



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

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

Perfil del Proyecto de Investigación:

“MODELIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL *ESTERO MACACHE*,
ZONA SUR, CANTÓN QUEVEDO, AÑO 2016-2017”

Autoras:

Arana Castro Reina Milena

Sánchez Barco Nathaly Melissa

Director del proyecto de investigación:

Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez, MSc.

Quevedo-Los Ríos- Ecuador

2016-2017

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotras, Reina Milena Arana Castro y Nathaly Melissa Sánchez Barco, declaramos que la investigación aquí descrita es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que se ha 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. _____
Reina Milena Arana Castro
C.C. # 1208029189

f. _____
Nathaly Melissa Sánchez Barco
C.C. # 1206305763

Certificación de culminación del proyecto de investigación

El suscrito, Julio Cesar Pazmiño Rodríguez, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que las estudiantes, Arana Castro Reina Milena y Sánchez Barco Nathaly Melissa realizaron el Proyecto de Investigación de grado titulado “Modelización de la calidad del agua del Estero Macache, zona sur, cantón Quevedo, año 2016-2017”, previo a la obtención del título de Ingeniería en Gestión Ambiental , bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

.....

Ing. Julio Cesar Pazmiño Rodríguez

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Dedicatoria

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi padre Melanio Arana.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante, por su amor y la Fe que tiene hacia mí.

A mi madre Inés castro.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

A mi Abuela Rosa Vera †.

Por aquel amor que me brindo, por enseñarme que nada es imposible y que en el peor momento siempre debo tener una sonrisa, por ser ese ejemplo a seguir y siempre darme ese impulso a terminar esta etapa.

A Santiago Parrales.

Por estar presente incondicionalmente, por darme las fuerzas necesarias para terminar esta meta.

Reina Arana Castro

A Dios

Este proyecto de investigación se la dedico a él por haberme permitido lograr mi meta propuesta y haberme dado la sabiduría para poder superar los obstáculos que se me presentan en mi camino.

A mis Padres

Alfredo Sánchez y Jenny Barco, porque han sido mi pilar fundamental en toda mi formación como persona y en mi carrera estudiantil, por estar siempre apoyándome y motivándome en cada etapa de mi vida para poder alcanzar lo que me proponga.

Nathaly Sánchez

Agradecimiento

A mi maestro Ing. Julio Pazmiño por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración del proyecto de investigación, a la Ing. Mariela Díaz y Ing. Carolina Tay hing por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional y por apoyarnos en su momento.

A mis amigos que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Gabriela Zambrano, Nathaly Sánchez, Aarón Coello, Arturo Vélez por haberme ayudado a realizar este trabajo.

Al Blgo. Juan Manuel Soto por su colaboración en cada etapa de la investigación y por brindarme su amistad dentro de ella.

Reina Arana Castro

Al Ingeniero Julio Pazmiño quien dirigió el proyecto de investigación y supo guiarnos de la mejor manera para llevarla a cabo, por tener la disposición de brindarnos de su tiempo, y porque aparte de ser un docente guía, demostró ser un buen amigo.

A mis amigos: Reina Arana, Gabriela Zambrano, Arturo Vélez y Aarón Coello por demostrarme ser buenos amigos en todo momento y compañeros de trabajo a la vez en el transcurso del proyecto.

Nathaly Sánchez

Resumen Ejecutivo

El presente proyecto de investigación se realizó con el fin de modelar el comportamiento del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno en el estero Macache segmentado en cuatro tramos de monitoreo. Para llevar a cabo esta investigación se alcanzaron cuatro objetivos específicos: la determinación de las características hidromorfológicas en cada una de las unidades de modelización, la estimación de los parámetros físicos químicos requeridos para la modelización de la calidad del agua, y la modelización de la calidad del estero Macache mediante las ecuaciones de Streeter y Phelps, además de la simulación de la calidad del agua mediante la aplicación del software QUAL2K. Para la obtención de datos en el campo se realizó por un periodo de muestreo de cuatro meses (octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero).

Con los datos de campo obtenidos de las de OD y DBO y las variables de las características hidromorfológicas tanto en época seca como la época lluviosa, se realizó la calibración del modelo de Streeter –Phelps en dicha calibración la metodología empleada fue el uso del software estadístico statgraphics con simulaciones de Montecarlo, y el método manual y automático, a través de la Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE); de acuerdo a los resultados obtenidos esta calibración resultó obtener un buen ajuste debido que los valores obtenidos con el coeficiente de rendimiento y el índice Nash se acercaron a uno.

Los resultados revelan que el caudal tuvo una variación de 849,92 l/s (tramo 3) y 931,08 l/s (aguas arribas) en los meses de enero y febrero debido a que estos meses fueron los de mayor precipitación.

Respecto a los niveles de oxígeno disuelto las mayores concentraciones se presentan en la época lluviosa que corresponden al mes de enero y febrero con niveles de 5 a 6 mg/l, a diferencia de los meses de octubre noviembre y diciembre (época seca) con menores concentraciones que varían de 1 a 5mg/l

Los mayores niveles de concentración de DBO se dan en la descarga del “Guayacán” con un promedio que supera los 44 mg/l en la época seca a excepción de la estación lluviosa que presento concentraciones por debajo de los 10 mg/l.

Por otra parte, la simulación con el software QUAL2K no se obtuvo un buen ajuste, debido a la ausencia de datos de parámetros requeridos por el software, además se realizó el análisis de rendimiento del modelo de Streeter y Phelps para ajustar los valores de OD y DBO tomados en el campo, de acuerdo a los valores del coeficiente de determinación y del índice de Nash-Sutcliffe obtenidos indican que en su mayoría presentan un ajuste óptimo.

Palabras Claves: Streeter-Phelps, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, hidromorfológica, QUAL2K.

Abstract

The present research project was carried out in order to model the behavior of dissolved oxygen and the biochemical oxygen demand in the segregated Macache estuary in four monitoring sections. In order to carry out this research, four specific objectives were achieved: Hydromorphological characteristics in each of the modeling units, the estimation of the chemical physical parameters required for the modeling of the water quality, and the modeling of the quality of the Macache estuary using the Streeter and Phelps equations, in addition to the La Water quality by using QUAL2K software. To obtain data in the field, a sampling period of four months (October, November, December, January and February).

With the field data obtained from OD and BOD and the variables of the hydromorphological characteristics both in the dry season and the rainy season, the calibration of the Streeter -Phelps model was performed for this calibration. The methodology used was the use of the software Statistical statgraphics with Monte Carlo simulations, and the manual and automatic method, through the Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE); According to the results obtained, this calibration resulted in a good adjustment because the values obtained with the coefficient of performance and the Nash index were close to one.

The results of the hydromorphological characteristics of the flow had a variation of 849.92 l / s (section 3) and 931.08 l / s (freshwater) in the months of January and February because these months were the ones with the highest precipitation.

With respect to the dissolved oxygen levels, the highest concentrations occur in the rainy season corresponding to the month of January and February with levels of 5 to 6 mg/l, unlike the months of October November and December (dry season) with Lower concentrations ranging from 1 to 5 mg/l.

The highest concentrations of BOD5 occur in the "Guayacan" discharge with an average of over 44 mg /l in the dry season, with the exception of the rainy season with concentrations below 10 mg /l.

On the other hand, the simulation with the software QUAL2K did not obtain a good adjustment, due to the absence of data of parameters that required by the software, in addition was realized the analysis of performance of the model of Streeter and Phelps to adjust the values of OD And BOD taken in the field, according to the calculated coefficient of determination and Nash-Sutcliffe index values indicate that the majority of them present an optimum adjustment.

Keywords: Streeter-Phelps, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, Hydromorphological, QUAL2K.

TABLA DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
Certificación de culminación del proyecto de investigación.....	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Resumen Ejecutivo	vi
Abstract.....	viii
TABLA DE CONTENIDOS.....	x
INDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICO.....	xvi
Introducción.....	xxi

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Problema de investigación.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.2 Formulación del problema.....	2
1.1.3 Sistematización del problema	3
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Justificación	4

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Marco Conceptual.....	5
2.1.1 Contaminación del agua	5
2.1.2 Fuentes de contaminación del agua	5
2.1.3 Efectos de la contaminación del agua.....	6
2.1.4 Hidrodinámica y Geometría del Agua Superficial	7
2.1.5 Profundidad	8
2.1.6 Pendiente	8
2.1.7 Rugosidad.....	9
2.1.8 Calidad del Agua Superficial.....	9
2.1.9 Características químicas del agua superficial.....	10
2.1.10 Tipos de DBO.....	12
2.1.11 Modelización de la calidad del agua superficial.....	13
2.1.12 Modelo de Streeter-Phelps.....	15
2.1.13 Análisis de la sensibilidad	17
2.2 Marco Referencial.....	18

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización.....	20
3.1.1 Localización de los sitios de muestreo y tramos de modelización	20
3.2 Tipo de investigación	22

3.2.1 De campo Exploratoria.....	22
3.2.2 Descriptiva.....	22
3.3 Métodos de investigación	22
3.3.1 Método de observación.....	22
3.3.2 Método deductivo	22
3.3.3 Método inductivo.....	22
3.4 Fuentes de recopilación de información.....	23
3.4.1 Fuentes primarias.....	23
3.4.2 Fuentes secundarias	23
3.5 Diseño de la investigación.....	23
3.6 Tratamiento de los datos.....	23
3.6.1 Determinar las características hidromorfológicas y geométricas del estero Macache.	23
3.6.2 Medición de los parámetros fisicoquímicos requeridos para el modelo de calidad del agua.....	24
3.6.3 Modelizar la calidad de agua del estero Macache en términos de OD y DBO aplicando el modelo de Streeter y Phelps.....	25
3.6.4 Simulación del OD Y DBO a través de QUAL2K.....	26
3.7 Recursos humanos y materiales.....	26

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de la investigación.....	27
4.1.1 Características hidromorfológicas y geométricas del estero Macache	27
4.1.2 Medición del OD y la DBO	31
4.1.3 Modelización de la calidad del agua con Streeter-Phelps	37
4.1.4 Análisis de rendimiento del OD	57
4.1.5 Análisis de rendimiento de la DBO	58
4.1.6 Simulación de la calidad del agua con Qual2k.....	59
4.2 Discusión de Resultados	68

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	70
5.2 Recomendaciones	71
CAPITULO VI	70
BIBLIOGRAFÍA	70
6.1 Bibliografía	72

CAPITULO VII

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreos en el estero Macache	20
Tabla 2. Ubicación de los tramos en el estero Macache	20
Tabla 3. Materiales a utilizar	26
Tabla 4. Caudal en l/s representativos de la estación seca y lluviosa	27
Tabla 5. Velocidad de la corriente en m/s	28
Tabla 6. Profundidad del cauce del estero Macache, en m.....	30
Tabla 7. Oxígeno disuelto en el estero Macache	31
Tabla 8. Demanda bioquímica de oxígeno	32
Tabla 9. Valores de pH en el estero Macache	33
Tabla 10. Valores de conductividad del estero Macache	35
Tabla 11. Valores de turbidez del estero Macache.....	36
Tabla 12. Valores calculados de la constante de desoxigenación	37
Tabla 13. Valores calculados de la constante de reaireación.....	37
Tabla 14. Valores calculados de la constante de remoción	38
Tabla 15. Resultados de la calibración paramétrica con el método GLUE de las constantes cinéticas k_d , k_a y k_r	38
Tabla 16. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales	39
Tabla 17. Condiciones iniciales de cada tramo de 22 de octubre	40
Tabla 18. Error relativo del oxígeno disuelto.....	41
Tabla 19. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales	42

Tabla 20. Condiciones iniciales de cada tramo	42
Tabla 21. Error relativo del oxígeno disuelto.....	43
Tabla 22. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales	44
Tabla 23. Condiciones iniciales de cada tramo	44
Tabla 24. Error relativo del oxígeno disuelto.....	46
Tabla 25. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales	46
Tabla 26. Condiciones iniciales de cada tramo	46
Tabla 27. Error relativo del oxígeno disuelto.....	48
Tabla 28. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales	48
Tabla 29. Condiciones iniciales de cada tramo	49
Tabla 30. Error relativo del oxígeno disuelto.....	50
Tabla 31. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales	50
Tabla 32. Condiciones iniciales de cada tramo	51
Tabla 33. Error relativo del oxígeno disuelto.....	52
Tabla 34. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales.	53
Tabla 35. Condiciones iniciales de cada tramo	53
Tabla 36. Error relativo del oxígeno disuelto.....	55
Tabla 37. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales	55
Tabla 38. Condiciones iniciales de cada tramo	55
Tabla 39. Error relativo del oxígeno disuelto.....	57
Tabla 40. Análisis de rendimiento del OD.....	57

Tabla 41. Análisis de rendimiento del OD.....	58
--	----

ÍNDICE DE GRÁFICO

Gráfico 1. Variación del caudal en el estero Macache.....	28
Gráfico 2. Velocidad de la corriente en el estero Macache	29
Gráfico 3. Variación de la profundidad en el estero Macache	30
Gráfico 4. Variación del oxígeno disuelto en el estero Macache	32
Gráfico 5. Variación de la DBO en el estero Macache	33
Gráfico 6. Variación del pH en el estero Macache.....	34
Gráfico 7. Variación de la conductividad eléctrica en el estero Macache	35
Gráfico 8. Variación de la turbidez en el estero Macache.....	36
Gráfico 9. Perfil del OD del mes de Octubre (primera semana)	40
Gráfico 10. Perfil de la DBO del mes de Octubre (primera semana).....	41
Gráfico 11. Perfil del OD del mes de Noviembre (Primera semana).....	42
Gráfico 12. Perfil de DBO del mes de Noviembre (Primera semana)	43
Gráfico 13. Perfil del OD del mes de Noviembre (Primera semana).....	45
Gráfico 14. Perfil de la DBO del mes de Noviembre (Segunda semana).....	45
Gráfico 15. Perfil del OD del mes de Diciembre (Primera semana).....	47
Gráfico 16. Perfil de la DBO del mes de diciembre (Primera semana).....	47
Gráfico 17. Perfil del OD del mes de enero (Primera semana).....	49
Gráfico 18. Perfil de la DBO del mes de febrero (Primera semana).....	50

Gráfico 19. Perfil del OD del mes de enero (Segunda semana)	51
Gráfico 20. Perfil de la DBO del mes de enero (Segunda semana)	51
Gráfico 21. Perfil del OD del mes de febrero (Primera semana)	54
Gráfico 22. Perfil de la DBO del mes de febrero (Primera semana).....	54
Gráfico 23. Perfil del OD del mes de febrero (Segunda semana)	56
Gráfico 24. Perfil de la DBO del mes de febrero (Segunda semana).....	56
Gráfico 25. Simulación del OD correspondiente al mes de octubre (primera semana)	59
Gráfico 26. Simulación de la DBO correspondiente al mes de octubre	60
Gráfico 27. Simulación del OD correspondiente al mes de Noviembre (primera semana)	60
Gráfico 28. Simulación del DBO correspondiente al mes de Noviembre (primera semana)	61
Gráfico 29. Simulación del OD correspondiente al mes de Noviembre (Segunda semana)	61
Gráfico 30. Simulación del DBO correspondiente al mes de Noviembre (primera semana)	62
Gráfico 31. Simulación del OD correspondiente al mes de Diciembre (primera semana)	62
Gráfico 32. Simulación de la DBO correspondiente al mes de Diciembre (primera semana)	63
Gráfico 33. Simulación del OD correspondiente al mes de enero (primera semana)...	63
Gráfico 34. Simulación de la DBO correspondiente al mes de Enero (primera semana)	64
Gráfico 35. Simulación del OD correspondiente al mes de Enero (segunda semana)..	64

Gráfico 36. Simulación del OD correspondiente al mes de Enero (Segunda semana) . 65

Gráfico 37. Simulación del OD correspondiente al mes de Febrero (primera semana) 65

Gráfico 38. Simulación del DBO correspondiente al mes de Febrero (primera semana)
..... 66

Gráfico 39. Simulación del OD correspondiente al mes de Febrero (Segunda semana)
..... 67

Gráfico 40. Simulación del DBO correspondiente al mes de Febrero (Segunda semana)
..... 67

Código Dublin

Título:	“Modelización de la calidad del agua del estero Macache Zona Sur, Cantón Quevedo, Provincia De Los Ríos, Año 2016-2017”			
Autores:	Arana Castro Reina Milena; Sánchez Barco Nathaly Melissa			
Palabras clave:	Streeter – Phelps	oxígeno disuelto	Demanda biológica de oxígeno	QUAL2K
Fecha de publicación:	2017			
Editorial:				
Resumen:	Resumen.- El presente proyecto de investigación se realizó con el fin de modelar el comportamiento del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno en el estero Macache, para la modelización de la calidad del agua, se realizó mediante las ecuaciones de Streeter y Phepls, además de la simulación de la calidad del agua mediante la aplicación del software QUAL2K. Se realizó la calibración del modelo de Streeter y Phepls con los datos obtenidos en campo de OD y DBO y las variables de las características con el software estadístico statgraphics con simulaciones de Montecarlo, y el método automático GLUE. los resultados obtenidos esta calibración muestran obtener un buen ajuste debido que los valores obtenidos con el coeficiente de rendimiento y el índice Nash se acercaron a uno. Los resultados revelan que los niveles de OD presentan las mayores concentraciones en la época lluviosa esos valores están por los permisible de acuerdo al libro VI anexo 1 del TULSMA ya que se encuentran en un rango no menor a 6mg/L, respecto a la DBO los niveles de concentración se dan en la época seca en la descarga del “Guayacan” a diferencia de la época lluviosa que estos niveles descienden. La simulación con el software QUAL2K no se obtuvo un buen ajuste, debido a la ausencia de datos de parámetros requeridos por el software, además se realizó el análisis de rendimiento del modelo de Streeter y Phelps para ajustar los valores de OD y DBO tomados en el campo. Abstract.- The present research project was carried out in order to model the behavior of dissolved oxygen and the biochemical oxygen demand in the Macache estuary, for the modeling of water quality, was performed using the Streeter and Phepls equations, in addition to the Simulation of water quality through the application of QUAL2K software. We performed the calibration of the Streeter and Phepls model with the data obtained in OD and BOD field and the variables of the characteristics with the statistical software statgraphics with Monte Carlo simulations, and the automatic GLUE method. The results obtained from this calibration show a good fit because the values obtained with the coefficient of yield and the Nash index were close to one. The results show that he DO levels show the highest concentrations in the rainy season. These values are for those permissible according to the TULSMA Book VI Annex 1, since they are in a range of not less than 6mg / L, with respect to BOD concentration levels are They give in the dry season in the discharge of the "Guayacan" unlike the rainy season that these levels descend. The simulation with the software QUAL2K did not obtain a good adjustment, due to the absence of data of parameters required by the software, in addition the performance analysis of the model of Streeter and Phelps was realized to adjust the values of OD and BOD taken in the countryside.			
Descripción:				
URI:	(en blanco hasta cuando se dispongan los repositorios)			

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 Macache, Zona Sur, Cantón Quevedo, Provincia De Los Ríos, Año 2016-2017”.

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

Aprobado por:

Ing. Cuasquer Fuel Elías

Ing. Guerrero Chuez Norma

Ing. Carolina Tay Hing Cajas

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2016-2017

Introducción

La calidad del agua es vital para nuestra existencia, representa el compromiso y reflejo de formas de vida en el medio ambiente [1]. El esfuerzo de preservar la integridad de las fuentes de agua, implica conservar directamente el balance natural de sus condiciones físicas, químicas y biológicas [2].

Hoy en día la existencia de la contaminación del agua es ocasionada por acciones antropogénicas de una manera directa o indirecta, resultando la alteración de su calidad en relación a los usos que tendrá posteriormente y su función ecológica.

El sector industrial y residencial son las fuentes principales de generación de aguas residuales urbanas contando con elementos contaminantes como la materia orgánica procedente principalmente de las aguas domésticas; estos compuestos son de naturaleza reductora, por lo que consumirán oxígeno, y pueden estar presentes de forma coloidal o disuelta, la producción de estas aguas dependen directamente de la cantidad de la población existente en estos sectores [3].

En la mayoría de las regiones de nuestro país, el problema no es la falta de agua dulce potable sino, más bien, la mala gestión y distribución de los recursos hídricos y sus métodos en el control de aguas residuales, ya que en la mayoría de estas no existe una planta de tratamiento ni controles sobre estas aguas servidas [3].

En la actualidad el estero Macache atraviesa por una lamentable situación, la contaminación de sus aguas no es evidente para la ciudadanía quevedeña ya que cierta cantidad de pobladores siguen utilizándola en diversas actividades; no hay una red de alcantarillado que asegure que las aguas residuales no serán evacuadas directamente al estero así como tampoco existe ningún tipo de inversión en estudios ambientales por parte del Municipio de Quevedo.

Es por ello que al estar contaminadas las aguas del estero ya no atraen a la población como para recrearse en días calurosos, pero aun así hay un mínimo número de pobladores que sin importarles la contaminación acuden a bañarse en éste.

Se destaca la poca preocupación proveniente de las autoridades y de la población de que vive alrededor de los sectores la Virginia 1 y Virginia 2, tomando como evidencia la manera incontrolable de tirar desechos y residuos al cauce provenientes de sus hogares.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Problema de investigación

1.1.1 Planteamiento del problema

La problemática de la contaminación del agua es un tema usual y de preocupación ya que los efectos son muy notables principalmente en ciudades grandes. La calidad del agua tiene una estrecha relación con la salud y la pobreza ya que cuando se trata de ésta no basta solo tenerla de calidad sino también en cantidad.

Uno de los problemas ambientales más serios en la ciudad de Quevedo es indudablemente la mala utilización de los cauces que sirven directamente como cuerpos receptores de descargas con todo tipo de contaminantes provenientes de efluentes domésticos, industriales y alcantarillados municipales, sin un tratamiento previo antes de su debida descarga.

El estero Macache al contaminarlo se lo está transformando en un sumidero de agua, dejando de ser una fuente de agua, ya que coincidentemente la población encuentra más fácil arrojar desperdicios al estero como una manera más rápida de deshacerse de trastos domésticas.

Los tipos de productos y la cantidad vertidos superan la capacidad de autodepuración que tienen las aguas receptoras teniendo como resultado la variación de los niveles de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno en el estero Macache y problemas de contaminación en este recurso hídrico.

Teniendo en cuenta que la demanda bioquímica de oxígeno determina los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas contaminadas; el estudio de este parámetro permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

A su vez es importante estudiar el nivel de concentración total de oxígeno disuelto ya que al tener concentraciones altas pueden ser peligrosas para la vida acuática.

Diagnóstico

La Virginia 1 y Virginia 2, en la actualidad requiere satisfacer gran parte de sus necesidades básicas que garantice una vida digna, necesita de trabajo y gestión de parte de sus habitantes en coordinación con las autoridades municipales para lograr poner un alto a la consecuente contaminación que se lleva al cabo en el estero Macache.

El sector la virginia 1 y virginia 2 al no contar con una planificación de desarrollo para su territorio indirectamente provoca que el sector siga en el olvido y se encuentra en la obligación de arrojar el agua residual directamente al estero, cada vez la calidad del agua es más baja, lo que contribuye a transmitir gran cantidad de enfermedades diarreicas agudas en los pobladores que hacen uso de éstas.

Por todo lo anterior la elaboración de un plan estratégico de desarrollo para la comunidad, que llegue a ser gestionado de una manera correcta y oportuna a través del GAD Municipal, permitirá que los sectores se beneficien con obras fundamentales que mejoren las condiciones de vida para las personas que moran en el sitio, así como también contribuirá a la disminución de contaminación existente en el estero Macache.

Pronóstico

Si no se llevan a cabo estudios por parte de las autoridades y se evita el arrojo de contaminantes al cauce por parte de los habitantes la mala calidad del agua que obtendrá el estero Macache ocasionara de manera directa graves problemas de salud a los pobladores.

1.1.2 Formulación del problema

Por lo anteriormente expuesto se plantea como pregunta general de investigación lo siguiente:

¿Cómo incide la variación de los niveles de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno en la calidad del agua del estero Macache?

1.1.3 Sistematización del problema

¿Se ha evaluado con estudios la calidad del agua para el consumo humano del estero Macache?

¿Se ha determinado las características químicas para mejorar la calidad del agua en el estero Macache?

¿Cuáles son las características físico-químicas adecuadas que debe tener el agua del estero Macache para el consumo humano y sirva de hábitat de especies acuáticas?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Modelización de la calidad del agua del estero Macache, zona sur, cantón Quevedo, año 2016-2017.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las características hidromorfológicas y geométricas del estero Macache en cada una de las unidades de modelización.
- Estimar los parámetros físicos químicos requeridos para el modelo de calidad del agua.
- Modelizar la calidad de agua del estero Macache aplicando las ecuaciones de Streeter y Phelps.
- Simular la calidad del agua a través del estero Macache con el software QUAL2K.

1.3 Justificación

El proyecto de investigación “Modelización de la calidad del agua del estero Macache, zona sur, cantón Quevedo, año 2016-2017”, busca evaluar la calidad del agua de este importante recurso para el cantón, aplicando técnicas básicas de medición de las características hidromorfológicas, y fisicoquímicas.

Existe una diversidad de razones que justifica el proyecto de investigación, incluyendo la magnitud del problema de contaminación del agua, el estero macache posee gran importancia para el desarrollo de todas las actividades de las comunidades que utilizan el agua producida en ella. En la actualidad el recurso hídrico está bajo presiones crecientes como consecuencia del crecimiento de la población, lo cual afecta negativamente la calidad del recurso agua; las carencias de medidas de control de la contaminación dificultan el uso sostenible del vital líquido.

La deficiente planificación urbana de la ciudad de Quevedo y los diferentes procesos utilizados en la industria y el comercio, así como también los usos que se le da al agua en los hogares y edificios alrededor de la urbe del cantón, dan lugar a aguas residuales que contienen gran cantidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos, que una vez depositadas en los esteros sin ningún tratamiento previo, alteran la calidad del agua, poniendo en riesgo la salud de la comunidad.

El estero Macache pasa por una lamentable situación en la actualidad ya que la población que habita alrededor de este no denota el nivel de contaminación que existe en este siguiendo con la utilización de este recurso para sus actividades diarias. Por tanto la ejecución de esta investigación permitió conocer las falencias existentes en los pobladores al contaminar el estero que causan los problemas de la calidad del agua.

La importancia de la investigación radica básicamente en que los resultados serán útiles para investigaciones posteriores sobre el nivel de contaminación que existe en el estero, proporcionando información relevante para la creación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, así como programas de concientización para la comunidad reduciendo los efectos negativos que amenazan la calidad de vida de la población. |

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 Contaminación del agua

La contaminación del agua consiste en la incorporación de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, aguas residuales, entre otros [4].

La introducción de sustancias nocivas al agua es uno de los factores importantes que rompe la armonía entre el hombre y su medio ambiente tanto a corto, medio, y largo plazo, por lo que la prevención y lucha contra la contaminación constituye una necesidad prioritaria [5].

La contaminación microbiológica se ha convertido en un tema de gran interés, ya que la presencia de microorganismos en el agua tiene una relación directa con la salud pública. El agua residual contiene microorganismos patógenos como hongos, levaduras, bacterias y virus originados en desechos humanos, los efectos de la contaminación microbiológica se hacen patente en la salud humana y en la calidad de los ecosistemas. La población humana ha considerado a los cuerpos acuáticos como un receptáculo natural de sus desechos domésticos e industriales [6].

2.1.2 Fuentes de contaminación del agua

2.1.2.1 Principales Fuentes de Contaminación

Estas pueden clasificarse como urbanas, industriales y agrícolas:

1. La **contaminación urbana** está formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales [7].
2. La **contaminación industrial** las características de las aguas residuales industriales difieren bastante dependiendo del tipo de actividad que cada industria desarrolle. El impacto de los vertidos industriales depende no solo de sus características comunes, como la demanda bioquímica de oxígeno, sino también de su contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas específicas [7].

3. La **contaminación Agrícola** la agricultura, la ganadería y las granjas avícolas, son las fuentes de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas [7].

2.1.2.2 Clasificación según su localización

La contaminación de los mantos de aguas superficiales puede ocurrir por fuentes puntuales y no puntuales. La principal fuente no puntual de contaminación del agua es la agricultura. Muchos desechan los productos químicos y fertilizantes en los ríos y caudales cercanos. Una fácil solución para este problema sería disminuir completamente el uso de estos productos en tierras planas o cerca de laderas [4].

Las aguas negras y los desechos industriales arrastrados por el agua de fuentes puntuales generalmente no son tratados. La mayoría de estos desechos son descargados a las corrientes de agua más cercanas o en lagunas de desechos, donde el aire, la luz solar y los microorganismos degradan a los desechos, matan a algunas bacterias patógenas (causantes de enfermedades) y permiten que los sólidos se sedimenten. No contaminan al ambiente, pero sí al cuerpo de agua que los contenga [4].

2.1.3 Efectos de la contaminación del agua

Uno de los efectos importantes de la contaminación del agua es la alteración directa que se da a la salud humana. Los lagos, charcas, lagunas y embalses, son especialmente vulnerables a la contaminación. En este caso, el problema es la eutrofización, que se produce cuando el agua se enriquece de modo artificial con nutrientes, lo que produce un crecimiento anormal de las plantas. Los fertilizantes químicos arrastrados por el agua desde los campos de cultivos contribuyen en gran medida a este proceso [7].

El proceso de eutrofización puede ocasionar problemas, como mal sabor y olor del agua y un cumulo de algas que es estéticamente desagradable. A si mismo se presentan otros cambios químicos, tales como la precipitación del carbonato de calcio en las aguas duras, además del problema cada vez más preocupante es la lluvia acida, la cual ha dejado a muchos lagos totalmente desprovistos de vida [7].

2.1.4 Hidrodinámica y Geometría del Agua Superficial

2.1.4.1 Velocidad de la corriente

La dirección de la velocidad del agua de un río no es paralela a los contornos, sino que presenta desviaciones. El módulo de la velocidad no es uniforme a través de una sección, sino que en general el agua corre más por las partes más hondas, estas características de la corriente son importantes en los cambios fluviales [8].

2.1.4.2 Caudal

Es la cantidad en volumen de agua u otro líquido que corre en función del tiempo. Capacidad de transporte de carga de un medio líquido cualquiera, sea natural o artificial. A escala geofísica, el caudal es la cantidad de agua que pasa en un segundo por una determinada sección de un curso [9].

Se mide en m^3/s , medidos generalmente en la desembocadura; se obtiene al multiplicar la superficie de la sección del curso de agua por la velocidad media del agua que lo recorre [9].

2.1.4.3 Transporte de sustancias en el agua

2.1.4.3.1 Advección

Mecanismo mediante el cual una sustancia o contaminante pasa, se mueve o se transporta de un sitio a otro en un cuerpo de agua debido a la fuerza o al impulso del caudal. Es importante citar que en este tipo de movimiento, la concentración de la sustancia cambia pero no así su composición química [10].

2.1.4.3.2 Difusión/dispersión

Los términos difusión y dispersión son a menudo confundidos, puesto que ambos son considerados básicamente un mecanismo de transporte convectivo que ocasiona la mezcla de un contaminante o sustancia química en el agua [10].

El transporte convectivo se manifiesta cuando el cambio de la concentración de un contaminante se genera por la diferencia de gradientes entre dos sitios del cuerpo de agua [10].

2.1.4.3.3 Ecuación general de la advección/difusión/dispersión

De acuerdo a [11] la ecuación general de advección/difusión/dispersión se expresa mediante el siguiente modelo matemático.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -v_x \frac{\partial c}{\partial x} - v_y \frac{\partial c}{\partial y} - v_z \frac{\partial c}{\partial z} + D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + S_m \quad \text{Ec. (1)}$$

donde:

V = volumen de control (l^3)

c = Concentración de la sustancia (MI^{-3})

S_m = Flujo másico por unidad de volumen originándose en el interior del volumen de control ($MI^{-3}T^{-1}$)

2.1.5 Profundidad

La profundidad aumenta menos que el ancho, pero aumenta a tasas similares en una estación y aguas abajo. Al igual que el ancho, la profundidad es sensible a la forma de las secciones [12].

2.1.6 Pendiente

En las elaboraciones teóricas comunes el flujo se toma como uniforme, es decir, la pendiente de la superficie del agua se asume igual a la pendiente promediada del fondo e idénticamente igual a la pendiente hidráulica. También se denomina pendiente de fricción, pendiente de la línea de energía, la reserva de energía que posee la corriente para movilizarse. Sin embargo, en la del agua, dado que representa bien la pendiente motriz y, además, es el promedio de la pendiente del fondo y es la que se puede medir de manera relativamente fácil [13].

2.1.7 Rugosidad

La rugosidad del cauce ejerce una fuerte influencia en la hidrodinámica del río, principalmente, sobre los niveles de agua y las velocidades de flujo de acuerdo con los resultados del modelo. Los caudales presentan una sensibilidad relativamente baja ante los cambios en la rugosidad durante eventos medios y bajos; en eventos de caudales altos de sensibilidad se aumenta observándose variaciones hasta un 20%. Adicionalmente, en una sección del cauce la mayor influencia en los niveles y los caudales la ejerce la rugosidad definida en dicha sección [14].

2.1.8 Calidad del Agua Superficial

2.1.8.1 Características físicas del agua superficial

2.1.8.1.1 Temperatura

La temperatura es una variable física importante al hablar de la calidad del agua, esta influye en la disminución de la solubilidad del oxígeno al aumentar y la aceleración de los procesos de putrefacción [15]

Según [16] explica que la temperatura de un agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido, estando ligada a la energía cinética media de sus moléculas. Además de que las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales, gases en agua y por lo general a todas sus propiedades, tanto químicas como a su comportamiento microbiológico.

2.1.8.1.2 Color

El agua pura es incolora, pero el agua en la naturaleza esta coloreada a menudo por sustancias externas, como son la materia orgánica del suelo, vegetación, minerales y organismos acuáticos normalmente presentes en las aguas naturales [17].

El color del agua se clasifica como color verdadero o como color aparente. El color del agua que se debe parcialmente a los sólidos disueltos que permanecen después de haber eliminado la materia orgánica en suspensión se conoce como color verdadero. El color que aporta la materia suspendida en el agua, es el color aparente [17].

Manifiesta que el color del agua suele ser debido a sustancias en disolución o a sustancias en suspensión, la coloración de las aguas superficiales es muy común, son causantes del color el material orgánico en descomposición (ácidos húmicos) y algunos minerales disueltos de hierro y manganeso [18].

2.1.2.1.3 Olor

En el agua los malos olores y sabores se deben a los compuestos derivados del crecimiento biológico, actividades industriales, tratamientos química o a la misma fontanería pero la causa más común es la vegetación descompuesta. El olor a pescado, a moho o a tierra es debido a materia orgánica, generalmente inocua, que con frecuencia se encuentra en las fuentes de agua superficial [18].

2.1.9 Características químicas del agua superficial

2.1.9.1 pH

El pH es una medida de la acidez o naturaleza básica (alcalina) de una solución, es también una medida del balance de los iones de hidrogeno $[H^+]$ y los iones hidroxilo negativo $[OH^-]$ en el agua. Los valores de pH van de 0 a 14, considerándose neutral el valor de 7. El agua que contiene más iones de hidrogeno es ácida mientras que el agua que contiene más hidroxilos es básica [19].

Definen a este parámetro como el valor negativo del logaritmo decimal de la concentración de hidrogeno [17].

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad \text{Ec. (2)}$$

El pH del agua está controlado por el equilibrio alcanzado por los compuestos disueltos en el sistema, en las aguas naturales el pH es principalmente función del sistema de carbonatos (dióxido de carbono, ácido carbónico, bicarbonato y carbonato).

Indican que el pH de un agua, manifiesta el comportamiento ácido o básico de la misma, siendo una propiedad de carácter químico de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática. Este es un buen parámetro para determinar la calidad del agua [15].

2.1.9.2 Oxígeno disuelto

Gas de baja solubilidad en el agua, requerido para la vida acuática aerobia, la solubilidad del oxígeno atmosférico en aguas dulces oscila entre 7 mg/l a 35°C y 14,6 mg/l a 0°C para presión de una atmósfera. La baja disponibilidad de oxígeno disuelto limita la capacidad autopurificadora de los cuerpos de agua [10].

La determinación de OD es el fundamento del cálculo de la DBO y de la valoración de las condiciones de aerobividad del agua, en general todo proceso aerobio requiere una concentración de OD, mayor a 0,5 mg/l. [10].

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más importantes de la calidad del agua que afectan a la salud de los ecosistemas, la mortalidad de peces, olores y otras cualidades estéticas de las aguas superficiales. Las descargas de sustancias orgánicas oxidables en cuerpos de agua dan como resultado el consumo de oxígeno y la depresión de los niveles de OD [11].

2.1.9.3 Demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para estabilizar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. Cuando se refiere a la DBO necesaria para oxidar todo el material orgánico carbonáceo biodegradable, se denomina demanda bioquímica última de oxígeno carbonáceo (DBOUC). En condiciones normales de laboratorio, esta demanda se cuantifica a 20°C, el ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO con valores numéricos expresados en mg/l - O₂ [10].

Es el parámetro que se maneja para tener una idea de la concentración en materia orgánica biodegradable; se calcula midiendo la disminución en la concentración de oxígeno disuelto del agua después de incubar una muestra durante cinco días a 20°C. La reacción se lleva a cabo en la oscuridad, para evitar la producción de oxígeno por las algas, a dilución adecuada y manteniendo el pH entre 7 y 7,5 [15].

Las unidades de medida son mgO₂/l y ppmO₂.

2.1.10 Tipos de DBO

2.1.10.1 Cinética de la DBO carbonosa

[10] Menciona que: “La tasa de oxidación bioquímica de la materia orgánica es proporcional a la concentración remanente de sustancia no oxidada, medida en términos de oxidabilidad”. Es decir:

$$\frac{dL}{dt} = -KL \quad \text{Ec. (3)}$$

donde:

L = sustancia oxidable o DBO remanente, mg/l

t = tiempo de oxidación, d

K = constante de oxidación de primer orden, base neperiana, d^{-1}

Por tanto:

$$\ln \frac{L_t}{L_0} = -Kt \quad (3,1)$$

$$\log \frac{L_t}{L_0} = -0,434 Kt = -kt \quad (3,2)$$

$$\frac{L_t}{L_0} = e^{-Kt} = 10^{-kt} \quad (3,3)$$

$$k = 0,434 K \quad (3,4)$$

$$L_0 = Y_t + L_t \quad (3,5)$$

$$Y_t = L_0 - L_t \quad (3,6)$$

$$Y_t = L_0(1 - e^{-Kt}) = (1 - 10^{-kt}) \quad (3,7)$$

donde:

L_0 = DBOUC o demanda bioquímica de oxígeno última carbonacea, mg/l

L_t = DBO remanente para el tiempo t, mg/l

k = Constante de oxidación de primer orden, base decimal, d^{-1}

2.1.10.2 Cinética de la DBO nitrogenada

La descomposición de la materia orgánica, especialmente la hidrólisis de las proteínas, produce material no carbonaceo como el amoniaco. Este material nitrógeno amoniacal, es oxidado por las bacterias nitrificantes en nitrito y nitrato, causando una demanda de oxígeno conocida como demanda bioquímica de oxígeno nitrogenacea (DBON) [10].

En un cultivo mixto, como el usado normalmente para determinar DBO se tiene una población de bacterias nitrificantes baja, porque la tasa de reproducción de las bacterias nitrificantes es lenta normalmente de seis a diez días [10].

2.1.11 Modelización de la calidad del agua superficial

2.1.11.1 Modelos de calidad del agua

Un modelo de la calidad del agua es un modelo abstracto que utiliza el lenguaje matemático para describir el comportamiento del sistema como el transporte físico de las sustancias, procesos físicos, químicos y biológicos [20].

2.1.11.2 Balance del oxígeno disuelto

El modelo del balance de oxígeno disuelto en un río fue estructurado por primera vez por Streeter y Phelps (1925) para describir el comportamiento del río Ohio [21].

Básicamente el modelo establece que la carga de materia orgánica de DBO es el alimento principal de las bacterias presentes en el río, estas llevan a cabo un proceso de oxidación mediante el cual consumen oxígeno disuelto en el agua y materia orgánica. Como resultado de este proceso la cantidad de oxígeno disuelto debería reducirse hasta hacerse cero, llevando el río a la anoxia [21].

2.1.11.3 Constante de desoxigenación

La constante de desoxigenación sirve para determinar `para el comportamiento de la DBO en el tiempo. Esta constante es propia para para cada recurso hídrico o agua residual, muchos factores pueden influir en el valor de la k_1 , tales como la temperatura, la geometría del cuerpo de agua, la concentración de oxígeno disuelto, la cantidad y naturaleza de la materia orgánica presente [22].

2.1.11.4 Constante de reaireación

La constante de reaireación es la transferencia del oxígeno de la atmósfera al agua [22].

Y se la expresa mediante la siguiente ecuación:

$$V \frac{dC}{dt} = D_L A \frac{C_S - C}{x} \quad \text{Ec. (4)}$$

donde:

C= es la concentración de oxígeno disuelto

V= Volumen

A = Es el área de la superficie de contacto entre el agua y la atmósfera

D_L = Es el coeficiente de difusión molecular m^2/d

Reagrupando la ecuación, se llega a la siguiente expresión:

$$V \frac{dC}{dt} = K_L * A (C_S - C) \quad (4,1)$$

Donde K_L es la velocidad a la cual pasa el oxígeno de la atmósfera al agua

$$K_L = \frac{D_L}{x} \quad (4,2)$$

Introduciendo la constante K_a se tiene:

$$K_a = K_L/H \quad (4,3)$$

Donde H es la profundidad media.

Finalmente la ecuación de transferencia de oxígeno del aire al agua es:

$$\frac{dC}{dt} = K_a (C_S - C) \quad (4,4)$$

2.1.12 Modelo de Streeter-Phelps

2.1.12.1 Deducción matemática

El modelo de Streeter-Phelps une los dos principales mecanismos que regulan el oxígeno disuelto en una corriente que recibe las aguas residuales: Descomposición de la materia orgánica y la aireación de oxígeno. Como tal, proporciona un marco analítico para predecir el efecto de fuentes puntuales y no puntuales de aguas residuales orgánicas en la corriente y el estuario de oxígeno disuelto [23].

Los balances de masa de DBO y oxígeno disuelto se puede escribir como:

$$V \frac{dL}{dt} = -k_d VL \quad \text{Ec. (5)}$$

$$V \frac{dL}{dt} = -k_d VL + k_a V(o_s - o) \quad (5,1)$$

Luego se procede a hacer una transformación que simplifica el balance de oxígeno. Para ello se introduce una nueva variable.

$$D = o_s - o \quad (5,2)$$

Donde “D” es llamado el déficit de oxígeno disuelto. La ecuación anterior se puede diferenciar y quedaría:

$$\frac{dD}{dt} = -\frac{do}{dt} \quad (5,3)$$

La ecuación (5,3) y (5,2) puede ser sustituida en la ecuación (5,1) obteniendo:

$$\frac{dD}{dt} = k_d VL - k_a VD \quad (5,4)$$

Así el uso de déficit simplifica la ecuación diferencial.

Si $L = L_0$ Y $D = 0$ a $t = 0$. Entonces la ecuación 1 y 5 puede ser resuelta por

$$L = L_0 e^{-k_d t} \quad (5,5)$$

$$D = \frac{k_d L_0}{k_a - k_d} (e^{-k_d t} - e^{-k_a t}) \quad (5,6)$$

Esta es la manifestación más simple del modelo clásico Streeter-Phelps. Este balance de masa se puede escribir como:

$$0 = -U \frac{dL}{dx} - k_r L \quad (5,7)$$

$$0 = -U \frac{dL}{dx} + k_d L - k_a D \quad (5,8)$$

donde:

$$k_r = k_d + k_s \quad (5,9)$$

Si $L = L_0$ y $D = D_0$ para $t = 0$, entonces la ecuación queda de la siguiente manera:

$$L = L_0 e^{-\frac{k_r}{U}x} \quad (6)$$

$$D = D_0 e^{-\frac{k_r}{U}x} + \frac{k_d L_0}{k_a - k_r} \left(e^{-\frac{k_r}{U}x} - e^{-\frac{k_a}{U}x} \right) \quad (6,1)$$

2.1.12.2 Distancia y tiempo crítico

Punto en el cual la tasa de consumo de oxígeno se iguala a la tasa de reaeración atmosférica; la curva alcanza su mínimo (niveles mínimos de oxígeno) [24].

$$x_c = \frac{v}{k_a - k_r} \ln \left[\frac{k_a}{k_r} \left(1 - \frac{D_{0d}(k_a - k_r)}{k_d L_0} \right) \right] \quad \text{Ec. (7)}$$

$$x_c = v t_c \quad (7,1)$$

donde:

$v = \text{velocidad de flujo en el río}$

$$t_c = \frac{1}{k_a - k_r} \ln \left[\frac{k_a}{k_r} \left(1 - \frac{D_{0d}(k_a - k_r)}{k_d L_0} \right) \right] \quad (7,2)$$

donde:

$t_c = \text{tiempo para el cual se alcanza el déficit crítico}$

2.1.12.3 Déficit crítico

Déficit crítico es de gran interés debido al valor mínimo de concentración de oxígeno, la cual representa el impacto máximo en el OD como resultado de la descarga de aguas residuales [24].

En el déficit máximo la velocidad de cambio del déficit es igual a cero.

$$0 + k_2 D_c = k_1 L_0 e^{-k t_c} \quad \text{Ec. (8)}$$

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} L_0 e^{-k t_c} \quad (8, 1)$$

$$D = \left(\frac{k_d L_0}{k_a} \right) \left[\frac{k_a}{k_r} \left(1 - \frac{D_0 (k_a - k_r)}{k_d L_0} \right) \right]^{\frac{-k_r}{k_a - k_r}}$$

donde:

D_c = Déficit critico de OD, mg/l

2.1.12.4 Calibración del modelo

Explican que el proceso de calibración consiste en realizar múltiples corridas del modelo de calidad del agua hasta alcanzar el mejor ajuste posible de manera estadística y gráfica comparando los datos de campo con las respuestas del modelo [25].

2.1.13 Análisis de la sensibilidad

El análisis de sensibilidad consiste en la identificación de los parámetros de calibración que más afectan las respuestas del modelo, con el objetivo de dedicar los mayores esfuerzos (tiempo del modelador y tiempo computacional) en la calibración de dichos parámetros. Este análisis consiste en el cálculo del efecto relativo que cada parámetro de calibración del modelo tiene sobre el parámetro fisicoquímico simulado [14]

2.2 Marco Referencial

A continuación se describen algunas investigaciones que se han realizado a nivel internacional acerca de la calidad del agua superficial, incluyendo algunos trabajos realizados en Ecuador.

- En el 2010 se realizó una metodología parecida para la modelación de tres parámetros que caracterizan la calidad del agua: demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto y amonio en un tramo del río Lúyano localizado en Cuba, empleando el software RIOSep® v.2.0. Durante el trabajo combinaron técnicas de radiotrazadores para estimar los parámetros hidrodinámicos de la corriente del río con las técnicas de análisis fisicoquímico para determinar sus parámetros básicos. Posteriormente con la determinación de caudales se muestreó en cinco estaciones en el cauce principal y dos tributarios, para determinar los parámetros físico-químicos de interés. Como resultado obtuvieron un modelo que describe en más del 90% el comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno y del oxígeno disuelto y en más del 65% el comportamiento del amonio, por lo que caracteriza adecuadamente los procesos de autodepuración y el balance de oxígeno en las aguas del río (1)
- En el 2008 en la cuenca del río Sinú, localizada en el sector occidental de la costa atlántica colombiana, se aplicó un modelo similar, mediante la implementación de la ecuación ADE para la simulación aproximada del transporte de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno. En la definición de la componente hidrodinámica de la ecuación ADE se empleó el software del libre acceso HEC-RAS 3.1.1, y para la efectos de comparación de los resultados obtenidos, se empleó el modelo de calidad de aguas QUAL2K (2).
- En Bogotá, Colombia en el año 2015 se presenta un estudio de la aplicación de un modelo integrado de calidad del agua en el río Tunjuelo (QUAL2Kw), el cual fue implementado a partir de información secundaria recopilada de diferentes entidades locales y regionales. La implementación de este modelo tuvo como propósito evaluar el comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y el Oxígeno Disuelto (OD) en el río. Para la calibración del modelo se adoptó información de los puntos de medición de la Red de Calidad del Recurso

Hídrico de la SDA. Adicionalmente, se evaluó el comportamiento del río con relación a la descarga de los lixiviados del relleno sanitario Doña Juana a este cuerpo receptor con y sin tratamiento previo. Al final de este ejercicio se ha podido establecer que el programa de saneamiento propuesto para el río Tunjuelo, no garantiza el cumplimiento de los objetivos de calidad propuestos por la autoridad ambiental para este afluente del río Bogotá (3).

- En el 2011 en Sangolquí - Ecuador se realizó un estudio para evaluar el grado de contaminación por materia orgánica del Río San Pedro, en el tramo comprendido entre Amaguaña y Guangopolo. El río San Pedro al atravesar zonas altamente pobladas del Valle de los Chillos exhibe un notable deterioro en la calidad de sus aguas, por tal motivo se desarrolló un modelo matemático de contaminación de aguas, basado en las ecuaciones de Streeter-Phelps que permite evaluar y predecir el comportamiento del oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) a partir de los datos recopilados en campo. Los resultados demuestran que el modelo en base a balance de masas y criterios de cinética química aplicados al Río San Pedro, muestran que existe contaminación por materia orgánica la cual va en aumento a medida que se avanza en el tramo de estudio. El promedio de concentración de materia orgánica es de 5,81 mg/l(4).
- En Puyo en el año 2013 se realizó un estudio de la calidad del agua del Rio Puyo en el cual se determinaron parámetros físicos-químicos como pH, temperatura, Oxígeno disuelto (OD) y materia orgánica (DBO). En la cual se realizó una modelación de la variación de OD y DBO en 8 puntos de muestreo, también se determinó el caudal del río mediante la fórmula de Manning, se realizaron análisis físicos-químicos de muestras compuestas y se aplicó el modelo de Streeter y Phelps. Los resultados demostraron que los niveles de OD mantienen una tendencia uniforme por lo tanto está dentro de los niveles aceptables para uso recreativo y conservación de flora y fauna, sin que su concentración o saturación constituyan un factor crítico en las condiciones de calidad de agua (5).

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización

La cuenca del estero Macache, se ubica en la parte sur de la ciudad de Quevedo, cubriendo parte del recinto La Virginia 1 y La Virginia 2 (Anillo Vial de Quevedo).

3.1.1 Localización de los sitios de muestreo y tramos de modelización

En la siguiente tabla se detallan los puntos determinados en el momento de reconocimiento del área a estudiar tomando en cuenta sus características hidromorfológicas geométricas:

Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreos en el estero Macache

Punto de muestreo	Sector
PM 1	La virginia 1
PM 2	La virginia 1
PM 3	La virginia 1
PM 4	La virginia 2
PM 5	La virginia 2
PM 6	La virginia 2

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

Asimismo, la identificación y delimitación de los puntos de muestreos se presentan en la siguiente tabla:

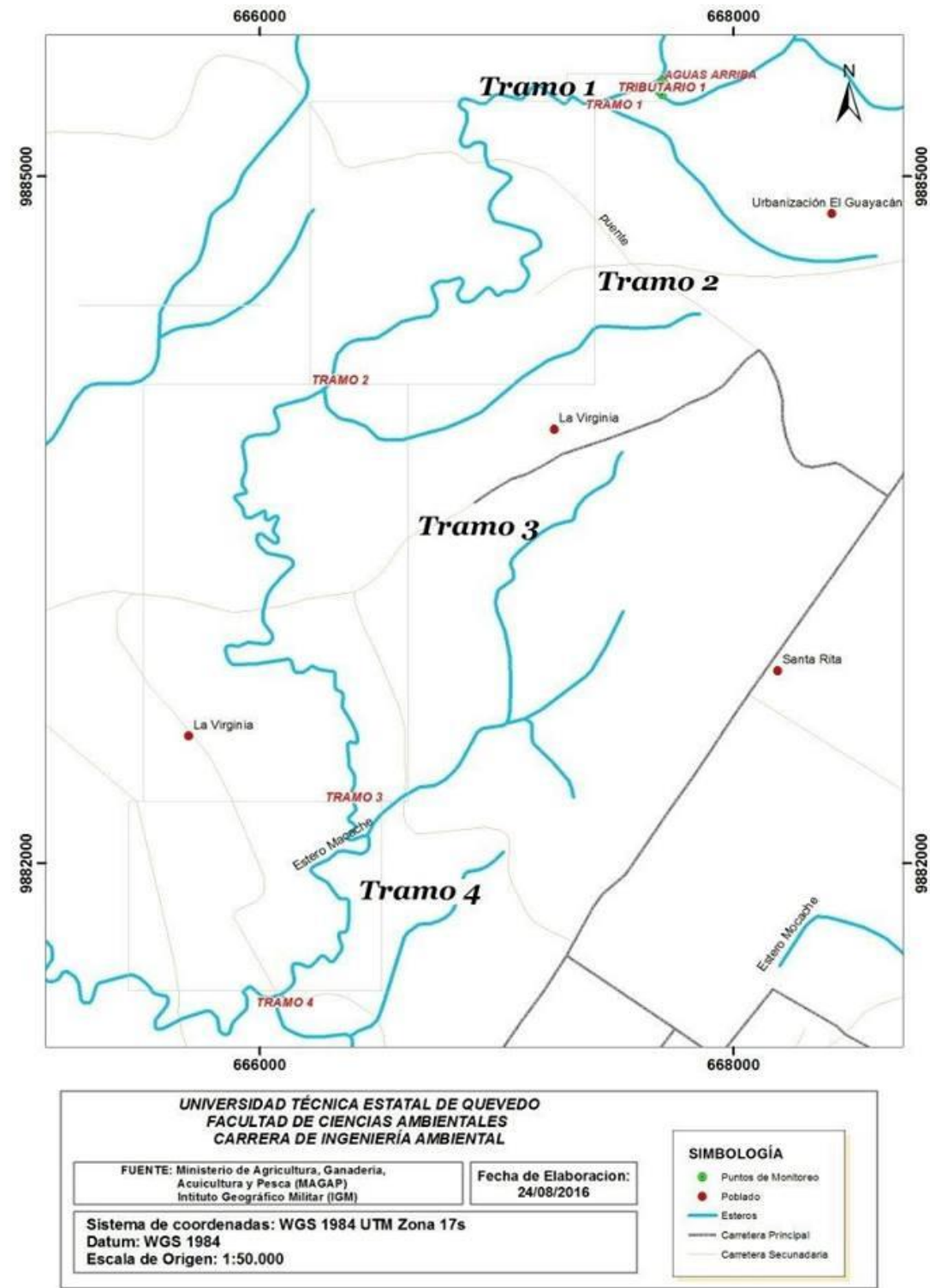
Tabla 2. Ubicación de los tramos en el estero Macache

Tramo	Sector	Características
1	La Virginia 1	Recibe el aporte del tributario principal del estero Aguas Claras y las descargas directas del agua servida proveniente de la ciudadela El Guayacán.
2	La Virginia 2	Se ubica antes del segundo tributario que se une al estero Macache.
3	La Virginia 2	En su inicio recibe el aporte del segundo tributario.
4	La Virginia 2	En su inicio recibe el aporte del tercer tributario siendo significativo para este tramo delimitado.

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

El mapa de la figura 1 muestra la ubicación de los puntos de muestreos y de los tramos de modelización:

Figura 1. Mapa de Localización del lugar de estudio



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

3.2 Tipo de investigación

Los tipos de investigación se definen a continuación:

3.2.1 De campo Exploratoria

Se aplicó este tipo de investigación acudiendo directamente al lugar afectado, observando los elementos y características a simple vista que demuestre la realidad de la calidad del agua del estero Macache, se identificaron variables que ayudaran a obtener la información requerida de una manera objetiva.

3.2.2 Descriptiva

En este tipo de investigación se realiza de manera detallada la descripción de los datos obtenidos dentro del proyecto de investigación la cual sirve para conocer la evolución de esta y a su vez calificar las causas y efectos; y especificar, en la descripción los factores existentes de contaminación para el cauce.

3.3 Métodos de investigación

3.3.1 Método de observación

Mediante este método se logró conocer de una manera directa el problema y el objeto de investigación que se llevó a cabo dentro del transcurso de la investigación.

3.3.2 Método deductivo

A través de los datos obtenidos en el proyecto de investigación, se determina el nivel de contaminación por el que pasa actualmente el estero Macache.

3.3.3 Método inductivo

A partir de la medición de los parámetros físicos-químicos de la calidad del agua del estero Macache se pudo verificar si el cauce está dentro o sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos en las normativas ambientales vigentes, y luego comparar con

los resultados obtenidos de la aplicación del modelo matemático elaborar las respectivas conclusiones.

3.4 Fuentes de recopilación de información

3.4.1 Fuentes primarias

La información fue recopilada directamente a través de sondeos y observación directa, y verificar de manera superficial el estado de lugar de investigación.

3.4.2 Fuentes secundarias

La información de esta investigación se la obtuvo a través de revistas, textos, y documentos.

3.5 Diseño de la investigación

Esta investigación es de diseño no- experimental ya que los organismos fueron observados en su estado natural, identificando las fuentes contaminantes del cauce a través de recorridos, también se identificaron las condiciones ambientales y las características hidromorfológicas, se seleccionó los puntos de muestreo a estudiar, se analizó también cuáles son las causas que han dado lugar a la actual calidad del agua del estero mediante análisis físicos químicos.

3.6 Tratamiento de los datos

3.6.1 Determinar las características hidromorfológicas y geométricas del estero Macache.

Inicialmente, se identificó y delimitaron los tramos a partir de las características hidrodinámicas y geométricas, como la profundidad y velocidad de la corriente existente en el cauce, así como la facilidad de acceso con el objeto de segmentar la corriente en cuatro tramos.

En esta fase de la investigación se realizó los respectivos aforos dentro del cauce en el mes de octubre, noviembre, diciembre representando estos la época seca, enero y febrero

la época lluviosa a través del método del flotador, el cual consiste primeramente en determinar el área de la sección transversal en el inicio y final de cada tramo para lo cual se usaron estacas, flexómetro, cinta y cuerda.

Posteriormente se procedió a medir la velocidad de la corriente, a través del tiempo tomado con un cronometro, se trasladó una pelota flotante en una longitud de la corriente que fue de entre cuatro y cinco metros, luego se dividió la distancia mencionada entre el tiempo que tomó el flotador en culminar el traslado.

La obtención del caudal en los cuatro tramos se lo realizó multiplicando el área de las secciones transversales al cauce por la velocidad de la corriente.

$$Q = A \times V \quad \text{Ec. (9)}$$

donde:

Q = caudal del cauce en m^3/s

A = area de la seccion transversal en m.

v = velocidad de la corriente en m/s

El área de la sección se obtendrá utilizando la siguiente integral definida:

$$\int_{x_0}^{x_f} f(z) dz \quad \text{Ec. (10)}$$

3.6.2 Medición de los parámetros fisicoquímicos requeridos para el modelo de calidad del agua.

En las fases de aforo, se tomaron las muestras de agua del estero, las descargas puntuales y tributarios. En la realización de los muestreos y los análisis se tomó como referencia las directrices establecidas en las normas NTE INEN 2169, 2176, y 2226, sobre manejo y conservación de muestras, técnicas de muestreo, y diseño de programas de muestreo, respectivamente. A partir de estos medir el nivel de oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, además se analizaron otros parámetros complementarios para estudiar las características de la calidad del agua: conductividad, pH, turbidez, temperatura, en los laboratorios de Agua y Suelo de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo en una cabina de incubación OxiTop® Box. La medición de oxígeno disuelto

se realizó con un medidor multiparamétrico portátil Hach HQ440d y la temperatura y pH se lo tomó in situ.

Los muestreos se realizaron una vez cada quince días por la mañana, recogiendo las muestras de la estación seca en los meses de octubre, noviembre y diciembre y en la época lluviosa en el mes de enero y febrero, con un total de 48 muestras. Para realizar los análisis de las muestras obtenidas en campo se utilizó el laboratorio de Aguas y suelos de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y tres veces se envió a analizar a un laboratorio certificado en Quito (PUCE) para una mejor confiabilidad en dichos análisis.

Para la realización de los muestreos, el punto de inicio fue la descarga de aguas residuales de la parroquia El Guayacán continuando en cada uno de los tramos identificados en el estero incluyendo los muestreos de tributarios que converjan con la corriente principal hasta llegar finalmente al anillo vial.

3.6.3 Modelizar la calidad de agua del estero Macache en términos de OD y DBO aplicando el modelo de Streeter y Phelps

La modelización matemática de la calidad del agua se realizó utilizando las ecuaciones del modelo de Streeter y Phelps, producto de lo cual se obtuvo perfiles tanto del oxígeno disuelto como de la demanda bioquímica del oxígeno, que describan el comportamiento de tales variables en cada uno de los tramos en que se delimitó el estero. Cabe señalar que para efectos de la modelización, se utilizarán los valores medios calculados para las variables hidrodinámicas y fisicoquímicas, en la estación lluviosa y seca.

$$D_x = D_o(e^{-k_a t}) + \frac{k_d L_o}{k_a - k_r}(e^{-k_a t} - e^{-k_r t}) \quad \text{Ec. (11)}$$

Así mismo, se efectuó la calibración del modelo de Streeter-Phelps, ajustando las constantes cinéticas de re aireación, desoxigenación y de remoción total de la DBO, k_a , k_d , y k_r , respectivamente.

La metodología GLUE se la utiliza para la calibración de los modelos de calidad del agua, y su aplicación básicamente consiste en seleccionar rangos de variación de los parámetros, y luego, mediante simulaciones de Monte Carlo, generar combinaciones de

valores de los parámetros, de modo que una gráfica de probabilidad se pueda utilizar para identificar las combinaciones óptimas, incluyendo la sensibilidad paramétrica.

Finalmente se determinó el error estadístico entre los valores medidos en el campo y aquellos medidos por el modelo de Streeter y Phelps mediante el coeficiente de determinación R^2 y la raíz cuadrada del error cuadrado medio (RSME).

$$1. RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y})^2} \quad 2. R^2 = \left(\frac{\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y})(\hat{y}_j - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^N (\hat{y}_j - \bar{y})^2}} \right)^2 \quad 3. NSE = 1,0 - \frac{\sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2}{\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y})^2}$$

3.6.4 Simulación del OD Y DBO a través de QUAL2K.

Finalmente, se usó el software de modelización de la calidad del agua superficial QUAL2K, versión 2.11b8, de la USEPA para modelizar nuevamente el OD y la DBO en los cuatro tramos del estero Macache.

Se utilizará los valores de las condiciones hidrodinámicas y geométricas, de las características fisicoquímicas y de las constantes cinéticas calibradas que se utilizaran en el modelo de Streeter-Phelps, obteniendo al final perfiles de OD y DBO.

3.7 Recursos humanos y materiales

Tabla 3. Materiales a utilizar

Campo	Oficina	Laboratorio
- Gps - Botella de vidrios - Equipos de protección personal - Celular - Flotador - Cronómetro - Botas - Cinta Adhesiva - Flexómetro	- Hojas - Libreta de apuntes. - Equipos de computo - Esferos	- Medidor de Oxígeno Disuelto - Incubadora de DBO - Termómetro - Conductímetro - Agua destilada - agitadores

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de la investigación

4.1.1 Características hidromorfológicas y geométricas del estero Macache

La delimitación del área de estudio se dio en cuatro tramos para la medición de las características hidromorfológicas y geométricas comprendiendo la velocidad media de la corriente, caudal, profundidad, área de la sección transversal y el ancho del cauce.

4.1.1.1 Caudal

La tabla 4 muestra los valores de caudal obtenidos en los estudios previos de las fechas seleccionadas en la estación seca y la época lluviosa medidos en la fase de aforos.

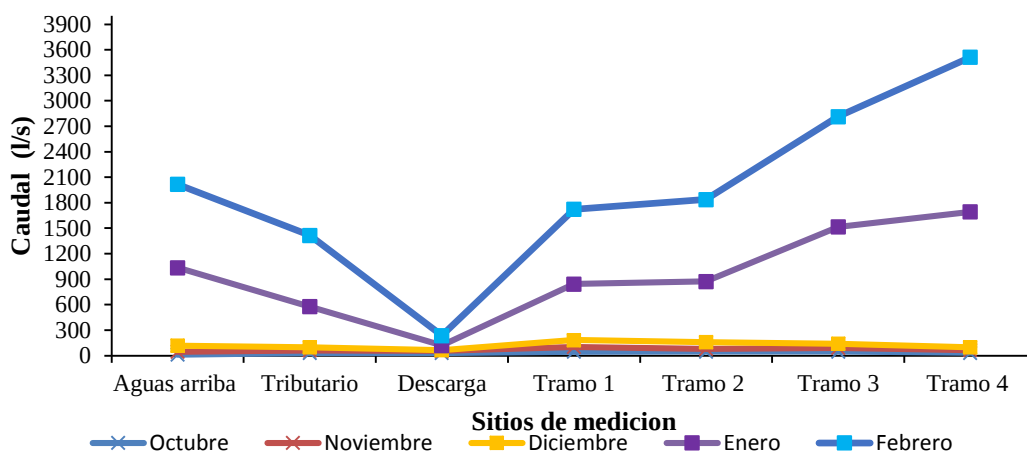
Tabla 4. Caudal en l/s representativos de la estación seca y lluviosa

Fechas de muestreo	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Aguas arriba	Descarga en cabecera	Tributario principal
22/10/2016	45,66	48,46	48,35	33,65	13,48	32,18	31,40
05/11/2016	54,09	51,14	45,52	31,46	22,84	31,25	34,60
18/11/2016	58,41	14,62	43,00	29,54	44,48	13,93	45,95
04/12/2016	81,07	77,85	48,46	33,71	71,10	9,98	38,12
10/01/2017	403,60	446,32	849,92	306,48	931,08	42,72	360,89
21/01/2017	917,95	983,15	1901,10	2884,25	845,38	65,20	597,42
04/02/2017	746,97	764,47	423,22	301,94	973,38	81,40	818,41
25/02/2017	1010,97	1163,68	2174,65	3338,33	991,84	152,70	858,27

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En los promedios de los caudales se presentó un leve incremento dentro de la época seca en la cuarta fecha de los aforos donde el tramo uno presenta un caudal de 81,07 l/s, en el tramo dos un caudal del 77,85 l/s, y aguas arriba un valor del 71,10 l/s. Los mayores valores de caudal se registraron en la época lluviosa (enero y febrero), con un incremento de caudal aguas arriba de 931,08 l/s y tramo tres con 849,92 l/s, donde se obtuvo como fecha representativa el 25 de febrero del presente año donde se dio un incremento del caudal significativo desde la cabecera hasta la desembocadura del estero debido a las altas precipitaciones existentes.

Gráfico 1. Variación del caudal en el estero Macache



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En el grafico 1 se muestra la variación del caudal a lo largo de los tramos establecidos por meses. Se destaca los meses de máxima precipitación (enero y febrero) donde se eleva evidentemente el nivel del caudal en el tramo cuatro como el de mayor elevación con un caudal de 1595 l/s y 1820 l/s, por otro lado el mes de diciembre tendió a duplicarse tanto en aguas arriba, tramo uno y tramo dos con valores de 71 l/s, 81 l/s y 78 l/s en el orden antes mencionado.

4.1.1.2 Velocidad de la corriente

Posteriormente en la tabla 5 se presentan los valores promedios de la velocidad de la corriente:

Tabla 5. Velocidad de la corriente en m/s

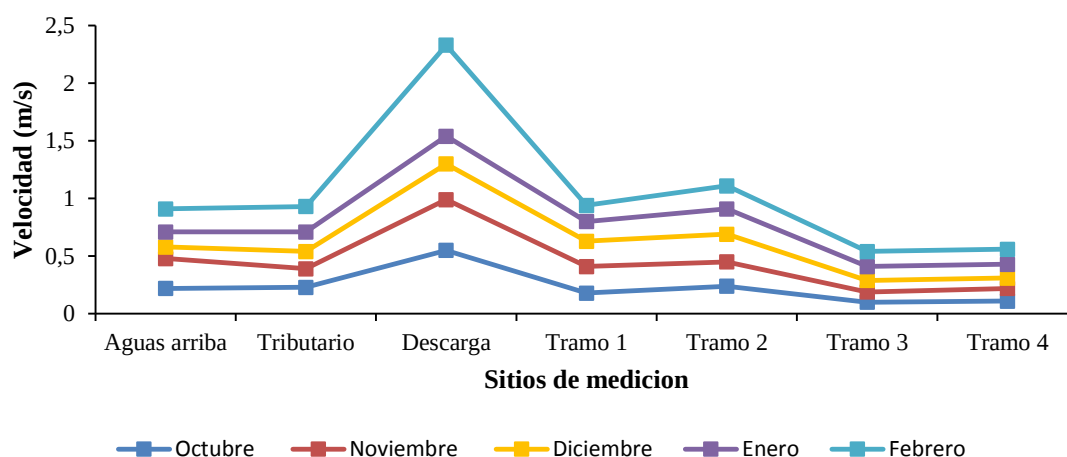
Fechas de muestreo	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Aguas arriba	Descarga en cabecera	Tributario principal
22/10/2016	0,18	0,24	0,10	0,11	0,22	0,55	0,23
05/11/2016	0,23	0,18	0,07	0,11	0,26	0,38	0,17
18/11/2016	0,22	0,24	0,10	0,11	0,26	0,50	0,15
04/12/2016	0,22	0,24	0,10	0,11	0,10	0,31	0,15
10/01/2017	0,22	0,24	0,10	0,13	0,13	0,31	0,13
21/01/2017	0,12	0,20	0,13	0,13	0,13	0,17	0,21
04/02/2017	0,17	0,20	0,13	0,13	0,22	1,00	0,23
25/02/2017	0,10	0,20	0,13	0,13	0,17	0,58	0,20

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

Como puede observarse, el promedio de las velocidades del cauce mantuvo una variación en el punto de descarga dentro las fechas de estudio tanto en la época seca como la época lluviosa obteniendo velocidades desde 0,17 m/s hasta 1 m/s, así como en el tramo uno y tramo dos se observa una periodicidad en todas las fechas en un rango variable de 0,12 m/s a 0,24 m/s, y en el tramo tres y cuatro un rango de 0,07 m/s a 0,13 m/s.

Comparando las velocidades obtenidos por mes en el gráfico 2 se observa que en el mes de octubre (época seca) se obtuvo una velocidad mayor de 0,55 m/s en el punto de descarga proveniente del sector Guayacán, a su vez en el mismo punto de muestreo para el mes de febrero también se obtuvo una velocidad alta de 0,79 m/s, por consiguiente en los tramos uno, dos, tres y cuatro se dieron velocidades promedio entre 0,09 m/s a 0,24 m/s.

Gráfico 2. Velocidad de la corriente en el estero Macache



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

4.1.1.3 Profundidad del cauce

La profundidad se determinó como el valor promedio en el centro de la corriente en las secciones transversales representativas que se calcularon durante los aforos, para cada uno de los tramos. Como se puede observar en la tabla 6 aguas arriba presentan valores mayores de profundidad de 75 cm para el 22 de octubre del 2016 representando la época seca y 131 cm en el 10 de enero del 2017 correspondiente a la época lluviosa, seguido por el tramo tres y tramo cuatro que presentan en la época seca similitud en las primeras cuatro fechas de aforo con valores de 37 cm y 20 cm elevándose significativamente en la

época lluviosa con valores superiores a los 90 cm. El tramo uno no presenta elevaciones significativas en las fechas de estudios a diferencia del tributario principal que en semanas de precipitaciones altas se elevaron hasta profundidades 106 cm.

Tabla 6. Profundidad del cauce del estero Macache, en m

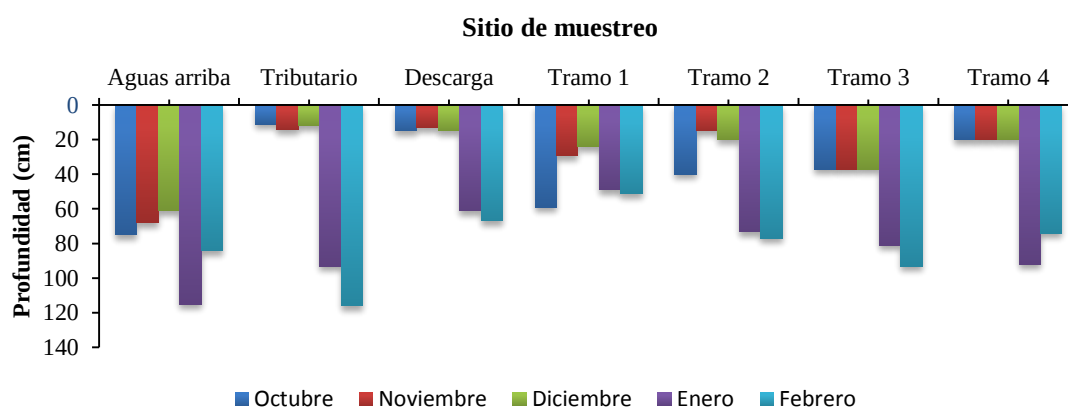
Fechas de muestreos	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Aguas arriba	Descarga en cabecera	Tributario principal
22/10/2016	0,59	0,40	0,37	0,20	0,75	0,15	0,11
05/11/2016	0,30	0,16	0,37	0,20	0,70	0,13	0,11
18/11/2016	0,28	0,14	0,37	0,20	0,65	0,12	0,17
04/12/2016	0,24	0,20	0,37	0,20	0,61	0,15	0,12
10/01/2017	0,31	0,66	0,66	0,98	1,31	0,68	0,96
21/01/2017	0,66	0,79	0,95	0,85	0,99	0,53	0,89
04/02/2017	0,46	0,76	0,92	0,77	0,78	0,59	1,06
25/02/2017	0,56	0,78	0,94	0,71	0,89	0,75	1,26

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

Como puede observarse en el grafico 3 correspondiente a las profundidades por mes de los puntos de muestreo en la época seca, el tributario principal y el punto de descarga presentaron profundidades inferiores a 15 cm, en aguas arriba se notaron profundidades altas en todo el tiempo de investigación con valores desde 75 cm en el mes de octubre hasta 84 cm en el mes de febrero. Mientras en el tramo uno, dos, tres y cuatro presentaron variaciones desde 20 cm hasta 93 cm de profundidad tanto en la época seca como lluviosa.

Gráfico 3. Variación de la profundidad en el estero Macache



Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

4.1.2 Medición del OD y la DBO

En la modelización de la calidad del agua se tomó como base el monitoreo de las variables de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno en los puntos de muestreo determinados en cada tramo. Adicionalmente se midió el comportamiento de diversos parámetros como temperatura del agua, turbidez, pH, y conductividad eléctrica con el fin de establecer una evaluación más amplia de las características de la calidad del agua.

4.1.2.1 Oxígeno disuelto

En la tabla 7 se muestra los promedios semanales de oxígeno disuelto en el período de monitoreo de cada uno de los tramos establecidos del estero Macache:

Tabla 7. Oxígeno disuelto en el estero Macache

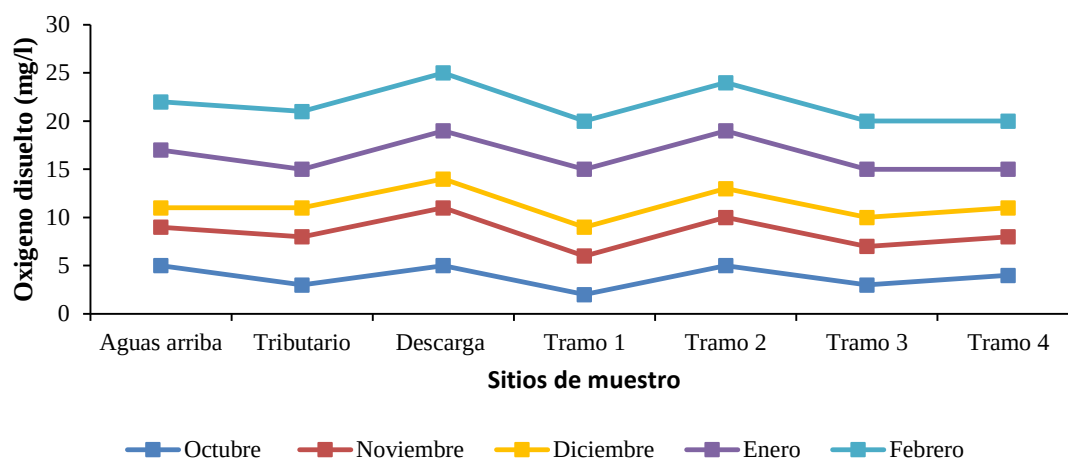
Fechas de muestreo	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Aguas arriba	Descarga en cabecera	Tributario principal
22/10/2016	1,86	4,76	3,21	4,12	4,94	4,95	2,85
05/11/2016	4,70	7,95	4,50	3,66	3,75	8,87	2,98
18/11/2016	4,10	2,70	2,71	3,29	3,50	3,00	2,80
04/12/2016	3,22	3,47	3,22	4,13	2,09	2,65	3,20
10/01/2017	5,92	5,16	4,57	4,42	5,17	5,66	2,91
21/01/2017	5,72	5,94	5,60	5,67	6,16	4,89	4,90
04/02/2017	5,43	4,35	4,70	5,68	4,84	6,25	6,33
25/02/2017	5,55	5,30	6,00	4,58	5,76	5,60	4,81

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

Las concentraciones del oxígeno disuelto más altas se dieron en la época lluviosa presentando un nivel de 6,33 mg/l para el tributario principal al 04 de febrero del presente año y un valor de 6,16 mg/l aguas arriba manteniéndose dentro de ese rango en las siguientes fechas, precipitaciones altas.

Mientras en el grafico 4 se observa que en la época seca se obtuvieron concentraciones con similitud desde 5 mg/l hasta valores inferiores a 2 mg/l.

Gráfico 4. Variación del oxígeno disuelto en el estero Macache



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

4.1.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno

En la tabla 8 se muestran los promedios de DBO en el período de monitoreo del estero Macache en los puntos de muestreo localizados en cada uno de los tramos:

Tabla 8. Demanda bioquímica de oxígeno

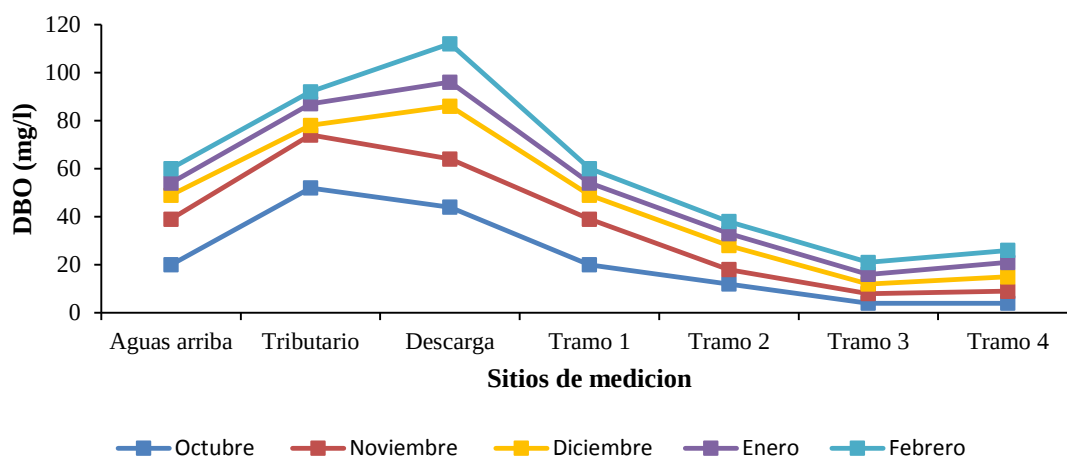
Fechas de muestreo	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Aguas arriba	Descarga en cabecera	Tributario principal
22/10/2016	20	12	4	4	12	44	52
05/11/2016	32	7	4	5	8	16	40
18/11/2016	5	5	4	4	6	23	4
04/12/2016	10	10	4	6	6	22	32
10/01/2017	6	5	5	5	8	10	12
21/01/2017	4	4	3	6	4	10	6
04/02/2017	6	5	4	4	6	21	6
25/02/2017	5	4	5	5	2	6	3

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En la tabla 8 se observa el nivel máximo de DBO tuvo lugar en el punto de descarga proveniente de la parroquia Guayacán en la primera semana de muestreo con un valor de 44 mg/l de DBO siendo este punto de muestreo el que logró obtener valores altos en todas las fechas siguientes, en el tributario principal se dio el caso de niveles altos en las dos primeras semanas de muestreo con valores de 52 mg/ y 40 mg/ bajando a 4 mg/l en la

tercera semana, elevándose nuevamente en las dos semanas siguientes y bajando nuevamente en las últimas semanas debido a las altas precipitaciones donde la dilución fue muy notable. En la estación lluviosa, la DBO mostró valores por debajo de los 10 mg/l de DBO en todos los puntos de muestreos, con excepción del 04 de febrero que tuvo un valor alto de 21 mg/l en la descarga principal.

Gráfico 5. Variación de la DBO en el estero Macache



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En el gráfico 5 se observa la variación de la DBO en donde el mes de octubre muestra el mayor incremento de DBO bajando levemente en los siguientes meses de muestreos, cabe detallar que el tramo tres en los cinco meses de estudios (época seca y lluviosa) tuvo niveles bajo de 4 y 5 mg/l de DBO.

4.1.2.3 pH

A continuación se presenta la tabla 9 de los valores de potencial de hidrogeno que fueron tomados en cada uno de los tramos durante la fase de campo:

Tabla 9. Valores de pH en el estero Macache

Fechas de muestreo	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Aguas arriba	Descarga en cabecera	Tributario principal
22/10/2016	-	-	-	-	-	-	-
05/11/2016	-	-	-	-	-	-	-
18/11/2016	7,0	7,0	7,0	7,0	6,5	7,5	6,0
04/12/2016	7,2	7,2	7,2	7,0	6,9	7,6	6,5
10/01/2017	6,5	6,5	6,5	7,0	7,0	7,0	6,0

21/01/2017	6,5	6,5	6,5	6,5	6,0	6,0	8,1
04/02/2017	7,0	6,5	7,0	6,5	6,5	6,5	6,0
25/02/2017	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,91

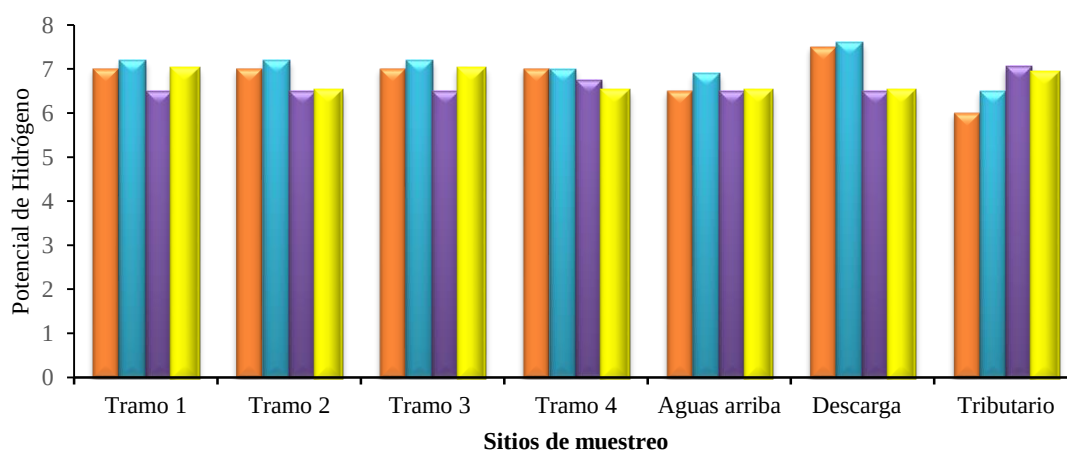
Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

Los valores promedios mensuales de potencial de hidrógeno tomados en el tiempo de monitoreo revelan que existe un pH ligeramente ácido en los meses de enero y febrero con un valor de 6,5 mientras que en el mes de noviembre y diciembre los valores son muy cercanos a la alcalinidad.

El gráfico 6 muestra la variación mensual de los valores pH determinados en cada uno de los puntos de muestreo.

Gráfico 6. Variación del pH en el estero Macache



Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

4.1.2.4 Conductividad eléctrica

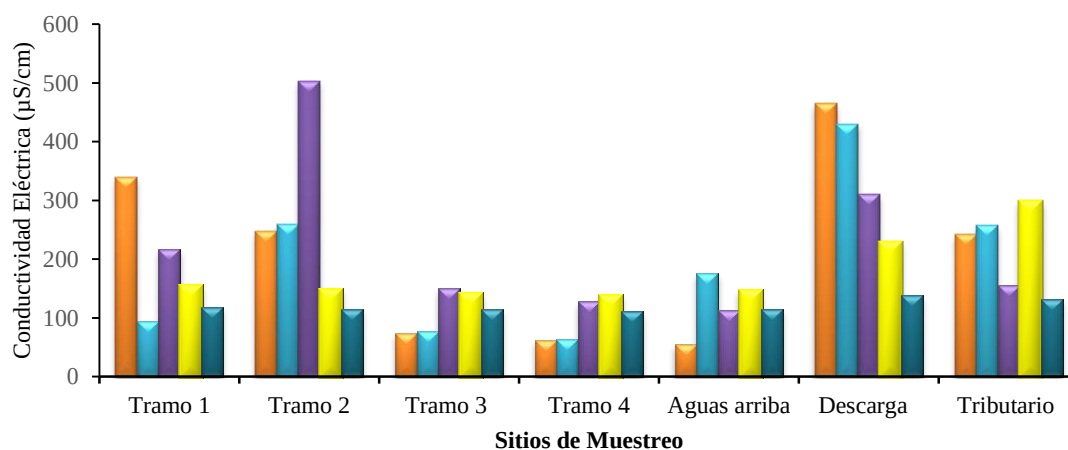
A continuación se detalla la media de los valores de conductividad eléctrica en la tabla 10 y en el gráfico 7:

Tabla 10. Valores de conductividad del estero Macache

Fechas de muestreo	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Aguas arriba	Descarga en cabecera	Tributario principal
22/10/2016	340,2	247,7	74,1	62,7	55,1	465,5	241,6
05/11/2016	96,5	267,4	79,9	67,7	180,4	434,7	264,4
18/11/2016	92,5	250	75,0	60,0	172,0	425,6	250,5
04/12/2016	217,3	503,4	150,6	127,9	112,7	309,8	155,2
10/01/2017	170,3	167,3	153,2	152,1	162,8	252,7	298,7
21/01/2017	139,0	130,0	130,0	124,0	130,0	202,0	296,2
04/02/2017	173,9	171,9	165,8	161,7	177,4	193,1	177,4
25/02/2017	63,8	58,4	62,5	61,0	52,3	85,0	85,0

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

El grafico 7 muestra la variación de la conductividad eléctrica en cada uno de los tramos con un valor elevado de 503,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el tramo dos correspondiente al mes de diciembre, a excepción del mes de febrero correspondiente a la estación lluviosa que presenta un valor menor de conductividad en el tramo cuatro de 111,35 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Gráfico 7. Variación de la conductividad eléctrica en el estero Macache

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

4.1.2.5 Turbidez

En la tabla 11 se presenta los valores de la turbidez obtenidos en las semanas de estudios:

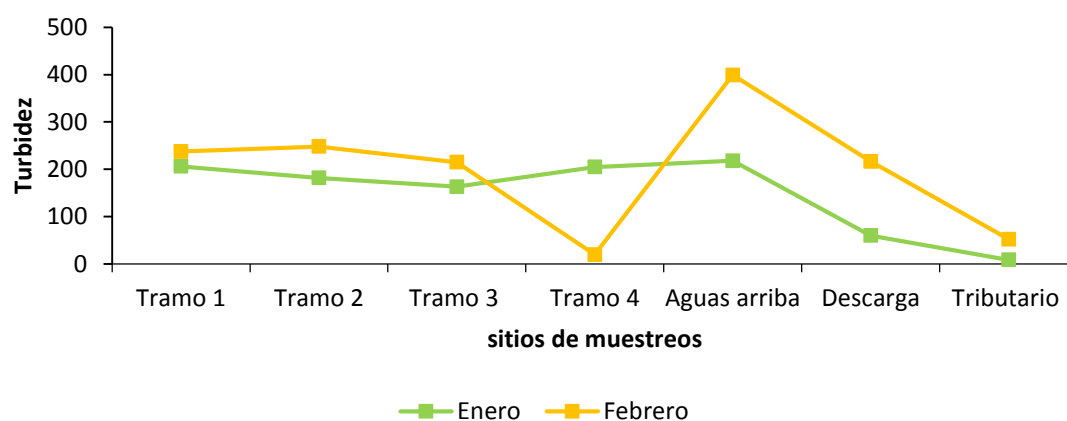
Tabla 11. Valores de turbidez del estero Macache

Fechas de muestreo	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Aguas arriba	Descarga en cabecera	Tributario principal
22/10/2016	-	-	-	-	-	-	-
05/11/2016	-	-	-	-	-	-	-
18/11/2016	-	-	-	-	-	-	-
04/12/2016	-	-	-	-	-	-	-
10/01/2017	397,80	347,50	312,20	396,30	419,3	114,80	5,30
21/01/2017	14,39	15,51	13,91	13,08	16,67	4,90	11,00
04/02/2017	15,1	14,9	20,6	18,3	419,3	12,9	31,80
25/02/2017	460,00	481,00	408,80	20,41	379,10	420,00	72,04

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

A continuación, se muestran los valores conseguidos a través del análisis de la turbidez a lo largo del estero Macache y se puede observar que en los meses de la época seca aún no se consideraba este parámetro complementario, sin embargo se visualiza que en el mes de febrero se alcanzan los resultados más altos llegando hasta los 481NTU, valor el cual corresponde al tramo 2.

Gráfico 8. Variación de la turbidez en el estero Macache

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

4.1.3 Modelización de la calidad del agua con Streeter-Phelps

4.1.3.1 Constantes cinéticas

4.1.3.1.1 Constante de desoxigenación

La constante de desoxigenación fue calculada mediante la fórmula propuesta por Hydrosience (1971), la cual según Chapra (2008) es útil cuando se trata de corrientes someras donde las bacterias del fondo participan activamente en la degradación de la materia orgánica presente en el agua. La tabla 12 presenta los valores calculados de la constante de desoxigenación a la temperatura del agua medida en el campo, por tramo y período de monitoreo, fueron utilizadas en el ajuste inicial del modelo de Streeter-Phelps.

Tabla 12. Valores calculados de la constante de desoxigenación

Fecha de muestreo	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
22/10/2016	0,55	0,65	0,68	0,88
05/11/2016	0,74	0,97	0,68	0,88
18/11/2016	0,76	1,03	0,68	0,88
04/12/2016	0,81	0,88	0,68	0,88
10/01/2017	0,73	0,53	0,53	0,44
21/01/2017	0,53	0,49	0,45	0,47
04/02/2017	0,61	0,49	0,45	0,49
25/02/2017	0,56	0,49	0,45	0,51

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

Para la modelización de la calidad del agua del estero Macache se realizó el cálculo de la constante de reaireación k_a , los valores obtenidos se detallan en la tabla 13:

Tabla 13. Valores calculados de la constante de reaireación

Fecha de muestreo	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
22/10/2016	1,86	4,16	1,92	4,80
05/11/2016	5,85	10,57	1,35	4,80
18/11/2016	6,14	16,83	1,92	4,80
04/12/2016	7,53	10,39	1,92	3,93
10/01/2017	5,36	2,14	0,89	0,47
21/01/2017	1,06	1,40	0,71	0,80
04/02/2017	2,48	1,48	0,75	0,94
25/02/2017	1,11	1,43	0,72	1,03

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

Para la modelización de la calidad del agua del estero Macache se realizó el cálculo de la constante de remoción que tiene relación con la DBO kr, los valores obtenidos se detallan en la tabla 14:

Tabla 14. Valores calculados de la constante de remoción

Fechas de muestreo	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
22/10/2016	0,55	0,65	0,68	0,88
05/11/2016	0,74	0,97	0,68	0,88
18/11/2016	0,76	1,03	0,68	0,88
04/12/2016	0,81	0,88	0,68	0,88
10/01/2017	0,73	0,53	0,53	0,44
21/01/2017	0,53	0,49	0,45	0,47
04/02/2017	0,61	0,49	0,45	0,49
25/02/2017	0,56	0,49	0,45	0,51

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

4.1.3.2 Calibración de constantes ka, kd y kr

Para calibrar las constantes cinéticas se utilizó el software Statgraphic, se trató de emplear el método GLUE mencionado en la metodología de la investigación en el capítulo III, se empleó 10000 simulaciones de Montecarlo la cual ayudo a la disminución del error relativo para las concentraciones existentes de la DBO y OD, se finalizó con la obtención de valores calibrados de todas las constantes cinéticas. A continuación se presenta en la tabla general el resultado de los valores calibrados para cada constante (ka, kd, kr).

Tabla 15. Resultados de la calibración paramétrica con el método GLUE de las contantes cinéticas kd, ka y kr

Fecha	Tramo	Contantes cinéticas			RSS OD	RSS DBO
		ka	kd	kr		
22-Oct-16	1	0,16	2,53	5,03	1,82E+00	9,87E+01
	2	23,06	4,13	18,00	6,65E+02	9,19E-01
	3	0,56	0,78	2,13	3,77E-01	1,84E-04
	4	1,24	0,15	0,30	3,38E-05	4,82E-02
05-Nov-16	1	2,31	3,03	3,30	1,55E-02	5,07E-02
	2	17,46	0,19	17,03	2,24E-03	1,59E-02
	3	0,25	1,24	1,25	1,77E-01	6,55E-01
	4	1,71	0,61	0,83	3,47E+00	5,03E+00
18-Nov-16	1	9,76	0,11	1,78	1,87E-02	1,21E-02
	2	0,75	3,92	6,92	2,74E-05	7,45E-03
	3	0,22	0,25	0,70	3,49E-03	1,23E-01
	4	0,35	0,13	0,52	1,06E-01	3,63E-01
04-Dic-16	1	16,22	1,50	40,69	3,33E-03	2,00E-01
	2	6,79	2,49	2,77	8,74E-05	9,10E-04

	3	1,35	1,11	1,99	7,59E-05	1,22E-01
	4	0,41	0,90	1,07	7,92E-01	1,88E+00
10-Ene-17	1	24,46	0,05	37,82	3,60E-01	3,50E-02
	2	3,35	2,16	3,95	7,01E-04	3,48E-07
	3	0,21	0,78	0,95	9,46E-04	8,24E-01
	4	0,97	0,03	0,16	7,46E-01	2,40E-01
21-Ene-17	1	6,72	2,28	9,21	1,37E-03	3,82E-03
	2	2,73	0,85	1,00	8,29E-04	1,92E-04
	3	0,84	0,92	1,06	1,55E-03	1,91E-02
	4	6,72	2,28	9,21	1,37E-03	3,82E-03
04-Feb-17	1	0,99	0,73	0,81	4,14E-03	4,14E-03
	2	0,33	3,96	4,26	9,93E-02	7,55E-03
	3	1,04	0,13	0,52	6,81E-02	1,66E-02
	4	3,09	0,27	0,51	3,93E-03	1,06E-02
25-Feb-17	1	9,82	1,61	48,86	1,38E-04	2,67E-05
	2	2,77	2,04	9,18	7,40E-04	3,67E-05
	3	1,49	0,41	0,59	1,85E-02	2,53E-01
	4	0,04	2,01	2,13	2,49E-01	5,05E+00

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

4.1.3.3 Comportamiento del OD y DBO del 22 de octubre 2016

En la tabla 16 se detalla de manera específica los datos obtenidos en la modelización del OD YDBO en la fecha del 22 de octubre 2016:

Tabla 16. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales

	Q (m³/l)	T (°C)	OD (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
Corriente aguas arriba	0,013	23,90	4,94	12
Tributario principal	0,031	24	3,29	52
Descarga principal	0,032	25,1	4,95	44

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

Para la aplicación del modelo matemático Streeter-Phelps se estableció las condiciones iniciales de cada tramo promediando el valor del caudal inicial tanto el de aguas arriba, el tributario principal y el punto de descarga, a su vez se obtuvo las concentraciones del OD y DBO observadas de cada tramo.

En la tabla 17 se presenta los valores obtenidos de las condiciones iniciales en los cuatro tramos:

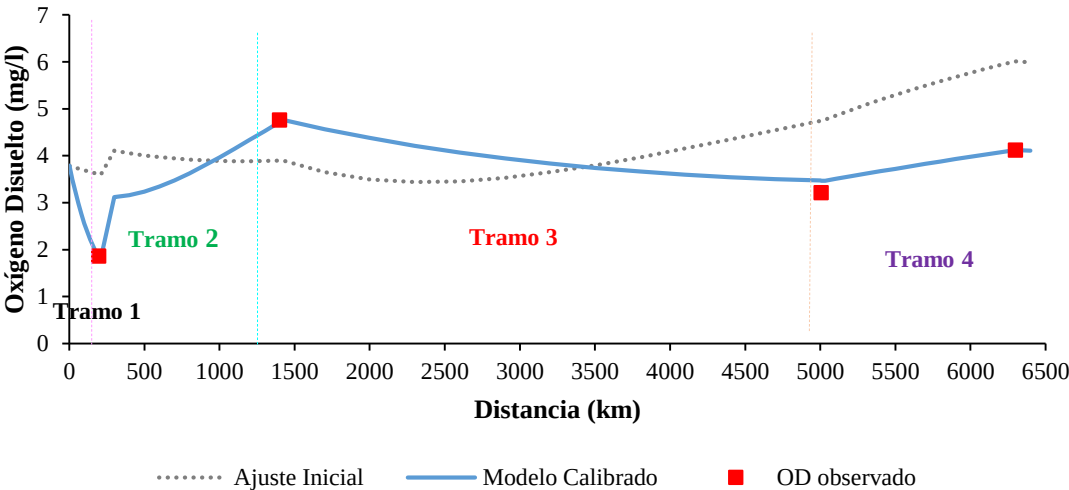
Tabla 17. Condiciones iniciales de cada tramo de 22 de octubre

Tramo	L_0 (mg/l)	T_0	OD_0 (mg/l)	OD_{SAT} (mg/l)	D_0 (mg/l)
1	39,99	23,97	3,79	8,42	4,64
2	30,70	24,44	3,13	8,35	5,22
3	10,69	24,72	4,76	8,31	3,55
4	4,39	24,72	3,47	8,31	4,84

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

Con la aplicación del modelo de Streeter-Phelps se obtuvo el perfil del oxígeno disuelto en la fecha mencionada anteriormente, presentado a continuación:

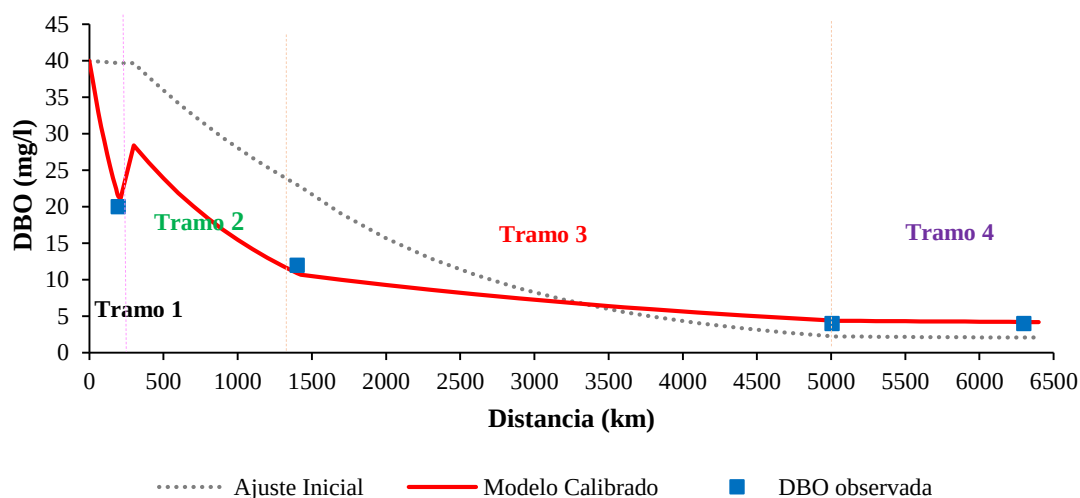
Gráfico 9. Perfil del OD del mes de Octubre (primera semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

El perfil del oxígeno disuelto muestra un valor inicial de 1,86 mg/l en el tramo uno debido a que en el tributario principal existe una elevada carga de materia orgánica por lo cual se requiere de una mayor demanda de oxígeno disuelto. La concentración se incrementa a 4,76 mg/L en el tramo dos, mientras que el tramo tres el valor decrece a 3,21 mg/L hasta elevarse a 4,12 mg/L al final del segmento.

Gráfico 10. Perfil de la DBO del mes de Octubre (primera semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En el gráfico 10 la concentración máxima se dio en el tramo uno con un valor de 20 mg/l de DBO, a partir del tramo dos la concentración de 12 mg/l debido a la distancia existente entre la descarga proveniente del Guayacán hasta el punto de muestreo del tramo dos que da lugar a la dilución de los contaminantes provenientes de la descarga, mientras que en el tramo tres y cuatro se obtiene una DBO similar de 4 mg/l.

La tabla 18 muestra el error relativo en cada punto de muestreo, la determinación de este estimo un ajuste no muy óptimo debido que en casi todos los puntos del porcentaje de ajuste están cercanos al 10 %.

Tabla 18. Error relativo del OD y DBO

	PM1	PM2	PM3	PM4
OD	1,33	0,99	8,12	0,10
DBO	6,82	8,94	10,40	5,52

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

4.1.3.4 Comportamiento del OD y DBO del 05 de noviembre del 2016

En la tabla 19 se detalla los datos obtenidos en la modelización del OD y DBO en la fecha del 05 de noviembre 2016:

Tabla 19. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales

	Q (m ³ /l)	T °C	OD (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
Corriente aguas arriba	0,013	22,6	3,75	8
Tributario principal	0,035	22,7	6,28	40
Descarga principal	0,031	22,2	8,87	16

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

En la tabla 19 se observa la similitud del caudal en corriente aguas arriba y la poca variación que se obtuvo entre el tributario principal y la descarga con los caudales de la fecha anterior, por consiguiente en la tabla 20 se presenta los valores obtenidos de las condiciones iniciales en los cuatro tramos:

Tabla 20. Condiciones iniciales de cada tramo

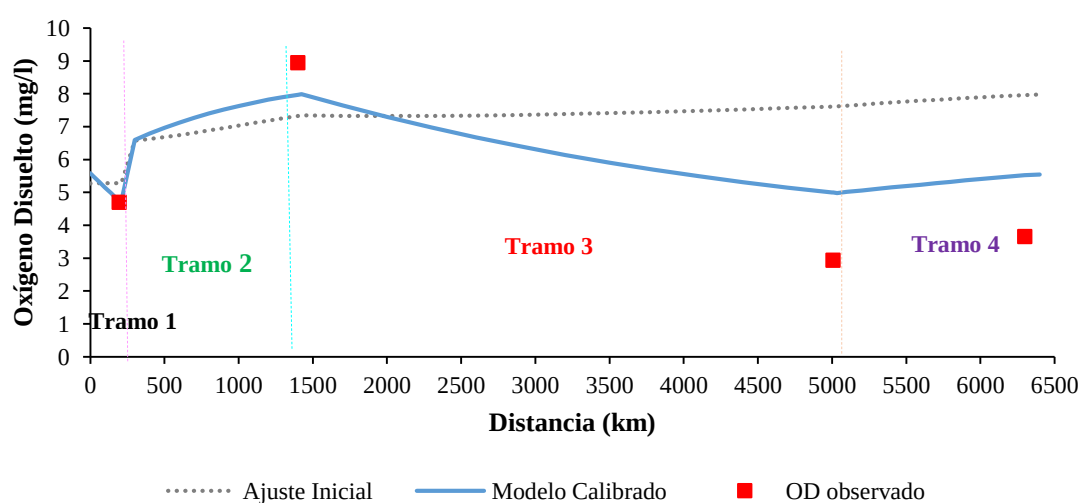
Tramo	L _o (mg/l)	T _o	OD _o (mg/l)	OD _{SAT} (mg/l)	Do (mg/l)
1	31,14	22,67	5,58	8,63	3,05
2	24,59	22,49	6,40	8,66	2,26
3	6,50	22,37	7,99	8,68	0,69
4	3,08	22,37	4,98	8,68	3,70

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

Con la aplicación del modelo de Streeter-Phelps se obtuvo el perfil del oxígeno disuelto en la fecha mencionada anteriormente, presentado a continuación:

Gráfico 11. Perfil del OD del mes de Noviembre (Primera semana)

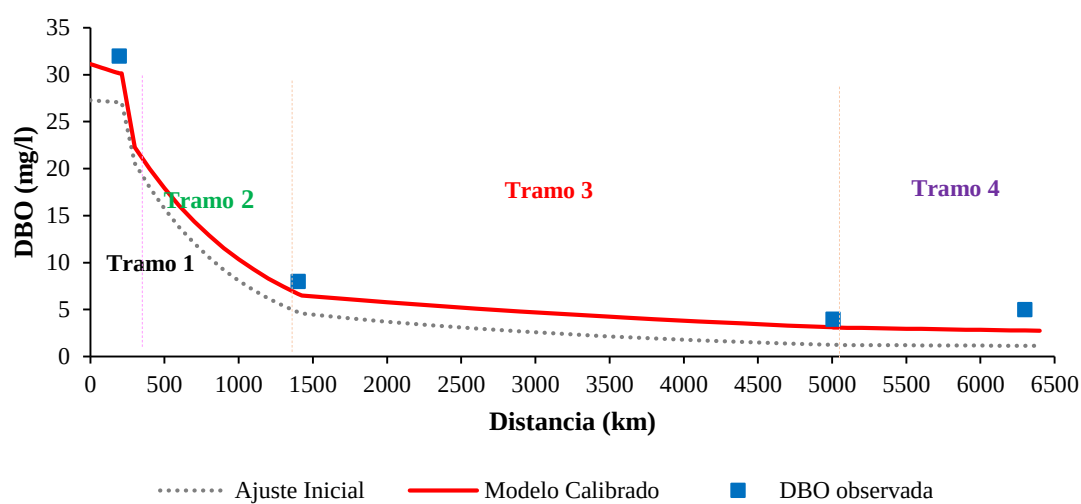


Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

En el perfil de oxígeno disuelto en el tramo uno se observa un valor de 4,70 mg/l, mientras que en el tramo dos sube el doble del tramo uno, con un OD de 8,95 mg/l y en el tramo bajo a 2,94 mg/l y al final del segmento un valor de 3,66 mg/l.

Gráfico 12. Perfil de DBO del mes de Noviembre (Primera semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En el gráfico 12 la concentración máxima se dio en el tramo uno con un valor de 32 mg/l de DBO, a partir del tramo dos la concentración bajó a un nivel de 8 mg/l, bajando el doble en el tramo tres y cuatro existiendo poca materia orgánica en ellos

La tabla 21 muestra el error relativo en cada punto de muestreo, la determinación de éste resulto un ajuste poco óptimo debido a que en los dos primeros tramos el porcentaje de ajuste está por debajo del 10 %, mientras que en el tramo tres y cuatro presentó un error mayor al 10 % en un rango de 10,97 % hasta 44, 82 %.

Tabla 21. Error relativo del OD y DBO

	PM1	PM2	PM3	PM4
OD	0,977	0,26	10,97	29,32
DBO	5,79	4,60	22,52	44,82

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

4.1.3.5 Comportamiento del OD y DBO del 18 de noviembre del 2016

En la tabla 22 se detalla los datos obtenidos en la modelización del OD y DBO en la fecha del 18 de noviembre 2016:

Tabla 22. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales

	Q (m ³ /s)	T °C	OD (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
Corriente aguas arriba	0,044	22,6	3,50	6
Tributario principal	0,046	25,3	3,50	4
Descarga principal	0,014	25,1	3,00	23

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

En la tabla 22 se observa el bajo caudal que obtuvo el punto de descarga con 0,014 m³/s y a su vez una DBO alta de 23 mg/l, a diferencia del tributario y corrientes aguas arriba que presentan valores de caudal y DBO similares en esta fecha.

Tabla 23. Condiciones iniciales de cada tramo

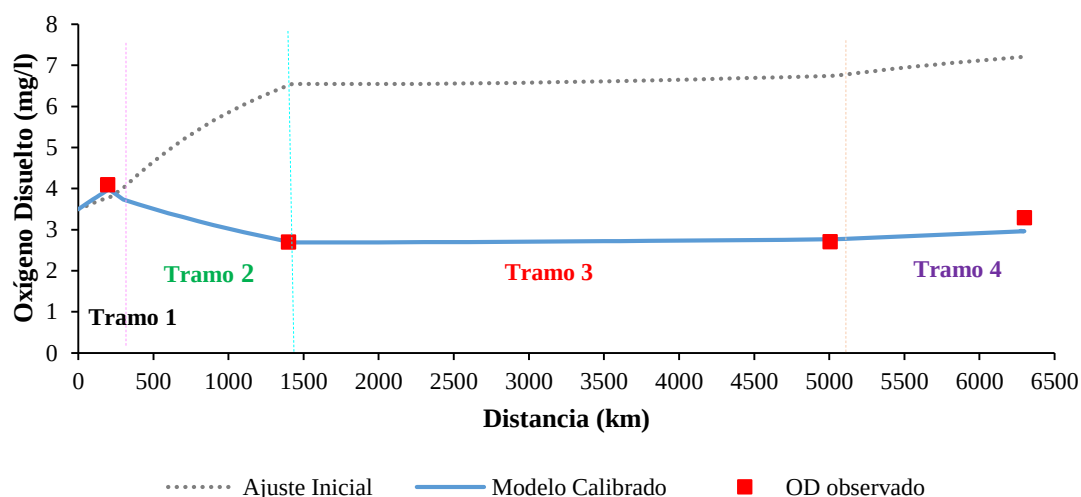
Tramo	L _O (mg/l)	T _O	OD _O (mg/l)	OD _{SAT} (mg/l)	Do (mg/l)
1	4,98	23,97	3,50	8,42	4,92
2	7,31	24,12	3,84	8,40	4,56
3	4,87	24,25	2,69	8,38	5,69
4	3,64	24,25	2,77	8,38	5,61

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

Con la aplicación del modelo de Streeter-Phelps se obtuvo el perfil del oxígeno disuelto en la fecha mencionada anteriormente, presentado a continuación:

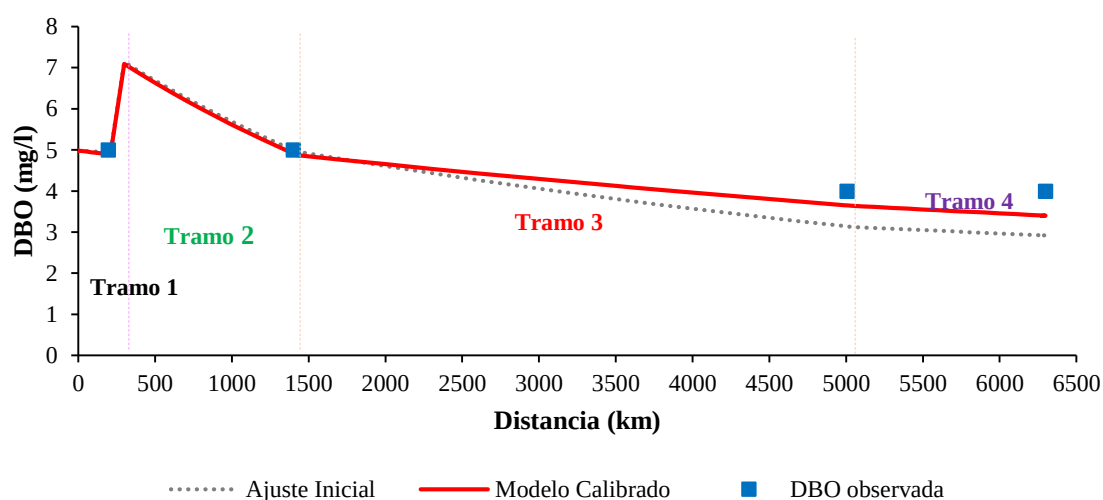
Gráfico 13. Perfil del OD del mes de Noviembre (segunda semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En el siguiente gráfico del comportamiento del oxígeno disuelto presentó un valor alto de oxígeno para el tramo uno, al igual que en las fechas anteriores, seguido por el tramo tres con un valor de 3,39 mg/l lo cual demuestra la mala calidad del agua e incapacidad de mantener diferentes formas de vidas.

Gráfico 14. Perfil de la DBO del mes de Noviembre (Segunda semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborador por: Autoras

En el gráfico 14 por tercera ocasión se repite el nivel de DBO como el más alto en el tramo uno representado por 5 mg/l, mientras que en el tramo uno, dos y tres se

mantuvieron valores inferiores al tramo uno representando esta fecha los niveles más bajo de DBO en la época seca.

La tabla 24 muestra el error relativo en cada punto de muestreo, obteniendo en el tramo cuatro un error sobrepasado el 10% justificando este error como consecuencia del aporte del tributario que se encuentra unos metros antes de ese punto de muestro, no obstante los tramos uno, dos, y tres presentan un ajuste medio debido al error que se encuentra entre 0,22% y 9,95%.

Tabla 24. Error relativo del OD y DBO

	PM1	PM2	PM3	PM4
OD	3,33	0,22	2,10	9,95
DBO	2,13	1,74	8,74	14,99

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

4.1.3.6 Comportamiento del OD y DBO del 04 de diciembre del 2016

En la tabla 25 se detalla los datos obtenidos en la modelización del OD y DBO:

Tabla 25. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales

	Q (m ³ /s)	T (°C)	OD (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
Corriente aguas arriba	0,071	25,7	2,09	6
Tributario principal	0,038	25,2	3,20	32
Descarga principal	0,001	26,4	2,65	22

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

A continuación en la tabla 25 se observa la elevación tanto en aguas arriba con un valor de 0,071 m³/s como para el tributario principal con 0,038 m³/s, a su vez en la descarga principal presentó un caudal bajo pero un OD y una DBO₅ superior al de aguas arriba.

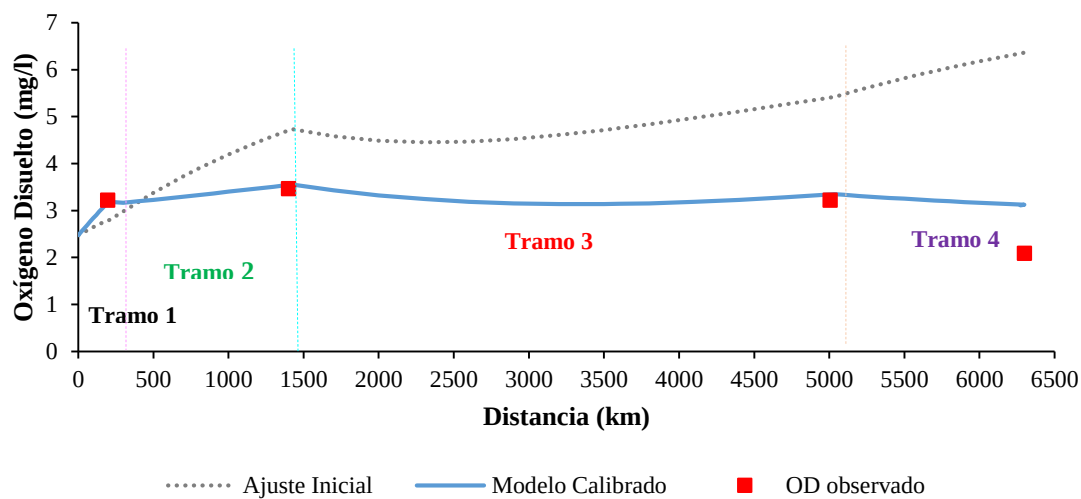
Tabla 26. Condiciones iniciales de cada tramo

Tramo	Lo (mg/l)	To	OD ₀ (mg/l)	OD _{SAT} (mg/l)	Do (mg/l)
1	15,66	25,53	2,48	8,18	5,71
2	11,23	25,60	3,14	8,17	5,04
3	9,53	25,67	3,55	8,16	4,61
4	4,15	25,67	3,35	8,16	4,82

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

Con la aplicación del modelo de Streeter-Phelps se obtuvo el perfil del oxígeno disuelto en la fecha mencionada anteriormente, presentado a continuación:

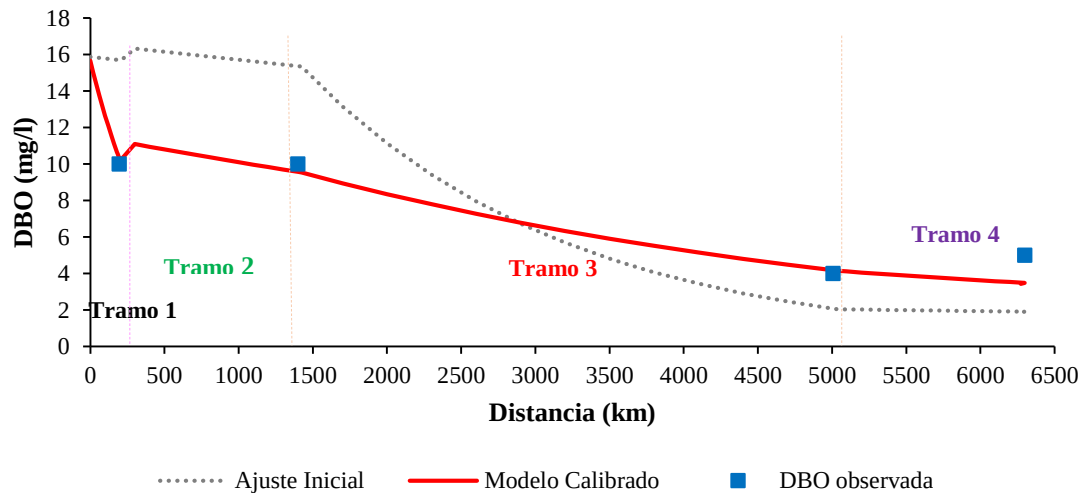
Gráfico 15. Perfil del OD del mes de Diciembre (Primera semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En el siguiente gráfico se puede observar valores de OD similares en los tres primeros con unos valores de 3,22 mg/l, 3,47 mg/l, seguido de 3,22 mg/l tramos y en el tramo cuatro una disminución mínima está llegando a 2,09 mg/l.

Gráfico 16. Perfil de la DBO del mes de diciembre (Primera semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En el gráfico 16 en los dos primeros tramos se obtuvo una DBO con similitud bajando el doble en el tramo tres y cuatro con valores de 5 mg/l de DBO, debido a la dilución de los contaminantes que se da por la correntía del cauce hasta llegar el final del segmento de este tramo.

La tabla 27 presenta el error relativo obtenido al 4 de diciembre del 2016 donde en el punto de muestreo uno se presenta el error más bajo con un 1,50% para el OD y el más alto con 4,38 % en el punto de muestreo tres para la DBO, en el tramo cuatro se dio el caso nuevamente tanto en la DBO como el OD que sobrepasa el límite de error establecido.

Tabla 27. Error relativo del OD y DBO

	PM1	PM2	PM3	PM4
OD	1,50	2,18	3,75	49,31
DBO	3,12	4,34	4,38	30,30

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

4.1.3.7 Comportamiento del OD y DBO del 10 de enero 2017

En la tabla 28 se detalla los datos obtenidos en la modelización del OD y DBO en la fecha del 10 de enero del 2017:

Tabla 28. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales

	Q (m ³ /s)	T (°C)	OD (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
Corriente aguas arriba	0,93	25,5	5,17	8
Tributario principal	0,36	28,3	2,91	12
Descarga principal	0,04	25,8	5,66	10

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

A continuación en la tabla 28 se observa el nivel alto del caudal tanto en corriente aguas arriba como en el tributario principal, no obstante se obtuvieron valores altos de DBO solo en el tributario principal y el punto de descarga principal con valores de 12 y 10 mg/l en el orden descrito.

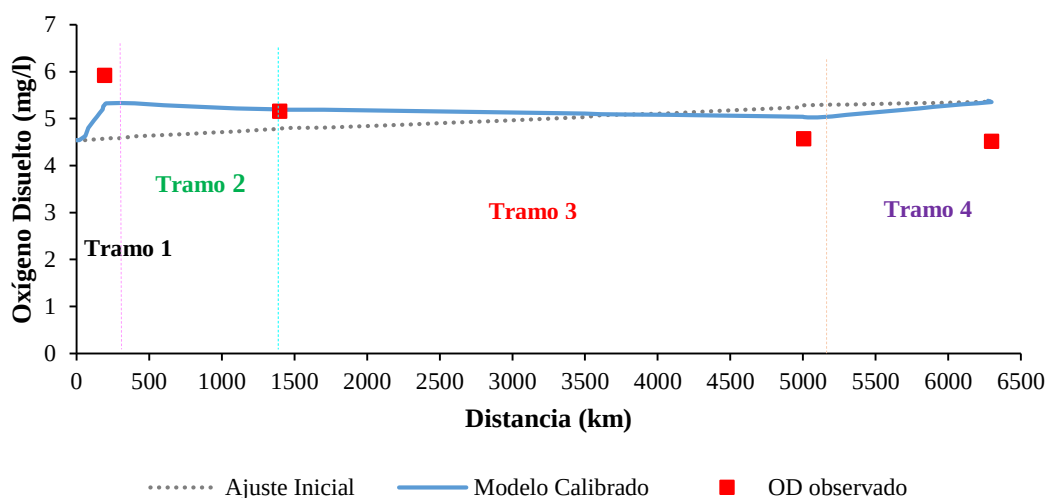
Tabla 29. Condiciones iniciales de cada tramo

Tramo	L_o (mg/l)	T_o	OD_o (mg/l)	OD_{SAT} (mg/l)	D_o (mg/l)
1	9,12	26,28	4,54	8,07	3,53
2	6,27	26,27	5,34	8,07	2,73
3	4,98	26,25	5,19	8,08	2,89
4	4,61	26,25	5,03	8,08	3,05

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

Con la aplicación del modelo de Streeter-Phelps se obtuvo el perfil del oxígeno disuelto:

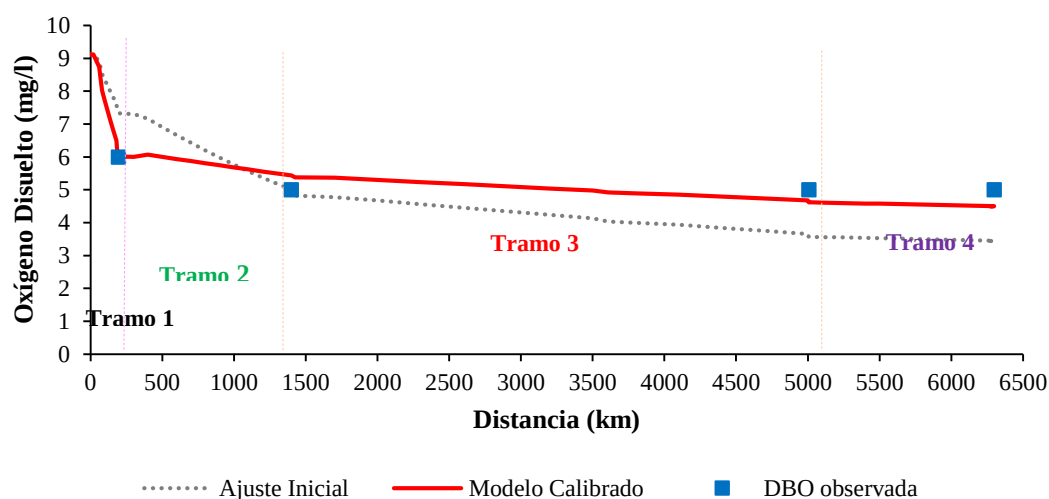
Gráfico 17. Perfil del OD del mes de enero (Primera semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En el gráfico 18 se observa niveles de DBO similares en cada uno de los tramos medidos se observa el mismo comportamiento de este parámetro para cada punto de muestreo en la fecha antes mencionada.

Gráfico 18. Perfil de la DBO del mes de enero (Primera semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

La tabla 25 presenta el error relativo al 10 de enero del presente año teniendo un ajuste estable para el OD y la DBO donde en el punto de muestreo dos presentó un error de 0,53% y 0,01 % en el orden mencionado y el más alto error se dio en el tramo cuatro sobrepasando el 10% límite.

Tabla 30. Error relativo del OD y DBO

	PM1	PM2	PM3	PM4
OD	10	0,53	10	19,05
DBO	3,09	0,01	7,67	9,72

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

4.1.3.8 Comportamiento del OD y DBO del 21 de enero del 2017.

En la tabla 31 se detalla los datos obtenidos en la modelización del OD y DBO en la fecha del 21 de enero 2017:

Tabla 31. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales

	Q (m ³ /s)	T (°C)	OD (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
Corriente aguas arriba	0,85	25,50	6,16	4
Tributario principal	0,60	26,40	4,90	6

Descarga principal	0,07	26,60	4,89	10
---------------------------	------	-------	------	----

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En la tabla 32 se observa un caudal bajo en aguas arriba a diferencia de aguas arriba y el tributario principal, a su vez la descarga principal es la que presenta una DBO5 mayor que las otras con un valor de 10 mg/l.

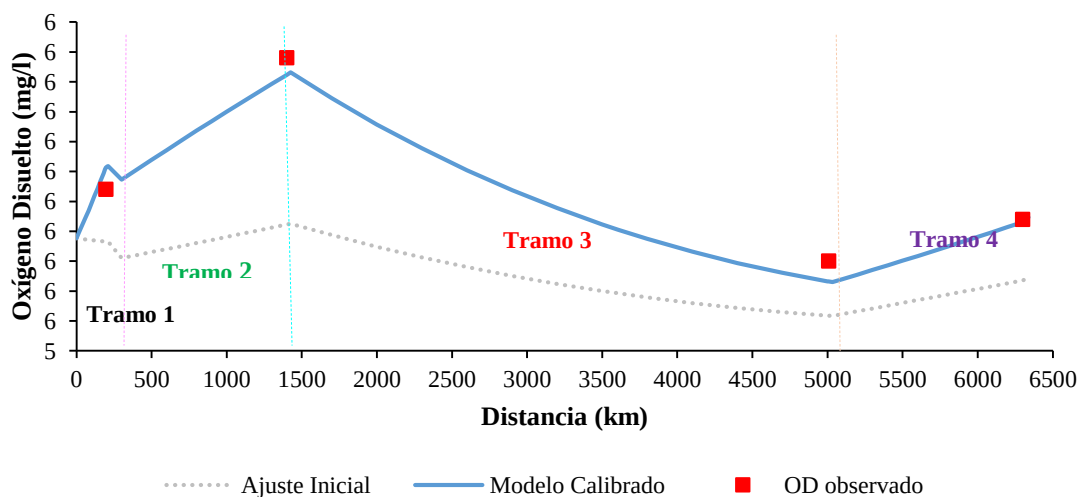
Tabla 32. Condiciones iniciales de cada tramo

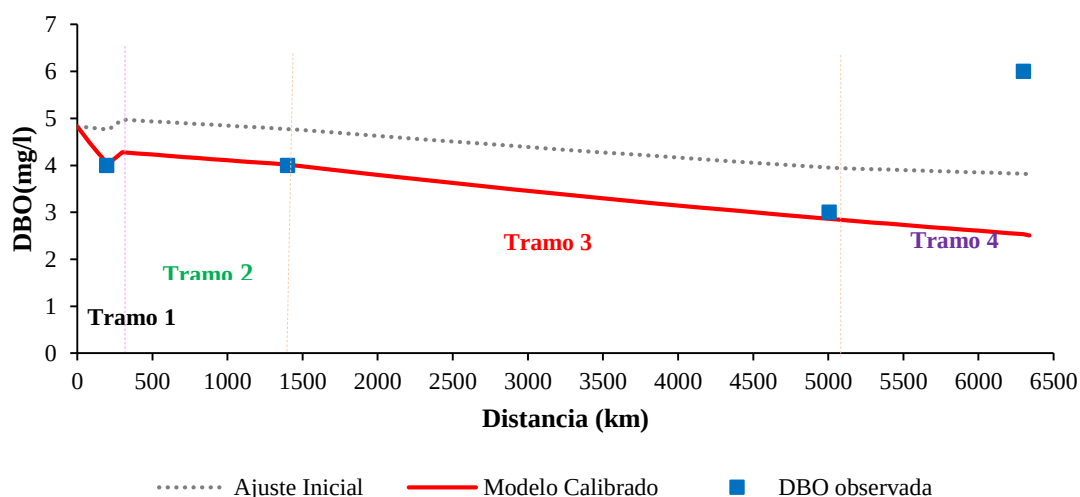
Tramo	L _o (mg/l)	T _o	OD _o (mg/l)	OD _{SAT} (mg/l)	Do (mg/l)
1	4,83	25,87	5,64	8,13	2,49
2	4,30	25,90	5,72	8,13	2,41
3	4,01	25,93	5,92	8,12	2,21
4	2,85	25,93	5,56	8,12	2,56

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

Con la aplicación del modelo de Streeter-Phelps se obtuvo el perfil del oxígeno disuelto en la fecha mencionada anteriormente, presentado a continuación:

Gráfico 19. Perfil del OD del mes de enero (Segunda semana)





Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En el gráfico 20 se observa la poca diferencia existente en el comportamiento de la DBO ya que los valores obtenidos en los cuatro puntos de muestreos oscilan entre 3 a 6 mg/ en esta fecha de muestreo.

Tabla 33. Error relativo del OD y DBO

	PM1	PM2	PM3	PM4
OD	0,65	0,47	0,61	0,09
DBO	1,36	0,37	4,63	52,43

Fuente: Datos de la investigación
Elaborador por: Autoras

La tabla 33 presenta el error relativo obtenido al 21 de enero del 2017 representando la época lluviosa donde el oxígeno disuelto presenta un buen ajuste al obtener valores por debajo del 1%, a diferencia de la DBO que presenta valores en el ajuste de hasta 4,53% en el punto de muestreo tres cabe destacar el error significativo que se obtuvo en la DBO del punto de muestreo cuatro.

4.1.3.9 Comportamiento del OD y DBO del 04 de febrero del 2017

En la tabla 34 se detalla los datos obtenidos en la modelización del OD y DBO en la fecha del 04 de febrero 2017:

Tabla 34. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales.

	Q (m ³ /s)	T (°C)	OD (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
Corriente aguas arriba	0,97	27,30	4,84	6
Tributario principal	0,82	26,80	6,33	6
Descarga principal	0,08	27,60	6,25	21

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

A continuación se observa en la tabla 35 el caudal de aguas arriba y el tributario principal con valores de 0,97 m³/s y 0,82 m³/s en el orden mencionado así como un OD alto en el caso del tributario principal y el punto de descarga.

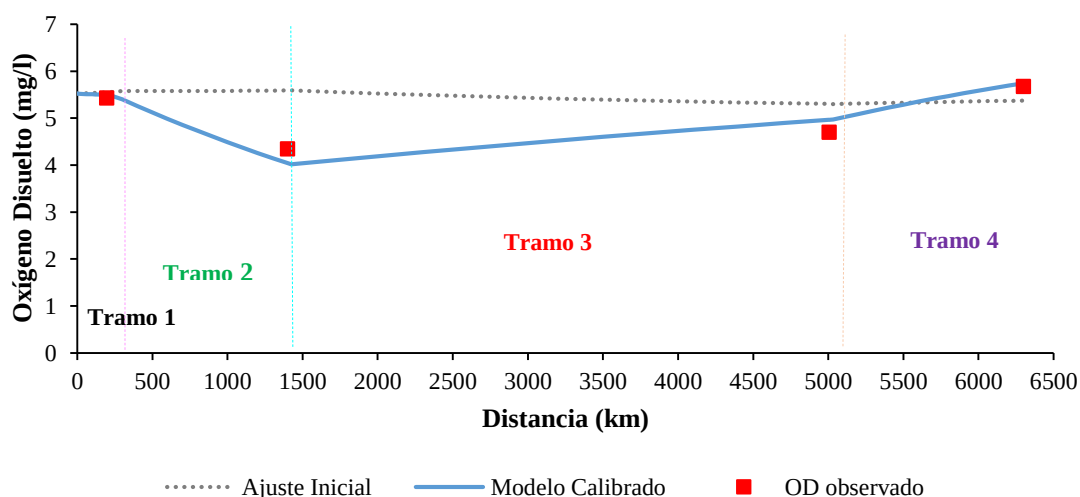
Tabla 35. Condiciones iniciales de cada tramo

Tramo	L _O (mg/l)	T _O	OD _O (mg/l)	OD _{SAT} (mg/l)	Do (mg/l)
1	6	27,07	5,52	7,96	2,44
2	6,59	27,09	5,53	7,95	2,43
3	4,88	27,12	4,02	7,95	3,94
4	4,13	27,12	4,97	7,95	2,98

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

Con la aplicación del modelo de Streeter-Phelps se obtuvo el perfil del oxígeno disuelto en la fecha mencionada anteriormente, presentado a continuación:

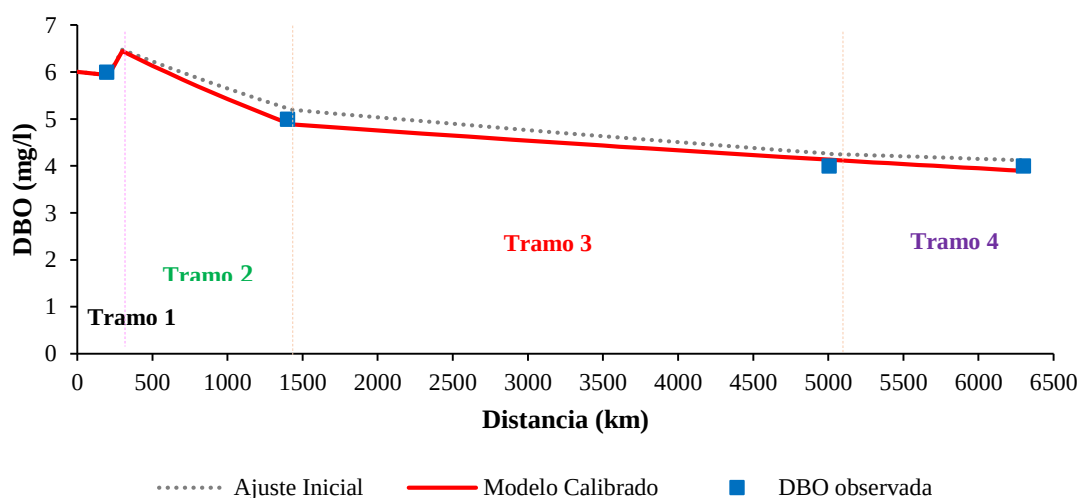
Gráfico 21. Perfil del OD del mes de febrero (Primera semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

El gráfico 21 el comportamiento del OD se ve la similitud que hay entre el tramo uno y el tramo cuatro al obtener valores pasados de 5 mg/l, mientras que el tramo dos y tramo tres presentan una similitud pasado 4 mg/l correspondientemente.

Gráfico 22. Perfil de la DBO del mes de febrero (Primera semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En el gráfico 22 se observa la similitud existente en los valores de DBO de 5 mg/l, 4 mg/l, 4 mg/l en el 4 de febrero del presente año con el 18 de noviembre que se obtuvieron los mismo valores para el tramo dos, tres y cuatro, cabe destacar que estas fechas son tanto de la época lluviosa y la época seca.

Tabla 36. Error relativo del OD y DBO

	PM1	PM2	PM3	PM4
OD	1,20	7,07	5,66	1,14
DBO	1,06	1,74	3,28	2,66

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

La tabla 36 presenta el error relativo estable ya que no sobrepasa el 10 % de error límite tanto para el oxígeno disuelto como la DBO obteniendo valores pasados del 1% pero representa un ajuste estable.

4.1.3.10 Comportamiento del OD y DBO del 25 de febrero del 2017

En la tabla 37 se detalla los datos obtenidos en la modelización del OD y DBO en la fecha del 25 de febrero 2017:

Tabla 37. Características de la cabecera, tributario y fuentes puntuales

	Q (m ³ /s)	T °C	OD (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)
Corriente aguas arriba	0,99	25,40	5,76	6
Tributario principal	0,86	25,80	4,81	32
Descarga principal	0,15	26,60	5,60	22

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

A continuación se observa en la tabla 37 el caudal de aguas arriba y el tributario principal con valores de 0,99 m³/s y 0,86 m³/s en el orden mencionado teniendo en cuenta que estos valores llegan a tener similitud con la fecha de muestreo anterior, así como un OD alto en el caso del tributario principal y el punto de descarga con 32 mg/l y 22 mg/l.

Tabla 38. Condiciones iniciales de cada tramo

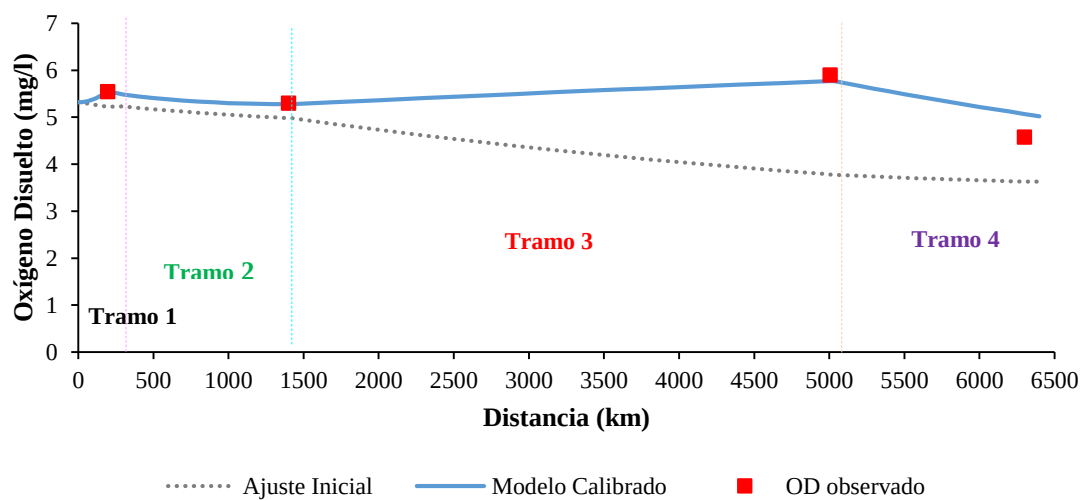
Tramo	L _O (mg/l)	T _O	OD _O (mg/l)	OD _{SAT} (mg/l)	Do (mg/l)
1	18,06	25,59	5,32	8,18	2,86
2	7,54	25,66	5,52	8,16	2,64
3	3,95	25,73	5,28	8,15	2,88
4	3,50	25,73	5,77	8,15	2,38

Fuente: Datos de la investigación

Elaborador por: Autoras

Con la aplicación del modelo de Streeter-Phelps se obtuvo el perfil del oxígeno disuelto:

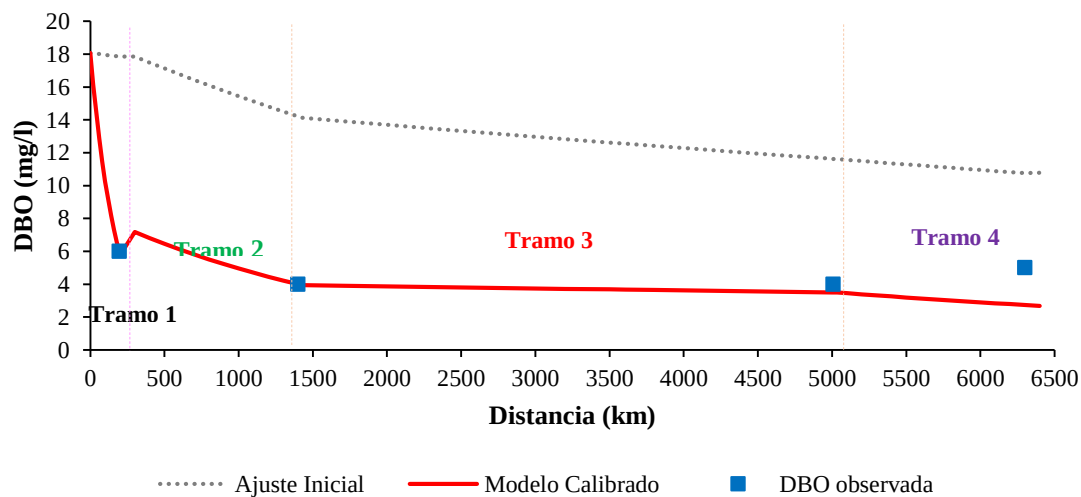
Gráfico 23. Perfil del OD del mes de febrero (Segunda semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

El gráfico 24 el comportamiento del OD se ve la similitud que hay entre el tramo uno y el tramo uno, dos y tres al obtener valores pasados de 5 mg/l, mientras que el tramo cuatro obtuvo un valor de 4 mg/l.

Gráfico 24. Perfil de la DBO del mes de febrero (Segunda semana)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En el gráfico 24 se observa también la igualdad existente en los valores de DBO del tramo dos y tres con un valor de 4 mg/l, mientras que el tramo uno obtuvo un valor de 6 mg/l y el tramo 4 un valor de 5 mg/l.

Tabla 39. Error relativo del OD y DBO

	PM1	PM2	PM3	PM4
OD	0,21	0,43	2,21	19,75
DBO	0,08	0,12	12,53	17,89

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

La tabla 39 presenta el error relativo estable ya que no sobrepasa el 10 % de error límite tanto para el oxígeno disuelto como la DBO solo en los puntos del tramo uno, dos y tres en el caso del OD, mientras que en la DBO solo en el punto uno y dos, destacando el valor elevado del error que sobrepasa el 10% en el punto de muestreo tres y cuatro en el caso de la DBO.

4.1.4 Análisis de rendimiento del OD

A continuación se presenta el análisis de rendimiento del modelo matemático aplicado en la modelización de la calidad del agua del estero Macache:

Tabla 40. Análisis de rendimiento del OD

Fechas de muestreos	R2	NSE
22-oct	0,99	0,99
05-nov	0,80	0,65
18-nov	0,97	0,72
04-dic	0,15	-0,88
10-ene	0,09	-0,03
21-ene	0,95	0,95
04-feb	0,91	0,85
25-feb	0,95	0,72

Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

En la tabla 40 se puede observar los resultados de medidas de bondad (Coeficiente de determinación e Índice Nash); determinando que en el mes de octubre se obtuvo un buen ajuste del modelo debido a que en las dos medidas el valor se acercó a 1 interpretando

esto como un buen ajuste del modelo, por consiguiente en el mes de noviembre en el coeficiente de determinación se observó un valor más cercano a la unidad con valores de 0,80 para la primera semana y 0,97 para la segunda semana de este mes a diferencia de los resultados del NSE se obtuvo valores más bajos; en el mes de diciembre no se obtuvo un buen ajuste por no considerarse en la delimitación de los tramos el tributario que se encuentra antes del último punto de muestreo, en el mes de enero en la primera semana se obtuvo un ajuste inestable debido a las condiciones extremas de la época lluviosa presentadas en esa fecha de muestreo, a diferencia de la segunda semana que se obtuvo un buen ajuste de los dos parámetros (OD y DBO) teniendo valores cercanos a uno, mientras que en el mes de febrero tanto en la primera semana con el coeficiente de determinación obtuvo un ajuste óptimo a diferencia del índice de Nash que se obtuvieron valores un poco bajos a los del coeficiente de determinación.

4.1.5 Análisis de rendimiento de la DBO

A continuación se presenta el análisis de rendimiento del modelo matemático aplicado en la modelización de la calidad del agua del estero Macache:

Tabla 41. Análisis de rendimiento de la DBO

Fechas de muestreos	R2	NSE
22-oct	0,99	0,98
05-nov	1,00	0,98
18-nov	0,98	0,50
04-dic	0,53	-0,56
10-ene	0,67	-5,47
21-ene	0,15	-1,54
04-feb	0,99	0,99
25-feb	0,001	-10,14

Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

En la tabla 41 se puede observar los resultados de medidas de bondad para la DBO (Coeficiente de determinación e Índice Nash se determinó); determinando que en el mes de octubre se obtuvo un buen ajuste del modelo, por consiguiente en el mes de noviembre también presentó un buen ajuste en las dos semanas, destacando que en el índice de Nash para la segunda semana presentó un valor de 0,50, en el mes de diciembre no se obtuvo

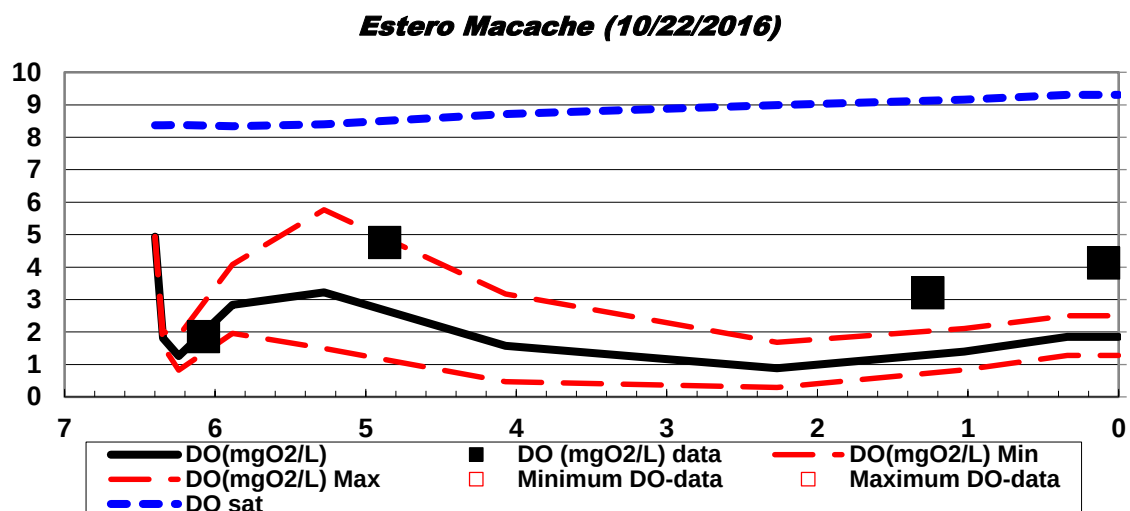
un buen ajuste por no considerarse en la delimitación de los tramos el tributario que se encuentra antes del último punto de muestreo al igual que el OD, en el mes de enero en la primera semana se obtuvo un ajuste inestable debido a las condiciones extremas de la época lluviosa presentadas en esa fecha de muestreo con valores de 0,67 en el R^2 y -5,47, sucediendo lo mismo en la segunda semana de este mes, mientras que en el mes de febrero tanto en la primera semana también se obtuvo un buen ajuste del modelo.

4.1.6 Simulación de la calidad del agua con Qual2k

Para llevar a cabo la simulación de la calidad del agua del estero Mocache se utilizaron los datos calibrados de las constantes cinéticas y los respectivos valores de las características hidromorfológicas:

4.1.6.4 Simulación de la OD y DBO correspondiente al mes de octubre

Gráfico 25. Simulación del OD correspondiente al mes de octubre (primera semana)



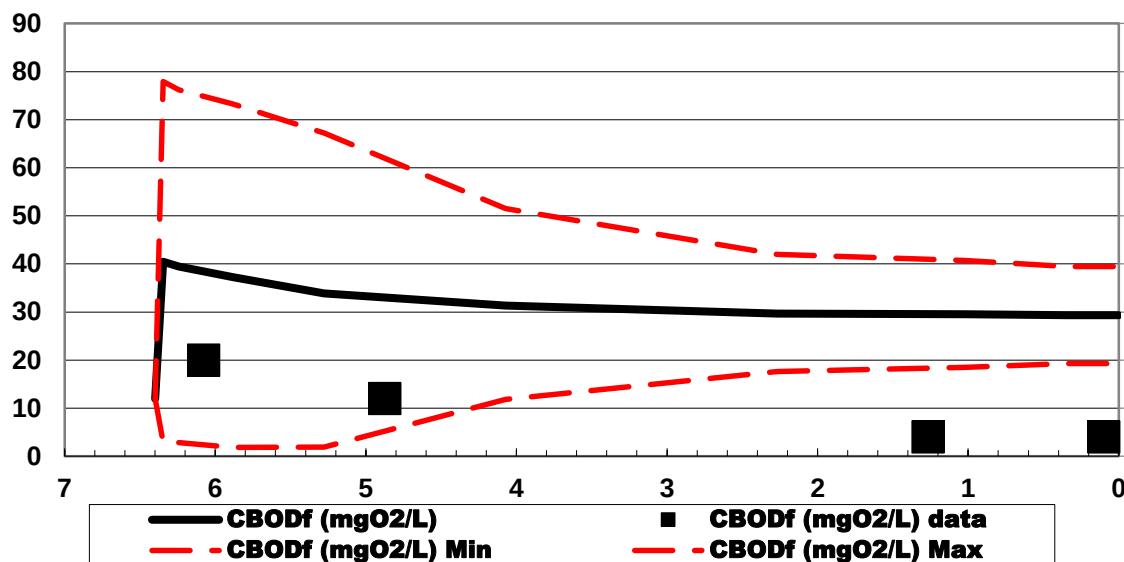
Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

El gráfico 25 de la simulación del oxígeno disuelto detalla que en el tramo uno existe un mejor ajuste entre los datos observados y los calculados por el programa, mientras que sucede todo lo contrario en la continuación de los tramos dos, tres y cuatro debido a que las concentraciones de OD presentan un error relativo mayor al 10%.

Gráfico 26. Simulación de la DBO correspondiente al mes de octubre

Estero Macache (10/22/2016)



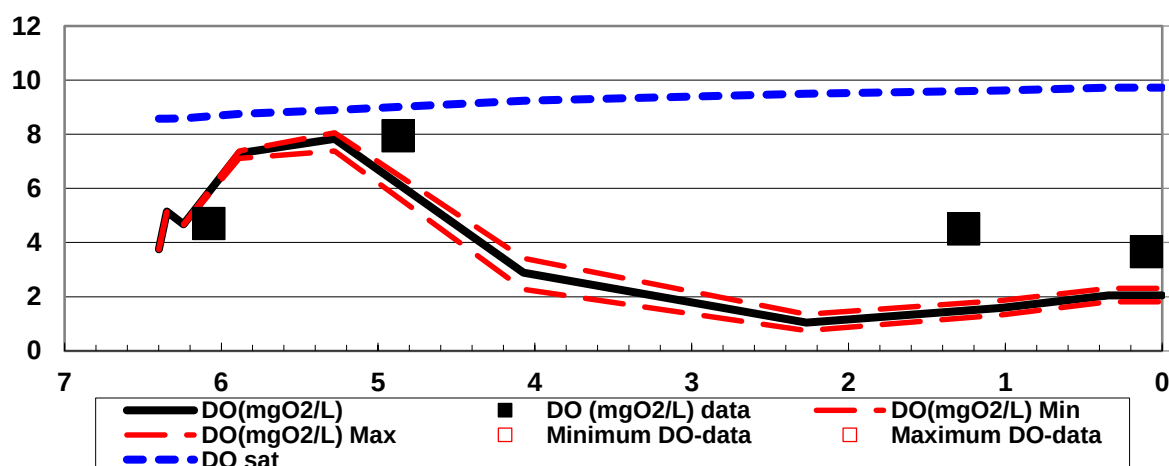
Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

Se puede observar que en el gráfico 26 de la simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, no se logra obtener un buen ajuste de los datos medidos en el campo, debido a que existe un error relativo que sobrepasa el 10%.

4.1.6.5 Simulación de la OD y DBO correspondiente al mes de noviembre

Gráfico 27. Simulación del OD correspondiente al mes de Noviembre (primera semana)

Estero Mocache (11/5/2016)

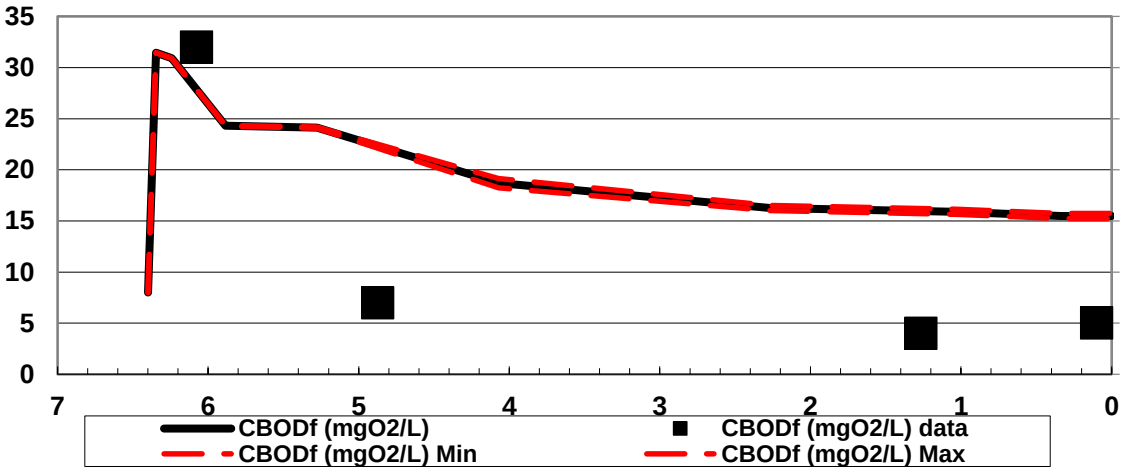


Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

El gráfico 27 indica que el ajuste es óptimo en el primer tramo, mientras que en los tres últimos tramos el programa QUAL2K subestima las concentraciones de OD con un error relativo superior al 10%.

Gráfico 28. Simulación del DBO correspondiente al mes de Noviembre (primera semana)

Estero Macache (11/5/2016)



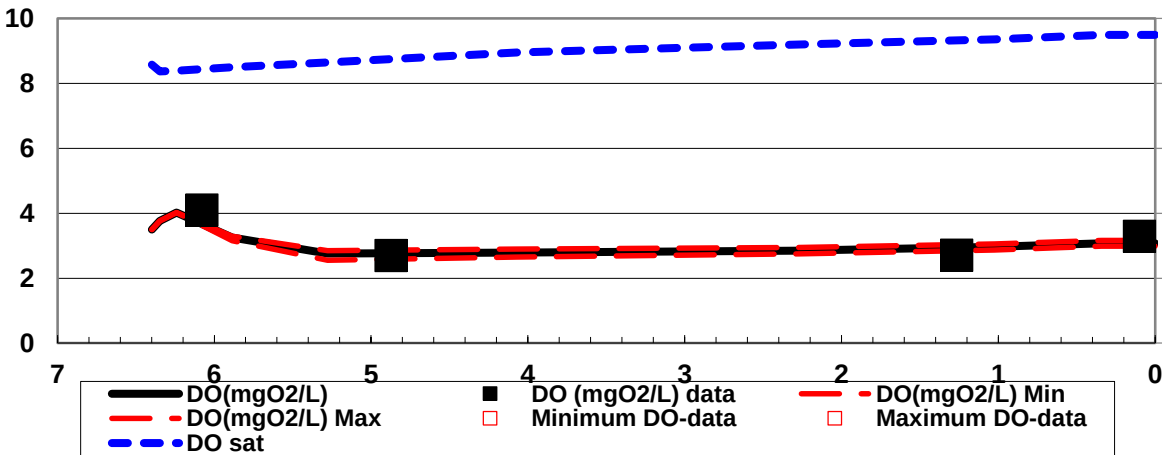
Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

La simulación de la DBO del gráfico 28 muestra que el programa no logra un buen ajuste, ya que como se puede observar el programa subestima las concentraciones de DBO en los cuatro tramos, con errores relativos que sobrepasan el 10%.

Gráfico 29. Simulación del OD correspondiente al mes de Noviembre (Segunda semana)

Estero Macache (11/18/2016)



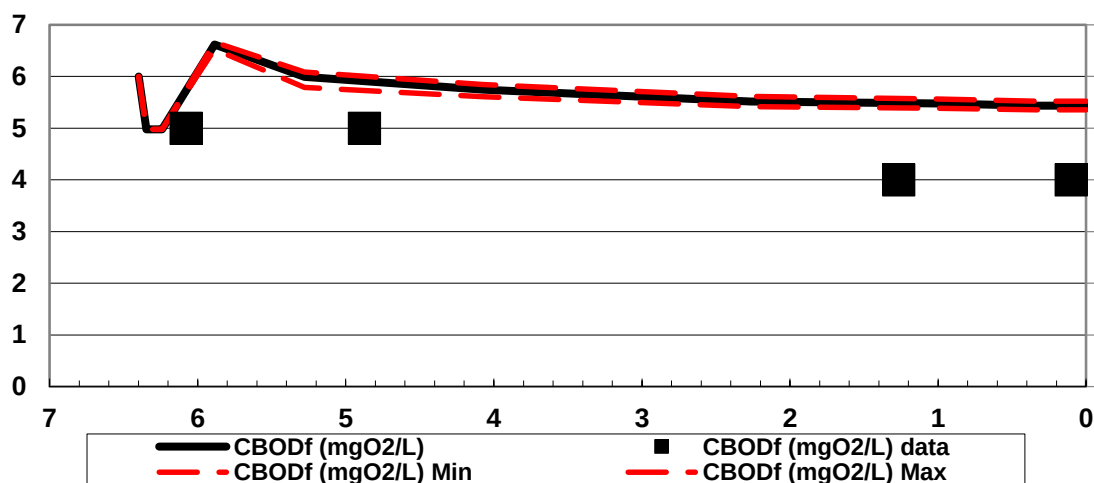
Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

El ajuste en relación al oxígeno disuelto es óptimo, por lo que el error relativo entre los datos observados y predichos que se presentan es inferiores al 10%.

Gráfico 30. Simulación del DBO correspondiente al mes de Noviembre (primera semana)

Estero Mocache (11/18/2016)



Fuente: Datos de la investigación

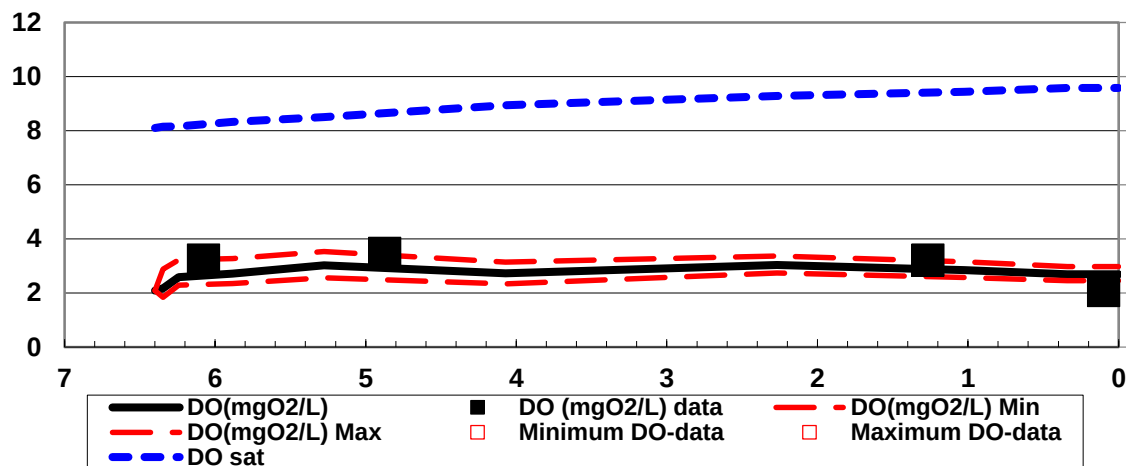
Elaborado por: Autoras

El gráfico 30 de la simulación de DBO, no indica un buen ajuste en los últimos tres tramos, debido a que se manifiestan errores relativos mayores al 10%, mientras que en el primer tramo el error relativo es inferior al 10%.

4.1.6.6 Simulación de la OD y DBO correspondiente al mes de Diciembre

Gráfico 31. Simulación del OD correspondiente al mes de Diciembre (primera semana)

Estero Macache (12/4/2016)

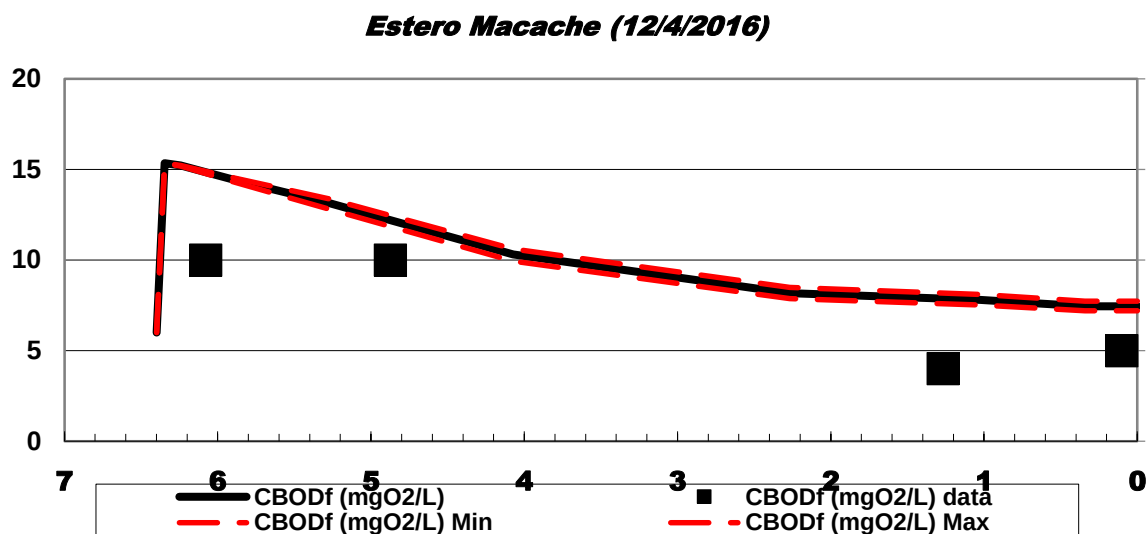


Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

Al igual que en el gráfico anterior del OD correspondiente al mes de noviembre se puede observar que existe un ajuste óptimo ya que presenta un error inferior al 10%.

Gráfico 32. Simulación de la DBO correspondiente al mes de Diciembre (primera semana)

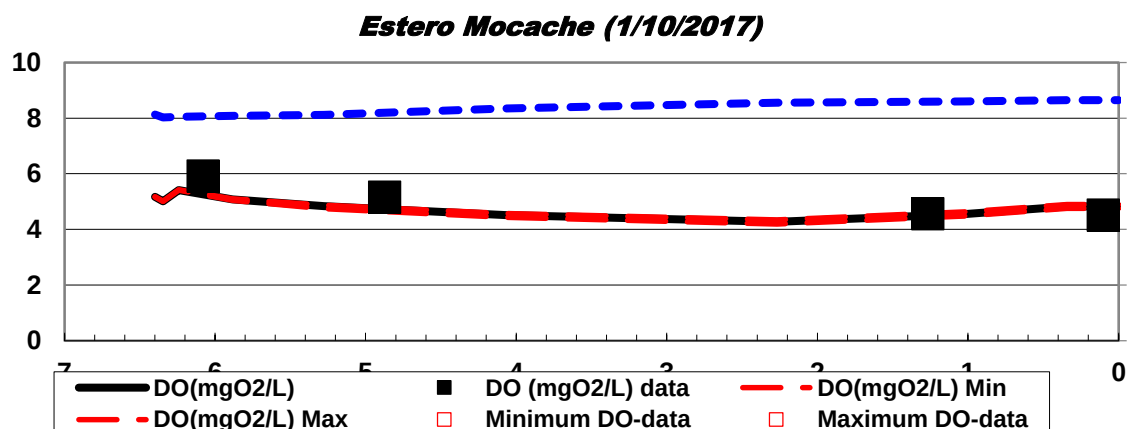


La simulación de las concentraciones de DBO muestra que no se consigue un mejor ajuste entre los datos medidos en el campo por los predichos por el modelo, ya que presentan un error que da el 10% en los cuatro tramos del monitoreo.

4.1.6.7 Simulación de la OD y DBO correspondiente al mes de Enero

A continuación se presenta la simulación con QUAL2K de la semana del 10 y 21 de enero del 2017.

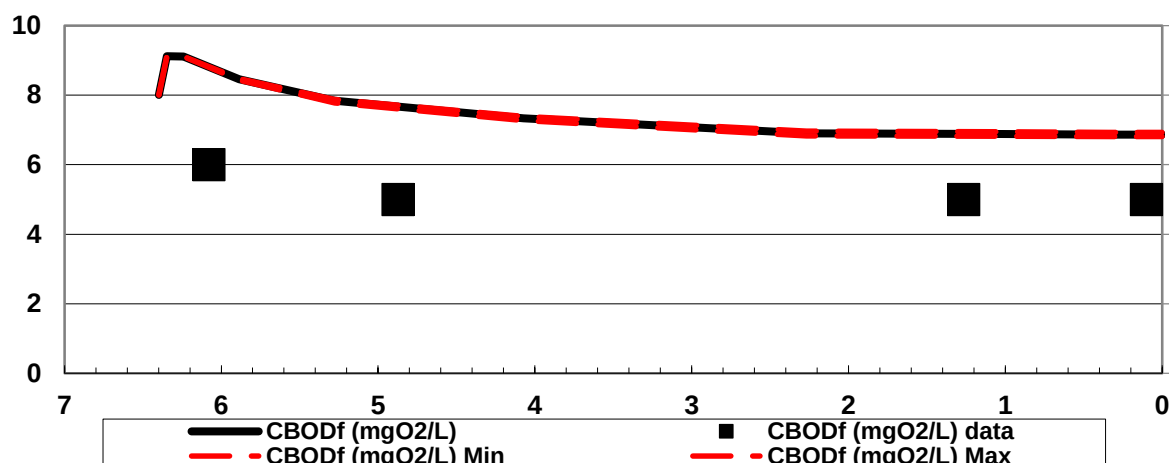
Gráfico 33. Simulación del OD correspondiente al mes de enero (primera semana)



El siguiente gráfico indica que el ajuste es óptimo en las concentraciones de los datos observados con los estimados por el modelo con un error relativo inferior al 10%.

Gráfico 34. Simulación de la DBO correspondiente al mes de Enero (primera semana)

Estero Mocache (1/10/2017)



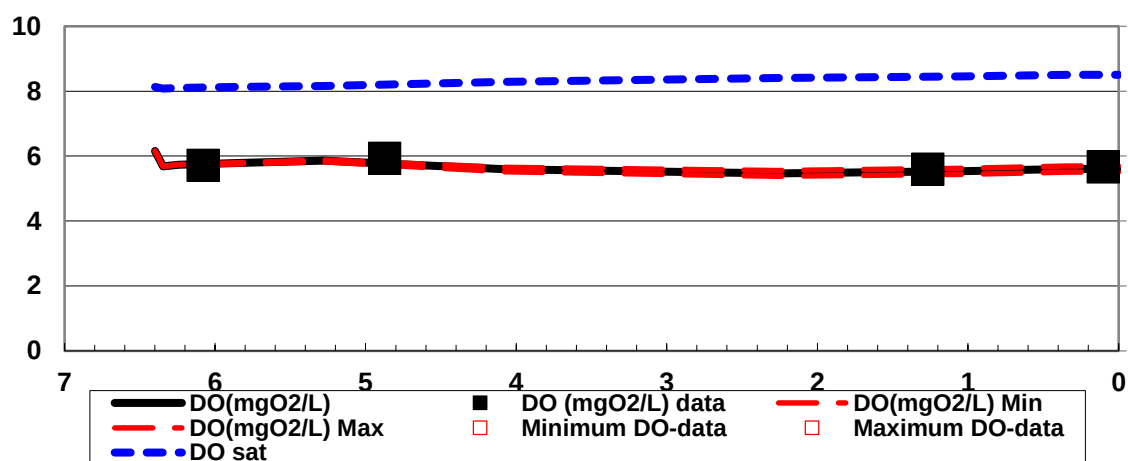
Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

El gráfico 34 de la simulación de la DBO indica existe un error relativo superior al 10% lo que muestra que no hay un buen ajuste entre los datos medidos en el campo con los modelos por el programa.

Gráfico 35. Simulación del OD correspondiente al mes de Enero (segunda semana)

Estero Macache (1/21/2017)



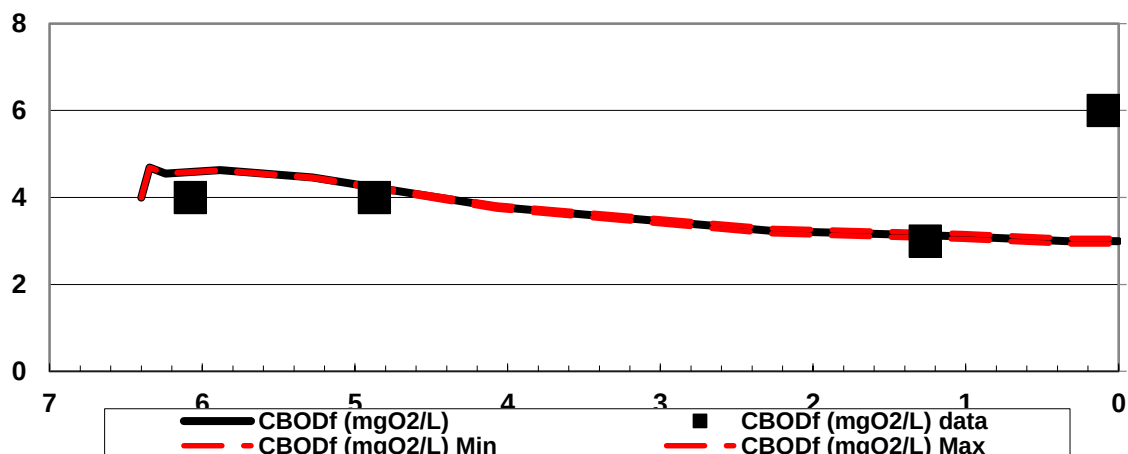
Fuente: Datos de la investigación

Elaborado por: Autoras

El gráfico 35 de la simulación correspondiente al OD presenta un buen ajuste a lo largo de la segmentación del estero Macache., mostrando errores inferiores al 10% entre los datos observados y lo calculados por el modelo.

Gráfico 36. Simulación del OD correspondiente al mes de Enero (Segunda semana)

Estero Macache (1/21/2017)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

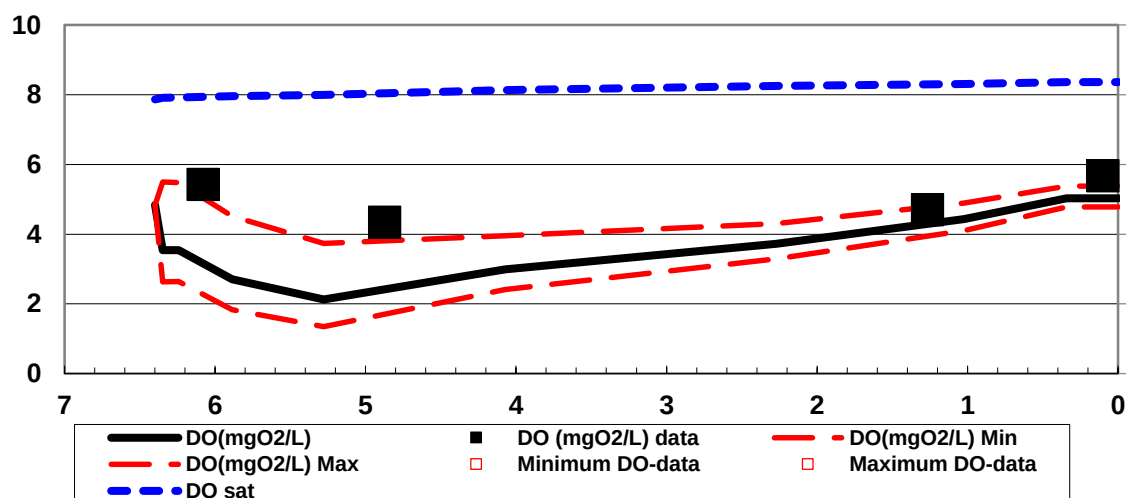
En la fecha actual tampoco se pudo conseguir un ajuste óptimo en todos los tramos de monitoreo debido a que en el primer y cuarto tramo se muestran errores superiores al 10%. Mientras que el segundo y tercer tramo se ajusta favorablemente entre los datos observados y los calculados.

4.1.6.8 Simulación de la OD y DBO correspondiente al mes de Febrero

A continuación se presenta la simulación con QUAL2K de la semana del 4 y 25 de enero del 2017.

Gráfico 37. Simulación del OD correspondiente al mes de Febrero (primera semana)

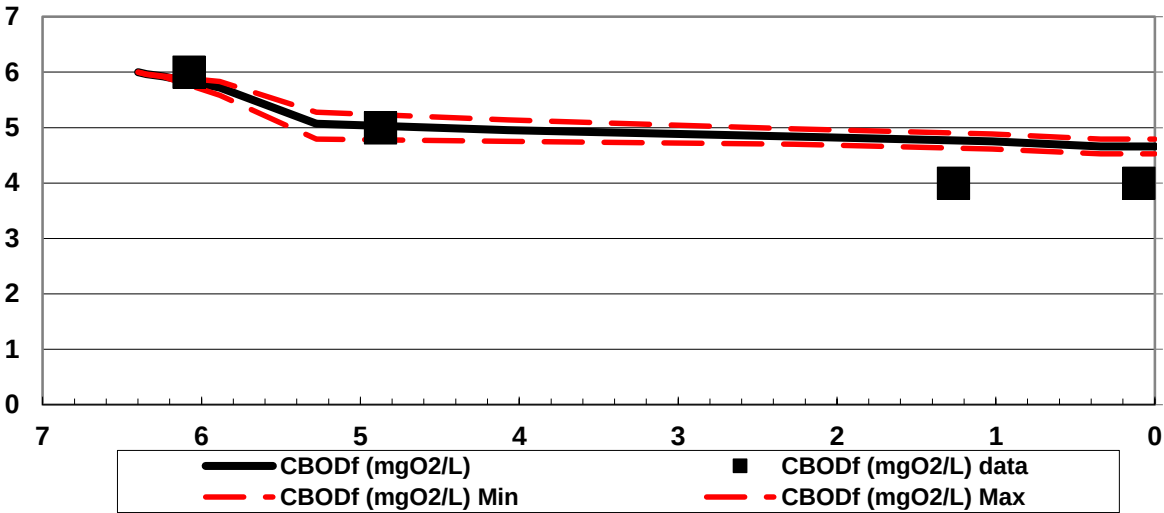
Estero Macache (2/4/2017)



Fuente: Datos de la investigación
Elaborado por: Autoras

El gráfico 37 de la simulación del OD indica que el tramo tres se logra un ajuste optimo con un error inferior al 10%, a excepción de los tramos uno, dos y cuatro nos e consigue un buen ajuste con los datos observados y predichos con que error que sobrepasa el 10%.

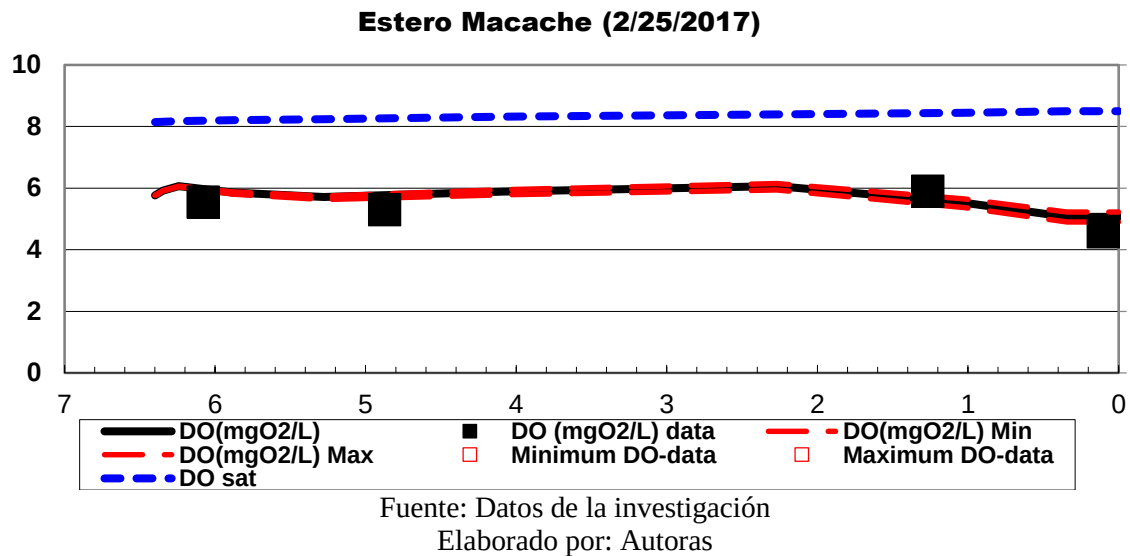
Gráfico 38. Simulación del DBO correspondiente al mes de Febrero (primera semana)
Estero Macache (2/4/2017)



Fuente: Datos de la investigación
 Elaborado por: Autoras

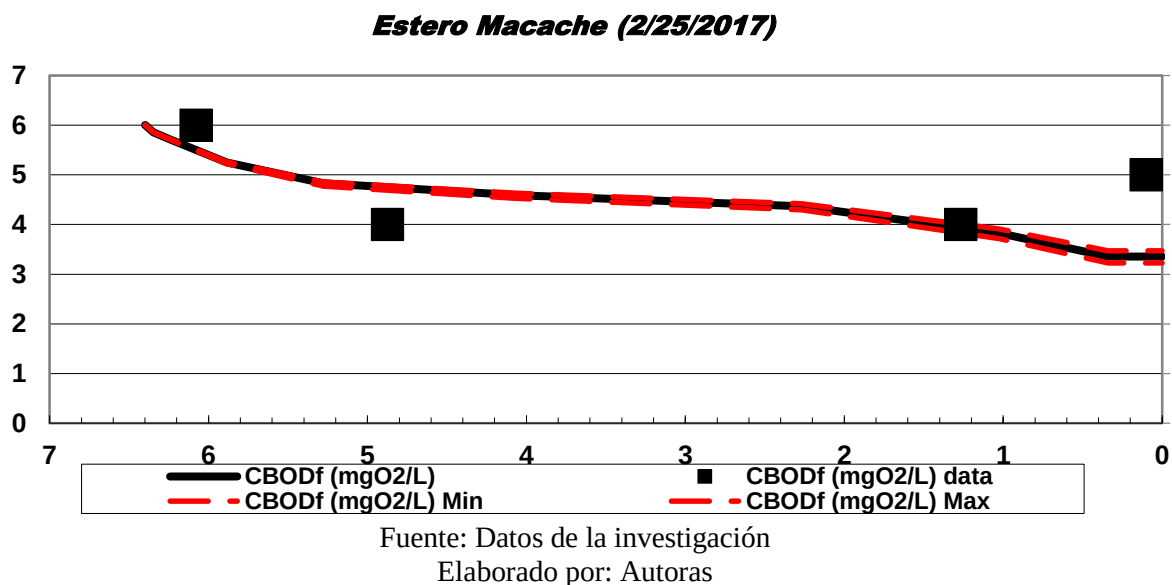
Se observa que la simulación de DBO del gráfico 38 indica que existe un ajuste óptimo en el primer y segundo tramo entre los datos tomados en el campo y los predichos, a diferencia de los últimos tramos en la cual no se consigue un buen ajuste ya que se manifiesta un error que supera el 10%.

Gráfico 39. Simulación del OD correspondiente al mes de Febrero (Segunda semana)



El gráfico 39 de la simulación de OD muestra que el programa logra un óptimo ajuste entre los datos observados y predichos por el modelo.

Gráfico 40. Simulación del DBO correspondiente al mes de Febrero (Segunda semana)



Se puede observar que el gráfico 40 logró un mejor ajuste en primer tramo y el tercer tramo con errores inferiores al 10%, por el contrario de lo que se muestra en el tramo dos y el tramo cuatro que no se consiguió un buen ajuste con los datos medidos en campo y los estimados por el modelo con errores relativos que superan el 10%.

4.2 Discusión de Resultados

Los mayores valores de caudal se presentaron en la época lluviosa (enero y febrero), con un valor que oscila entre 849,92 l/s (tramo 3) y 931,08 l/s (aguas arribas) debido a que en estas fechas fueron las de mayor precipitación. Rodriguez y Benavidez presentan un caso similar debido a que en un estudio realizado indican que los mayores caudales se dan en la época lluviosa a diferencia de la época seca que presentan caudales bajos [26].

Las mayores concentraciones de oxígeno disuelto se presentan en la época lluviosa que corresponden al mes de enero y febrero con niveles de 5 a 6 mg/L, a diferencia de los meses de octubre noviembre y diciembre (época seca) con menores concentraciones que varían de 1 a 5mg/L. Alzate manifiesta una situación similar al realizar un análisis simplificado del oxígeno disuelto en el río Ubate por el modelo Qual2k, encontró que las concentraciones más bajas de OD en el cauce de estudio se debe a la disminución del caudal existente en las condiciones de estiaje, mientras que en condiciones de mayor precipitación el caudal aumenta por lo que se registran mayores niveles de oxígeno disuelto [1].

Los mayores niveles de concentración de DBO_5 se dan en el mes de Octubre correspondiente a la estación seca con una concentración promedio que supera los 44mg/l provenientes de la descarga del “Guayacan” del lugar de estudio, a excepción de la estación lluviosa que las concentraciones descienden a 16mg/l. Carrera expone que el aumento de las concentraciones de DBO se debe al excesivo contenido de materia orgánica producto de las descargas de aguas residuales [2]. Por otra parte, Huerta quien realizó un estudio de la Calidad del agua en la microcuenca alta de la quebrada Estero en San Ramón de Alajuela en Costa Rica, encontró que las mayores niveles de DBO se dan en la época seca debido a la disminución del caudal, además de mencionar que debido a esta disminución y las altas temperaturas incrementa el número de bacterias que consumen oxígeno [4].

Los valores calibrados de las constantes cinéticas requeridas por el modelo de Steeter-Phelps a través de método de Montecarlo permitieron reducir el error relativo entre las concentraciones de DBO y OD medidas en el campo con los estimados por el modelo. Así en el caso del oxígeno disuelto se obtuvo un coeficiente de determinación que oscila

entre 0,15- 0,99 mientras que con el índice Nash estos valores oscilaron entre -0,88-0,99, considerándose un buen ajuste en la mayoría de las fechas de monitoreo. Con respecto a la DBO el coeficiente de determinación y el índice Nash presentó valores promedio de 0,71 y -1,62, respectivamente. Rojas et.al quien presento un mejor rendimiento del modelo para el oxígeno disuelto en comparación con la DBO [30].

La simulación con el programa QUAL2K de la USEPA demuestra que las variaciones de los niveles del oxígeno disuelto presenta un buen ajuste, es decir, la diferencia entre los datos tomados en el campo y los estimados por el modelo de Streeter – Phelps durante la estación seca y lluviosa presentan errores relativos inferiores al 10%. Sin embargo, sucede lo opuesto con la simulación de las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno debido a que presentan errores relativos superiores al 10% en cada uno de las unidades de simulación (tramos). Situación similar presento Huerta en la modelación de la calidad del agua del río Guacaica en Colombia, quien describe que la diferencia porcentual entre los datos observados en campo y los simulados por Qual2k es mayor al 10% debido a la falta de variables complementarias requeridas por el Software [3].

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Las características hidromorfológicas del estero Macache se encuentran marcados por valores muy variables debido a que el caudal aumenta en los meses de mayor precipitación que corresponden a enero y febrero, mientras que en la época seca los valores del caudal decrecen significativamente.

El oxígeno disuelto se encuentra por debajo de los límites permisibles según el Libro VI anexo 1 con valores inferiores a los 6mg/l. Mientras que en meses de mayor precipitación estas concentraciones se incrementan significativamente superando los 5mg/l.

Existe una disminución de la concentración de DBO en los meses de la época lluviosa, situación que se manifiesta debido al ingreso de aguas limpias que por pendiente se unen al cauce del estero aumentando la cantidad de oxígeno disuelto.

La calibración del modelo de Streeter y Phelps con los datos tomados de od y dbo de las condiciones iniciales en el estero Macache obtuvo un óptimo ajuste en la mayoría de los tramos ya que el error relativo es inferior al 10%, a excepción de los tramos tres y cuatro que superan el 10% del error.

La simulación de la calidad del agua del estero Macache con el software QUAL2K no se pudo obtener un buen ajuste de los parámetros medidos en campo y los predicho por el modelo, siendo así que el error relativo de los datos superan el 10%; este esquema se debe a la falta de parámetros que el programa qual2k requiere para ajustar.

5.2 Recomendaciones

Para mejorar la calidad del agua del río Macache es necesario disminuir las descargas de agua residuales directas, creando Plantas de tratamiento de aguas residuales y mejorado el sistema de alcantarillado por parte del GAD municipal del Cantón Quevedo.

Se debe calcular las constantes cinéticas necesarias en la aplicación del modelo de Streeter-Phelps de manera in situ, tomando en cuenta las condiciones extremas del estero Macache, con el fin de obtener un modelo más preciso.

El modelo de calidad del agua QUAL2K implementado en el estero Macache puede ser ajustado posteriormente a partir de la realización de otras campañas de monitoreo para ser consolidado como una herramienta confiable y eficaz para la autoridad ambiental, que contribuya a la planificación del recurso hídrico.

CAPITULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1 Bibliografía

- 1 Vigil K. Clean water an introduction water quality and water pollution control. Estados Unidos de América: Oregon State University Press; 2003.
- 2 Arango M. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y La Risaralda, San Luis, Antioquia. Colombia: B-Escuela de Ingenieroa de Antioquia; 2009.
- 3 Osorio F. Tratamiento de aguas para la eliminacion de microorganismos y agentes contaminantes. Madrid: Ediciones Diaz de Santos; 2011.
- 4 Cardenas G. Agricultura, Urbanizacion y agua. Montevideo, Uruguay : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); 2009.
- 5 Mamani W. Contaminacion del agua e impactos por actividad hidrocarburifera en la Serrania aguarague. La Paz: Fundacion PIEB; 2003.
- 6 Botello A. Golfo de Mexico, contaminacion e impacto ambiental. 2nd ed. Mexico: Universidad Juarez Autonoma de Tabasco; 2005.
- 7 De Anda C. Química 2 de acuerdo a la reforma del Bachillerato. Zapopan, Jalisco Mexico: Umbral Editorial, S.A de C.V; 2005.
- 8 Martín Vide P. Ingeniería en Ríos. Reimpresa ed. Univ. Politèc. de Catalunya; 2007.
- 9 Cadavid J. Hidraulica de Canales: fundamentos. Medellin : Universidad EAFIT ; 2006.

- 10 Romero J. Tratamiento De Aguas Residuales, Teoria y principios de diseño. Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieria; 2013.
- 11 Chin DA. Water-Quality Engineering in Natural Systems: Fate and Transport Processes in the Water Environment. 2nd ed. Hoboken : John Wiley & Sons; 2013.
- 12 M E. El rio y la forma-Introduccion a la geomorfologia fluvial.]. Santiago de Chile : RIL editores ; 2010.
- 13 Ochoa Rubio T. Hidraulica de ríos y procesos morfologicos. Primera ed. Bogotá: Ecoe Ediciones; 2011.
- 14 Restrepo I. Avances en investigacion y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio. Primera edicion ed. Cali, Colombia: Universidad del Valle ; 2007.
- 15 Orozco Barrenetxea , Perez Serrano A, Gonzalez Delgado N, Rodriguez Vidal FJ, Alfayate Blanco M. Contaminacion Ambiental. España: Malpe S.A.; 2003.
- 16 Marin Galvin R. Fisicoquimica y microbiologia de los medios acuaticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. [Internet].Ediciones Diaz de Santos; 2003 Available from: <https://books.google.com.ec>.
- 17 Spellman FR, Drinan J. Manual de agua potable. Zaragoza: Acribia, S.A.; 2000.

- 18 Soriano Rull A, Pancorbo Floristan FJ. Suministro, Distribucion y Evacuacion Interior de Agua Sanitaria. Marcombo; 2012.
- 19 Sanchez O. Perspectivas sobre conservacion de ecosistemas acuaticos en Mexico. [Internet]. 2007 Available from: https://books.google.com.ec/books?id=uWlrklx-r3oC&dq=ph++del+agua+superficial&hl=es&source=gbs_navlinks_s.
- 20 Manivanan R. Water Quality Modeling: Rivers, Streams, and Estuaries. New India Publishing; 2008.
- 21 Sanint EA. Métodos cuantitativos para la toma de decisiones ambientales. Universidad Nacional de Colombia; 2004.
- 22 Sierra C. Calidad del Agua. Medellin - Colombia: Universidad de Medellin; 2011.
- 23 Chapra SC. Surface Water - Quality Modeling. Waveland Press; 2008.
- 24 Yen TF. Chemical Processes for Environmental Engineering. Imperial College Press; 2007.
- 25 Restrepo , sánchez L, Galvis A, Rojas J, Sanabria I. Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio. Cali, Colombia: Universidad del Valle; 2007.
- 26 Rodriguez C, Silva M. Calidad del agua en la microcuenca alta de la quebrada Estero en San Ramón de Alajuela, Costa Rica. [Internet]. 2015

Available from: <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/22597>.

- 27 Alzate F. Analisis simplificado de oxigeno disuelto en el río Ubate por el modelo QUAL2K. [Internet]. 2013 [cited 2017 Marzo 23]. Available from: <http://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/120/1/ANALISIS%20SIMPLIFICADO%20DE%20OXIGENO%20DISUELTO%20EN%20EL%20RIO%20UBATE%20POR%20EL%20MODELO%20QUAL2K.pdf>.
- 28 Carrera G. Modelacion de Oxígeno Disuelto y materia orgánica y su influencia en la distribución y diversidad de indicadores bentónicos de la Cuenca del Río San Pedro en el tramo Amaguaña - Guangopolo. [Internet]. 2011 Available from: <http://www.bdigital.unal.edu.co/51032/1/1053781847.2015.pdf>.
- 29 Rojas L, Portela J, Macías N, Griffith J, Derivet M, Flores P, Cuesta J, Rodríguez M, Herrero Z, Rodriguez A, et al. Modelacion de la calidad del agua en el segmento medio del río Luyanó. [Internet]. 2010 Available from: scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-084X2010000100003.
- 30 Huertas M. Aplicación del QUAL2Kw en la calidad del rio Guacaica departamento de Caldas Colombia. [Internet]. 2015 Available from: <http://www.bdigital.unal.edu.co/51032/1/1053781847.2015.pdf>.

CAPITULO VII

ANEXOS

Imagen 1.- Informes finales del laboratorio CESAQ-PUCE.




ACREDITACIONES



Servicio de Acreditación Ecuador
Acreditación N° OAE LE 20 04-001
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME CESAQ-PUCE No. 15862-1
Página 1 de 2

CESAQ - PUCE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
CENTRO DE SERVICIOS AMBIENTALES Y QUÍMICOS
INFORME DE ANÁLISIS No. 15862-1

Datos generales:
 Cliente: ARANA CASTRO REINA MILENA
 Dirección: PARR, NICOLAS INFANTE DÍAZ
 Teléfono: 0939887211/098 206 4531
 Tipo de muestra: AGUA SUPERFICIAL

Toma de Muestra (No cubierta por las acreditaciones)
 FECHA DE MUESTREO: 18/11/16
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: ESTERO MOCACHE AGUAS ARRIBA
 MUESTREADO POR: PERSONAL TÉCNICO CESAQ - PUCE
 FECHA RECEPCIÓN: 21/11/16 INTEGRIDAD DE LA MUESTRA: CUMPLE

Parámetros analizados:

XA	PARÁMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
AGUAS Y SUELOS				
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	SM 5210 D / CP-PEE-A018	mg/L	6
1	Oxígeno Disuelto	SM 4500-O-G / CP-PEE-A003	mg/L	3.5
1	Temperatura (in situ)	SM 2560 B / CP-PEE-PM008	°C	25.4

Fecha de Realización del Ensayo
 La muestra ingresa al CESAQ-PUCE el día 21 de noviembre del 2016. Los análisis fueron realizados en el periodo comprendido entre el 18 de noviembre del 2016 y el 28 de noviembre del 2016.

El presente informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 El presente informe no debe reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESAQ - PUCE

Las incertidumbres de los resultados para los ensayos que se encuentran dentro del alcance de acreditación se adjuntan en una página única (MC0701) al presente documento y sus cálculos se encuentran disponibles en los registros del CESAQ-PUCE.

CESAQ-PUCE, laboratorio acreditado OAE LE 20 04-001

Imagen 2.- Informes finales del laboratorio CESAQ-PUCE.




ACREDITACIONES



Accreditación N° OAE LE 20 04-001
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME CESAQ-PUCE No. 15862-2
Página 1 de 2

CESAQ - PUCE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
CENTRO DE SERVICIOS AMBIENTALES Y QUÍMICOS
INFORME DE ANÁLISIS No. 15862-2

Datos generales:
 Cliente: ARANA CASTRO REINA MILENA
 Dirección: PARR. NICOLAS INFANTE DÍAZ
 Teléfono: 0939887211/098 206 4531
 Tipo de muestra: AGUA SUPERFICIAL

Toma de Muestra (No cubierta por las acreditaciones)
 FECHA DE MUESTREO: 18/11/16
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: ESTERO MOCACHE AGUAS ABAJO TRAMO # 3
 MUESTREADO POR: PERSONAL TÉCNICO CESAQ - PUCE
 FECHA RECEPCIÓN: 21/11/16 INTEGRIDAD DE LA MUESTRA CUMPLE

Parámetros analizados:

AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
AGUAS Y SUELOS				
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	SM 5210 D / CP-PEE-A019	mg/L	< 6
1	Oxígeno Disuelto	SM 4500-O G / CP-PEE-A023	mg/L	2.7
1	Temperatura (in situ)	SM 2550 B / CP-PEE-TM005	°C	25.2

Fecha de Realización del Ensayo:
 La muestra ingresó al CESAQ-PUCE el día, 21 de noviembre del 2016. Los análisis fueron realizados en el periodo comprendido entre el 18 de noviembre del 2016 y el 28 de noviembre del 2016.

El presente informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo
 El presente informe no debe reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESAQ - PUCE
 Las incertidumbres de los resultados para los ensayos que se encuentran dentro del alcance de acreditación se adjuntan
 en una página única (MC0701) al presente documento y sus cálculos se encuentran disponibles en los registros del CESAQ-PUCE.
 CESAQ-PUCE, laboratorio acreditado OAE LE 20 04-001

Imagen 3.- Informes finales del laboratorio CESAQ-PUCE.




ACREDITACIONES



Servicio de Acreditación Ecuatoriano
Acreditación N° OAE LE 20 04-001
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME CESAQ-PUCE No. 15862-4
Página 1 de 2

CESAQ - PUCE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
CENTRO DE SERVICIOS AMBIENTALES Y QUÍMICOS
INFORME DE ANÁLISIS No. 15862-4

Datos generales:
 Cliente: ARANA CASTRO REINA MILENA
 Dirección: PARR, NICOLAS INFANTE DÍAZ
 Teléfono: 0939887211/098 206 4531
 Tipo de muestra: AGUA SUPERFICIAL

Toma de Muestra (No cubierta por las acreditaciones)
 FECHA DE MUESTREO: 18/11/16
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: ESTERO MOCACHE TRAMO # 1
 MUESTREADO POR: PERSONAL TÉCNICO CESAQ - PUCE
 FECHA RECEPCIÓN: 21/11/16 INTEGRIDAD DE LA MUESTRA: CUMPLE

Parámetros analizados:

AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
AGUAS Y SUELOS				
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	SM 5212 D / CP-PES-A218	mg/L	7
1	Oxígeno Disuelto	SM 4500-O G / CP-PES-A303	mg/L	4.1
1	Temperatura (en sitio)	SM 2545 B / CP-PES-PM005	°C	24.6

Fecha de Realización del Ensayo
 La muestra ingresó al CESAQ-PUCE el día 21 de noviembre del 2016. Los análisis fueron realizados en el periodo comprendido entre el 18 de noviembre del 2016 y el 28 de noviembre del 2016.

El presente informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo
 El presente informe no debe reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESAQ - PUCE
 Las incertidumbres de los resultados para los ensayos que se encuentran dentro del alcance de acreditación se adjuntan en una página única (MC0701) al presente documento y sus cálculos se encuentran disponibles en los registros del CESAQ-PUCE.
 CESAQ-PUCE, laboratorio acreditado OAE LE 2 C 04-001

Av. 12 de Octubre N20-80 y Av. Pedro Pablo Kuczynski 2591752 / 2591750 ext. 1836 - 1906 • cesaq@puce.edu.ec • www.puce.edu.ec/cesaq

Imagen 4.- Informes finales del laboratorio CESAQ-PUCE.




ACREDITACIONES



ACREDITACIÓN N° OAE LE 22 04-001
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME CESAQ-PUCE No. 15862-5
Página 1 de 2

CESAQ - PUCE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
CENTRO DE SERVICIOS AMBIENTALES Y QUÍMICOS
INFORME DE ANÁLISIS No. 15862-5

Datos generales:
 Cliente: ARANA CASTRO REINA MILENA
 Dirección: PARR, NICOLAS INFANTE DÍAZ
 Teléfono: 0939887211/098 206 4531
 Tipo de muestra: AGUA SUPERFICIAL

Toma de Muestra: (No cubierta por las acreditaciones)
 FECHA DE MUESTREO: 18/11/16
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: ESTERO MOCACHE TRAMO # 2
 MUESTREADO POR: PERSONAL TÉCNICO CESAQ - PUCE
 FECHA RECEPCIÓN: 21/11/16 INTEGRIDAD DE LA MUESTRA: CUMPLE

Parámetros analizados:

AN	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
	AGUAS Y SUELOS			
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	SM 5210 D / CP-PES-AD18	mg/l	11
1	Oxígeno Disuelto	SM 4500-O G / CP-PES-AD23	mg/L	3.4
1	Temperatura (in situ)	SM 2550 B / CP-PES-TM25	°C	24.8

Fecha de Realización del Ensayo:
 La muestra ingresó al CESAQ-PUCE el día 21 de noviembre del 2016. Los análisis fueron realizados en el periodo comprendido entre el 18 de noviembre del 2016 y el 23 de noviembre del 2016.

El presente informe solo aplica a los resultados obtenidos a través de:
 El presente informe no debe reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del CESAQ - PUCE
 Las incertidumbres de los resultados para los ensayos que se encuentran dentro del alcance de acreditación se adjuntan en una página única (MC0701) al presente documento y sus cálculos se encuentran disponibles en los registros de CESAQ-PUCE.
 CESAQ-PUCE, laboratorio acreditado OAE LE 2 C 04-001

Av. 12 de Octubre N25-80 y Av. Polanco • 2301712 / 2301700 ext. 1838 - 1906 • clesaq@puce.edu.ec • arana.castro@puce.edu.ec

Imagen 5.- Informes finales del laboratorio CESAQ-PUCE.




ACREDITACIONES



Servicio de Acreditación Ecuador
Acreditación N° OAE LE 20 84-001
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME CESAQ-PUCE No. 15862-6
Página 1 de 2

CESAQ - PUCE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
CENTRO DE SERVICIOS AMBIENTALES Y QUÍMICOS
INFORME DE ANÁLISIS No. 15862-6

Datos generales:
 Cliente: ARANA CASTRO REINA MILENA
 Dirección: PARR, NICOLAS INFANTE DÍAZ
 Teléfono: 0939887211/068 206 4531
 Tipo de muestra: AGUA RESIDUAL

Toma de Muestra (No cubierta por las acreditaciones)
 FECHA DE MUESTREO: 18/11/16
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: DESCARGA PARROQUIA GUAYACÁN DESCARGA # 2
 MUESTREADO POR: PERSONAL TÉCNICO CESAQ - PUCE
 FECHA RECEPCIÓN: 21/11/16 INTEGRIDAD DE LA MUESTRA, CUMPLE

Parámetros analizados:

AA	PARÁMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO
AGUAS Y SUELOS				
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	SM 5210 D I CP-PES-A519	mg/L	25
1	Oxígeno Disuelto	SM 4500-O D I CP-PES-A803	mg/L	3.8
1	Temperatura (in situ)	SM 2550 B I CP-PES-TM005	°C	25.1

Fecha de Realización del Ensayo
 La muestra ingresa al CESAQ-PUCE el día 21 de noviembre del 2016. Los análisis fueron realizados en el periodo comprendido entre el 18 de noviembre del 2016 y el 28 de noviembre del 2016.

El presente informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo
El presente informe no debe reproducirse más que en su totalidad, previa autorización expresa del CESAQ - PUCE
 Las incertidumbres de los resultados para los ensayos que se encuentran dentro del alcance de acreditación se adjuntan en una página única (MC0701) al presente documento y sus cálculos se encuentran disponibles en los registros del CESAQ-PUCE.
 CESAQ-PUCE, laboratorio acreditado OAE LE 20 84-001

Anexo 2: Fotografías



Fotografía 1.- Reconocimiento del punto de descarga proveniente del Guayacán.



Fotografía 2.- fase de campo (aforos).



Fotografía 3.- Personal del Laboratorio CESAQ-PUCE.



Fotografía 4.- área de trabajo del proyecto de investigación.