP}(-kr * (1620 / (0,23 * 86400))))$
RE_DBO2	$\text{ABS}((DBO2 - 13,62) / DBO2) * 100$
RE_TOTAL	$\text{RE_OD} + \text{RE_OD2} + \text{RE_DBO} + \text{RE_DBO2}$

El StatAdvisor
En este procedimiento se realiza una simulación Monte Carlo, que puede emplearse para estimar la distribución de variables aleatorias que no pueden determinarse teóricamente. Para correr nuevamente la simulación, presione ACEPTAR en el recuadro de Opciones Analíticas.

Anexo 23. Hoja de calibración de Statgraphics para el tramo uno del mes de julio



Anexo 24. Hoja de calibración de Statgraphics para el tramo dos del mes de julio



Anexo 25. Hoja de calibración de Statgraphics para el tramo tres del mes de julio

QUAL2K
Stream Water Quality Model
Estero El Guayabo (7/27/2018)
Reach Rates and Velocities

Open Old File Run Fortran

Reach Number	Reach Label	Prescribed Reaeration /d	Settling Velocity m/d	Hydrolysis Rate /d	Oxidation Rate /d	Fast CBOD /d	Organic N /d	Ammonium /d	Nitrate /d	Denitri /d	Sed Denitri transfer coeff m/d	Organic P /d	Settling Velocity m/d	Inorganic P /d
1	Mainstem headwater	1,122	0,078			1,1650								3,
2	Tramo 1	1,122	0,078			1,1650								
3	Tramo 2	7,014	0,016			0,8590								
4	Tramo 3	3,974	1,856			0,7100								

Anexo 26. Hoja del software QUAL2K para el mes de julio

QUAL2K
Stream Water Quality Model
Estero El Guayabo (8/4/2018)
Reach Rates and Velocities

Open Old File Run Fortran

Reach Number	Reach Label	Prescribed Reaeration /d	Settling Velocity m/d	Hydrolysis Rate /d	Oxidation Rate /d	Fast CBOD /d	Organic N /d	Ammonium /d	Nitrate /d	Denitri /d	Sed Denitri transfer coeff m/d	Organic P /d	Settling Velocity m/d	Inorganic P /d
1	Mainstem headwater	0,616	0,246			1,2970								3,
2	Tramo 1	0,616	0,246			1,2970								
3	Tramo 2	3,414	0,074			1,8970								
4	Tramo 3	5,847	0,441			0,5090								

Anexo 27. Hoja del software QUAL2K para el mes de agosto

SEPTIEMBRE Q2K (Modo de compatibilidad) - Excel

1 **QUAL2K**
2 **Stream Water Quality Model**
3 **Estero El Guayabo (9/8/2018)**
4 **Reach Rates and Velocities!**

Open Old File Run Fortran

Reach Number	Reach Label	Prescribed Reaeration /d	ISS Settling Velocity m/d	Slow CBOD Hydrolysis Rate /d	Fast CBOD Oxidation Rate /d	Organic N Hydrolysis Rate /d	Ammonium Settling Velocity m/d	Nitrate Denitri Rate m/d	Sed Denitri transfer coeff m/d	Organic P Hydrolysis Rate /d	Inorga Settling Velocity m/d
1	Mainstem headwater	0,608	0,024		1,1990						3,
2	Tramo 1	0,608	0,024		1,1990						
3	Tramo 2	0,028	0,0004		0,0480						
4	Tramo 3	1,475	0,27		0,6580						

QUAL2K Time Zones Headwater Downstream Reach Reach Rates Air Temperature Dew Point Temperature Wind Speed Cloud Co

Anexo 28.Hoja del software QUAL2Kpara el mes de septiembre

OCTUBRE Q2K (Modo de compatibilidad) - Excel

1 **QUAL2K**
2 **Stream Water Quality Model**
3 **Estero El Guayabo (10/11/2018)**
4 **Reach Rates and Velocities!**

Open Old File Run Fortran

Reach Number	Reach Label	Prescribed Reaeration /d	ISS Settling Velocity m/d	Slow CBOD Hydrolysis Rate /d	Fast CBOD Oxidation Rate /d	Organic N Hydrolysis Rate /d	Ammonium Settling Velocity m/d	Nitrate Denitri Rate m/d	Sed Denitri transfer coeff m/d	Organic P Hydrolysis Rate /d	Inorga Settling Velocity m/d
1	Mainstem headwater	0,146	0,0057		0,6960						3,
2	Tramo 1	0,146	0,0057		0,6960						
3	Tramo 2	0,036	0,0015		0,6900						
4	Tramo 3	2,14	0,161		0,6290						

QUAL2K Time Zones Headwater Downstream Reach Reach Rates Air Temperature Dew Point Temperature Wind Speed Cloud Co

Anexo 29.Hoja del software QUAL2Kpara el mes de octubre

QUAL2K
Stream Water Quality Model
Estero El Guayabo (7/27/2018)
Constituent Summary

Reach Label	x(km)	cond (umhos)	ISS (mg/L)	DO(mg/L)	CBODs (mg/L)	CBODf (mg/L)	Nt(ug/L)	NH4(ug/L)	NO3(ug/L)	Po (ug/L)	Inorg P (ug/L)	Phyto (ug/L)	QNp(ugN/mgA)	QPs (ugP/mgA)	Detrit
Mainstem headwa	4.45	0.00	0.00	5.55	0.00	14.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mainstem headwa	4.38	0.00	0.00	5.47	0.00	14.32	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mainstem headwa	4.23	0.00	0.00	5.29	0.00	14.11	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	4.07	0.00	0.00	5.03	0.00	14.67	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.91	0.00	0.00	4.90	0.00	14.50	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.74	0.00	0.00	4.77	0.00	14.33	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.58	0.00	0.00	4.65	0.00	14.17	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.42	0.00	0.00	4.53	0.00	14.01	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.25	0.00	0.00	4.41	0.00	13.85	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.09	0.00	0.00	4.30	0.00	13.70	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.93	0.00	0.00	4.19	0.00	13.55	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.76	0.00	0.00	4.09	0.00	13.40	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.60	0.00	0.00	3.99	0.00	13.26	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.46	0.00	0.00	4.14	0.00	13.17	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.34	0.00	0.00	4.28	0.00	13.08	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.23	0.00	0.00	4.41	0.00	12.98	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.11	0.00	0.00	4.53	0.00	12.89	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.99	0.00	0.00	4.65	0.00	12.80	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.88	0.00	0.00	4.77	0.00	12.71	0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.76	0.00	0.00	4.88	0.00	12.62	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.64	0.00	0.00	4.98	0.00	12.54	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.53	0.00	0.00	5.09	0.00	12.45	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.41	0.00	0.00	5.18	0.00	12.36	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	1.28	0.00	0.00	5.22	0.00	12.59	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	1.15	0.00	0.00	5.24	0.00	12.52	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	1.01	0.00	0.00	5.26	0.00	12.46	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.88	0.00	0.00	5.29	0.00	12.40	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.74	0.00	0.00	5.31	0.00	12.33	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.61	0.00	0.00	5.34	0.00	12.27	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo 30.Valores predichos de OD y DBO por el software QUAL2K para el mes de julio

QUAL2K
Stream Water Quality Model
Estero El Guayabo (8/4/2018)
Constituent Summary

Reach Label	x(km)	cond (umhos)	ISS (mg/L)	DO(mg/L)	CBODs (mg/L)	CBODf (mg/L)	Nt(ug/L)	NH4(ug/L)	NO3(ug/L)	Po (ug/L)	Inorg P (ug/L)	Phyto (ug/L)	QNp(ugN/mgA)	QPs (ugP/mgA)	Detrit
Mainstem headwa	4.45	0.00	0.00	6.80	0.00	9.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mainstem headwa	4.38	0.00	0.00	6.68	0.00	9.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mainstem headwa	4.23	0.00	0.00	6.56	0.00	8.92	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	4.07	0.00	0.00	6.79	0.00	9.33	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.91	0.00	0.00	6.67	0.00	9.21	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.74	0.00	0.00	6.56	0.00	9.09	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.58	0.00	0.00	6.45	0.00	8.96	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.42	0.00	0.00	6.34	0.00	8.85	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.25	0.00	0.00	6.24	0.00	8.73	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.09	0.00	0.00	6.13	0.00	8.61	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.93	0.00	0.00	6.03	0.00	8.50	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.76	0.00	0.00	5.94	0.00	8.39	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.60	0.00	0.00	5.84	0.00	8.28	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.46	0.00	0.00	5.77	0.00	8.13	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.34	0.00	0.00	5.70	0.00	7.98	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.23	0.00	0.00	5.64	0.00	7.84	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.11	0.00	0.00	5.59	0.00	7.70	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.99	0.00	0.00	5.54	0.00	7.56	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.88	0.00	0.00	5.50	0.00	7.43	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.76	0.00	0.00	5.46	0.00	7.29	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.64	0.00	0.00	5.42	0.00	7.17	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.53	0.00	0.00	5.39	0.00	7.04	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.41	0.00	0.00	5.37	0.00	6.92	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	1.28	0.00	0.00	5.51	0.00	7.97	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	1.15	0.00	0.00	5.61	0.00	7.93	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	1.01	0.00	0.00	5.71	0.00	7.90	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.88	0.00	0.00	5.80	0.00	7.87	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.74	0.00	0.00	5.89	0.00	7.83	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.61	0.00	0.00	5.97	0.00	7.80	0.00	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo 31.Valores predichos de OD y DBO por el software QUAL2Kpara el mes de agosto

SEPTEMBRE-Q2K [Modo de compatibilidad] - Excel

QUAL2K
Stream Water Quality Model
Estero El Guayabo (9/8/2018)
Constituent Summary

Run Fortran Open Old File

Reach Label	x(km)	cond (umhos)	ISS (mgO/L)	DO(mgO/L)	CBODs (mgO/L)	CBODf (mgO/L)	No(u/L)	NH4(u/L)	NO3(u/L)	Po (ugP/L)	Inorg P (ugP/L)	Phyto (ugA/L)	ONp(ugN/mgA)	OPp (ugP/mgA)	Detrit
Mainstem headwa	4.45	0.00	0.00	7.80	0.00	3.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mainstem headwa	4.38	0.00	0.00	7.74	0.00	3.20	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mainstem headwa	4.23	0.00	0.00	7.68	0.00	3.14	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	4.07	0.00	0.00	7.20	0.00	5.05	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.91	0.00	0.00	7.12	0.00	4.97	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.74	0.00	0.00	7.05	0.00	4.89	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.58	0.00	0.00	6.98	0.00	4.81	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.42	0.00	0.00	6.92	0.00	4.74	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.25	0.00	0.00	6.85	0.00	4.68	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.09	0.00	0.00	6.79	0.00	4.59	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.93	0.00	0.00	6.73	0.00	4.52	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.76	0.00	0.00	6.67	0.00	4.45	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.60	0.00	0.00	6.61	0.00	4.38	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.46	0.00	0.00	6.61	0.00	4.38	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.34	0.00	0.00	6.61	0.00	4.38	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.23	0.00	0.00	6.61	0.00	4.37	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.11	0.00	0.00	6.60	0.00	4.37	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.99	0.00	0.00	6.60	0.00	4.37	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.88	0.00	0.00	6.60	0.00	4.37	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.76	0.00	0.00	6.60	0.00	4.37	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.64	0.00	0.00	6.60	0.00	4.36	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.53	0.00	0.00	6.60	0.00	4.36	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.41	0.00	0.00	6.59	0.00	4.36	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	1.28	0.00	0.00	6.37	0.00	6.29	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	1.15	0.00	0.00	6.36	0.00	6.24	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	1.01	0.00	0.00	6.34	0.00	6.20	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.88	0.00	0.00	6.33	0.00	6.15	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.74	0.00	0.00	6.32	0.00	6.12	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.61	0.00	0.00	6.31	0.00	6.08	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo 32.Valores predichos de OD y DBO por el software QUAL2Kpara el mes de septiembre

OCTUBRE-Q2K [Modo de compatibilidad] - Excel

QUAL2K
Stream Water Quality Model
Estero El Guayabo (10/11/2018)
Constituent Summary

Run Fortran Open Old File

Reach Label	x(km)	cond (umhos)	ISS (mgO/L)	DO(mgO/L)	CBODs (mgO/L)	CBODf (mgO/L)	No(u/L)	NH4(u/L)	NO3(u/L)	Po (ugP/L)	Inorg P (ugP/L)	Phyto (ugA/L)	ONp(ugN/mgA)	OPp (ugP/mgA)	Detrit
Mainstem headwa	4.45	0.00	0.00	8.50	0.00	6.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mainstem headwa	4.38	0.00	0.00	8.41	0.00	6.39	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mainstem headwa	4.23	0.00	0.00	8.32	0.00	6.30	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	4.07	0.00	0.00	7.76	0.00	9.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.91	0.00	0.00	7.67	0.00	8.98	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.74	0.00	0.00	7.68	0.00	8.89	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.58	0.00	0.00	7.49	0.00	8.60	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.42	0.00	0.00	7.40	0.00	8.70	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.25	0.00	0.00	7.31	0.00	8.61	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	3.09	0.00	0.00	7.22	0.00	8.53	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.93	0.00	0.00	7.14	0.00	8.44	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.76	0.00	0.00	7.05	0.00	8.35	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 1	2.60	0.00	0.00	6.97	0.00	8.27	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.46	0.00	0.00	6.90	0.00	8.19	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.34	0.00	0.00	6.82	0.00	8.12	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.23	0.00	0.00	6.75	0.00	8.04	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	2.11	0.00	0.00	6.68	0.00	7.97	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.99	0.00	0.00	6.60	0.00	7.90	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.88	0.00	0.00	6.53	0.00	7.83	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.76	0.00	0.00	6.47	0.00	7.75	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.64	0.00	0.00	6.40	0.00	7.68	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.53	0.00	0.00	6.33	0.00	7.62	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 2	1.41	0.00	0.00	6.26	0.00	7.55	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	1.28	0.00	0.00	6.12	0.00	8.60	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	1.15	0.00	0.00	6.12	0.00	8.53	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	1.01	0.00	0.00	6.11	0.00	8.47	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.88	0.00	0.00	6.11	0.00	8.40	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.74	0.00	0.00	6.11	0.00	8.34	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tramo 3	0.61	0.00	0.00	6.11	0.00	8.27	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo 33.Valores predichos de OD y DBO por el software QUAL2Kpara el mes de octubre