



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

**IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DE
AGUA AQUATOOL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO
SININCAY.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTORES: FRANK ALEXANDER PUENTE PIÑA.

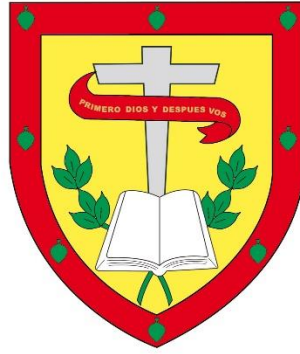
DIEGO FERNANDO ARREAGA GUILLERMO.

DIRECTOR: ING. SANTIAGO AURELIO OCHOA PhD.

CUENCA-ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

**IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DE AGUA
AQUATOOL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SININCAY.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

AUTORES: FRANK ALEXANDER PUENTE PIÑA.

DIEGO FERNANDO ARREAGA GUILLERMO.

DIRECTOR: ING. SANTIAGO AURELIO OCHOA PhD.

CUENCA - ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Frank Alexander Puente Piña y Diego Fernando Arreaga Guillermo portadores de las cédulas de ciudadanía N.º **1400733810** y **0105752455**. Declaramos ser autores de la obra: **“Implementación del modelo de calidad de agua Aquatool en la subcuenca del río Sinincay.”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 01 de diciembre del 2022

F.


Frank Alexander Puente Piña.

CI: 1400733810

F.



Diego Fernando Arreaga Guillermo

CI: 0105752455

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Santiago Aurelio Ochoa PhD con CI: 0104158142 en calidad de director de tesis certifico que el trabajo **“Implementación del modelo de calidad de agua Aquatool en la subcuenca del río Sinincay.”**, fue realizado por los estudiantes Frank Alexander Puente Piña y Diego Fernando Arreaga Guillermo, bajo mi supervisión.

Cuenca, **01 de diciembre de 2022**



Ing. Santiago Aurelio Ochoa PhD.

DIRECTOR.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis especialmente a “Dios” por brindarme la oportunidad y fortaleza para seguir en el camino de mi formación como profesional, al igual a mi tío “Fausto Guillermo” que ha sido como un padre para mí siendo un pilar importante brindándome la oportunidad de estudiar en esta institución tomando en cuenta las limitaciones económicas que nos ha presentado la vida.

Gracias a mi mamá “Rosa Guillermo” que siempre confió en mis capacidades y nunca se dio por vencida dándome la fortaleza para poder superar los obstáculos que se me han presentado en el transcurso de mi formación.

A mis hermanos Erick y Jhonny por el apoyo incondicional e inspiración en todo momento,
Diego F. Arreaga.

Dedico esta tesis a “Dios” y especialmente a mis padres el señor Franklin Puente y la señora Sonia Piña que han sido el motor fundamental en todos los aspectos de mi vida, por su trabajo constante, por su apoyo económico-sentimental y por inculcarme los valores del respeto y la humildad, pero sobre todo por el valor del estudio. A mis hermanos por el apoyo diario y la motivación para que todo salga bien y de buena manera, a mis familiares, mi novia y amigos por su preocupación constante desde el inicio al final de mi carrera.

Un agradecimiento formal a todos mis docentes, autoridades, personas del personal y como no a la más importante, la Universidad Católica de Cuenca por los conocimientos impartidos que sin duda aportaran de buena manera a mi provincia, cantón y ciudad,

Frank A, Puente.

AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos sinceros a nuestro tutor quien nos dio la oportunidad de desarrollar este trabajo de titulación Ing. Santiago Aurelio Ochoa PhD, por habernos tenido paciencia y brindarnos su conocimiento y ser guía en esta tesis.

Al Ing. Carlos Matovelle por sus consejos y experiencia que también sirvieron de mucho para poder desarrollar este trabajo de titulación de la mejor manera.

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta el modelo matemático de calidad de agua considerando el software de acceso libre “AQUATOOL”, que ha sido ajustado a la dinámica hidrológica de la subcuenca del río Sinincay, la cual está sometida a contaminación proveniente de actividades antropogénicas.

La metodología empleada requirió la aplicación de técnicas documentales y experimentales. Se recogió datos por medio de métodos de monitoreo en las secciones de control para las variables de calidad de agua, caudales y geometría de la zona; la serie de datos temporales obtenidos servirá como información de entrada, calibración y validación del modelo. Se realizó un análisis de los resultados experimentales procesados para obtener patrones de acontecimientos extraordinarios de las variables de calidad en los tributarios del río Sinincay, y con esto formular dos escenarios de simulación: el primero considerando valores promedio de las variables de calidad y un segundo donde se consideran los valores máximos registrados, obteniendo un modelo donde se observa la variabilidad de los contaminantes en diferentes tramos del río Sinincay.

Para la validación del modelo se aplicaron métodos de correlación entre los datos simulados y observados como el índice R^2 , el error medio relativo cuadrado y el error porcentual medio absoluto; con el modelo validado y calibrado de los escenarios establecidos se realizó una valoración con los criterios de calidad admisibles para agua dulce y consumo humano que establece el Acuerdo ministerial 097-A.

Palabras clave: calidad de agua, cargas contaminantes, concentración de sustancias, AQUATOOL.

ABSTRACT.

This work describes the mathematical model of water quality based on the open-source software "AQUATOOL", which has been adapted to the hydrological dynamics of the watershed of the Sinincay River, which is affected by pollution from anthropogenic activities.

The methodology adopted required the application of documentary and experimental techniques. Data were collected through monitoring procedures in water quality variables, flow rates, and geometry of the area at the control points; the time series of data obtained will serve as input information, calibration, and validation of the model. An analysis of the processed experimental results was carried out to obtain patterns of unusual events of the quality variables in the tributaries of the Sinincay River, and with this, establish two simulation scenarios: the first one, considering average values of the quality variables, and a second one, where the maximum values recorded are considered, obtaining a model where the pollutants variations in different sections of the Sinincay River are noted.

Correlation methods were applied between the simulation and observed data, such as the R^2 index, the relative mean squared error, and the mean absolute percentage error to validate the model. Then, with the validated and calibrated model of the established scenarios, an assessment was made using the admissible quality criteria for freshwater for human consumption established by Ministerial Agreement 097-A.

Keywords: water quality, pollutant loadings, substance concentrations, AQUATOOL

ÍNDICE.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.	1
1.1. Introducción.	1
1.2. Justificación.	3
1.3. Antecedentes.	8
1.4. Objetivos.	10
1.4.1 Objetivo General.	10
1.4.2 Objetivos Específicos.	10
1.5. Metodología.	11
1.5.1 Delimitación de la zona de estudio.	13
1.5.2 Determinación de estaciones de monitoreo.	14
1.5.3 Determinación de caudales.	16
1.5.4 Determinación de parámetro físicos y químicos.	17
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.	18
2.1. Definición de calidad del agua.	18
2.2. Importancia del recurso agua.	19
2.3. Contaminación del agua.	19
2.4. Parámetros físicos y químicos del agua.	20
2.4.1 Parámetros físicos.	20
2.4.2 Parámetros químicos.	21
2.5. Constantes y coeficientes de reacción.	22
2.6. Geometría Hidráulica en cursos naturales.	26
2.7. Constituyentes.	27
2.8. Métodos de correlación para la validez de datos.	32
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE CALIDAD.	34
3.1. Campañas de aforo.	34
3.2. Procedimientos para la toma de muestras.	34
3.3. Toma manual.	35
3.4. Número de Muestras.	35

3.5. Determinación de parámetros químicos y físicos mediante el uso del equipo multiparamétrico.....	36
3.6. Determinación de parámetros químicos y físicos en laboratorio.....	36
3.7. Análisis de los resultados experimentales.....	37
3.7.1 Evaluación previa del estado de la subcuenca del río Sinincay.	39
3.7.2 Análisis de los datos de calidad iniciales para el modelo Aquatool.....	44
CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DEL SOFTWARE AQUATOOL PARA LA SIMULACIÓN DE CALIDAD DE AGUA.....	54
4.1. Modelo Matemático.....	54
4.2. Escenarios de Calidad.....	55
4.2.1 Escenario 1.	55
4.2.2 Escenario 2.	56
4.2.3 Esquema del modelo.....	58
4.3. Análisis de resultados y calibración.....	65
4.3.1 Calibración de resultados.....	66
4.3.2 Comparativa de los caudales.	68
4.3.3 Comparativa de concentraciones.....	70
4.4. Verificación de datos observados y simulados con la legislación ecuatoriana vigente.....	89
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	94
5.1. CONCLUSIONES.....	94
5.2. RECOMENDACIONES.....	98
Bibliografía.....	100
ANEXOS.....	102

INDÍCE DE FIGURAS.

Figura 1. Río Sinincay.....	4
Figura 2. Río Naranjillo.....	4
Figura 3. Río Chamana.....	4
Figura 4. Desechos plásticos Río Naranjillo.	5
Figura 5. Animales en descomposición Río Chamana.....	5
Figura 6. Descargas puntuales de efluentes domésticos Río Sinincay.	6
Figura 7. Presencia de descargas directas de alcantarillado.	6
Figura 8. Diagrama de flujo para el desarrollo del modelo de calidad de agua.	12
Figura 9. Zona de estudio.	14
Figura 10. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo.....	15
Figura 11. Medición de velocidades con el método del molinete.	16
Figura 12. Esquema de aforo de la sección transversal.....	16
Figura 13. Escala de pH.....	21
Figura 14. Tasa de reaireación (1/d) vs Velocidad y profundidad.	25
Figura 15. Número total de muestras.	35
Figura 16. Toma de datos con el equipo multiparamétrico.....	36
Figura 17. Gráfico de caja y bigotes de pH río Sinincay.....	39
Figura 18. Gráfico de caja y bigotes de pH Aportación Naranjillo y Chamana.....	40
Figura 19. Gráfico de caja y bigotes de conductividad río Sinincay.....	41
Figura 20. Gráfico de caja y bigotes de conductividad aportación Naranjillo y Chamana.	41
Figura 21. Gráfico de caja y bigotes de turbiedad río Sinincay.	42
Figura 22. Gráfico de caja Turbiedad aportación Naranjillo y Chamana.....	43
Figura 23. Gráfico de caja y bigotes datos simplificados aportación Naranjillo y Chamana.	43
Figura 24. Gráfico concentraciones de nitratos en cada campaña.....	44
Figura 25. Gráfico de caja y bigotes Nitratos río Sinincay.	45
Figura 26. Gráfico de caja y bigotes datos simplificados Nitratos río Sinincay.	45
Figura 27. Gráfico concentraciones de nitratos en cada campaña.....	46
Figura 28. Gráfico de caja nitratos aportaciones Naranjillo y Chamana.....	46
Figura 29. Gráfico de caja y bigotes simplificado Nitratos aportaciones Naranjillo y Chamana.	46
Figura 30. Gráfico concentraciones de DBO5 en cada campaña.	47
Figura 31. Gráfico de caja y bigotes DB05 río Sinincay.....	48
Figura 32. Gráfico de caja y bigotes simplificado DB05 río Sinincay.....	48
Figura 33. Gráfico concentraciones de DBO5 de las aportaciones Naranjillo y Chamana.	49
Figura 34. Gráfico de caja y bigotes DBO5 aportaciones Naranjillo y Chamana.....	49
Figura 35. Gráfico de caja DBO5 simplificado aportaciones Naranjillo y Chamana. ...	49
Figura 36. Gráfico concentraciones de DBO5 de las aportaciones Naranjillo y Chamana.	50
Figura 37.. Gráfico de caja y bigotes Amonio río Sinincay.	50

Figura 38. Gráfico concentraciones de Amonio de las aportaciones Naranjillo y Chamana.	51
Figura 39. Gráfico de cajas Amonio aportaciones Naranjillo y Chamana.	51
Figura 40. Gráfico concentraciones de oxígeno disuelto de las aportaciones Naranjillo y Chamana.	52
Figura 41. Gráfico de cajas Oxígeno disuelto río Sinincay.	52
Figura 42. Gráfico de caja Oxígeno disuelto aportaciones Naranjillo y Chamana.	53
Figura 43. Gráfico de caja Oxígeno disuelto aportaciones Naranjillo y Chamana.	53
Figura 44. Esquema de la sub cuenca del río Sinincay.	58
Figura 45. Conducciones del modelo.	60
Figura 46. Gráficas Caudal vs Velocidad de los tramos.	61
Figura 47. Gráficas Caudal vs Profundidad de los tramos del río Sinincay.	62
Figura 48. Datos de relaciones potenciales módulo Gescal.	63
Figura 49. Tasas de variación de calidad.	64
Figura 50. Comparación de caudales tramo 2.	69
Figura 51. Comparación de caudales tramo 3.	70
Figura 52. Simulación del OD tramo 2 – Escenario 1.	72
Figura 53. Simulación de OD tramo 3 – Escenario 1.	73
Figura 54. Simulación de OD tramo 2 – Escenario 2.	74
Figura 55. Simulación de OD tramo 3 – Escenario 2.	75
Figura 56. Simulación de DBO 5 tramo 2 – Escenario 1.	76
Figura 57. Simulación de DBO 5 tramo 3 – Escenario 1.	77
Figura 58. Simulación de DBO 5 tramo 2 – Escenario 2.	78
Figura 59. Simulación de DBO 5 tramo 3 – Escenario 2.	79
Figura 60. Simulación de Amonio tramo 2 – Escenario 1.	80
Figura 61. Simulación de Amonio tramo 3 – Escenario 1.	81
Figura 62. Simulación de Amonio tramo 2 – Escenario 2.	82
Figura 63. Simulación de Amonio tramo 3 – Escenario 2.	83
Figura 64. Simulación de Nitratos tramo 2 – Escenario 1.	84
Figura 65. Simulación de Nitratos tramo 3 – Escenario 1.	85
Figura 66. Simulación de Nitratos tramo 2 – Escenario 2.	86
Figura 67. Simulación de Nitratos tramo 3 – Escenario 2.	87

INDÍCE DE TABLAS.

Tabla 1. Formas de evacuación de aguas servidas	13
Tabla 2. Coordenadas de las estaciones de monitoreo.	15
Tabla 3. Métodos de referencia para la obtención de los parámetros.....	36
Tabla 4. Datos recogidos in situ por compañía.....	38
Tabla 5. Valores medios de concentraciones escenario 1 para los tramos del río Sinincay.	56
Tabla 6. Valores medios de concentraciones escenario 1 para la Aportación Naranjillo.	56
Tabla 7. Valores medios de concentraciones escenario 1 para la Aportación Chamana.	56
Tabla 8. Valores medios de concentraciones escenario 2 para los tramos del río Sinincay.	57
Tabla 9. Valores medios de concentraciones escenario 2 para la Aportación Naranjillo.	57
Tabla 10. Valores medios de concentraciones escenario 2 para la Aportación Chamana.	57
Tabla 11. Valores de caudales y velocidades en cada tramo del río Sinincay.....	61
Tabla 12. Coeficientes α_1 y β_1 tramos río Sinincay.....	62
Tabla 13. Valores de caudales y profundidades “H” en cada tramo del río Sinincay. ..	62
Tabla 14. Coeficientes α_2 y β_2 tramos río Sinincay.....	63
Tabla 15. Valores típicos de los parámetros utilizados en el modelo.....	67
Tabla 16. Constantes cinéticas para cada escenario.	68
Tabla 17. Correlación de datos para Caudal tramo 2.....	69
Tabla 18. Correlación de datos para Caudal tramo 3.....	70
Tabla 19. Correlación de datos para oxígeno disuelto tramo 2 - Escenario 1.	72
Tabla 20. Correlación de datos para oxígeno disuelto tramo 2 - Escenario 2.	73
Tabla 21. Correlación de datos para oxígeno disuelto tramo 2 - Escenario 2.	74
Tabla 22. Correlación de datos de oxígeno disuelto tramo 3 - Escenarios 2.....	75
Tabla 23. Correlación de datos para DBO 5 tramo 2 - Escenario 1.	76
Tabla 24. Correlación de datos DBO 5 tramo 3 - Escenario 1.	77
Tabla 25. Correlación de datos para DBO 5 tramo 2 - Escenario 2.	78
Tabla 26. Correlación de datos para DBO 5 tramo 3 - Escenario 2.	79
Tabla 27. Correlación de datos para Amonio tramo 2 - Escenario 1.....	80
Tabla 28. Correlación de datos para Amonio tramo 3 - Escenario 1.....	81
Tabla 29. Correlación de datos para Amonio tramo 2 - Escenario 2.....	82
Tabla 30. Correlación de datos para Amonio tramo 3 - Escenario 2.....	83
Tabla 31. Correlación de datos para Nitratos tramo 2 - Escenario 1.....	84
Tabla 32. Correlación de datos para Nitratos tramo 3 - Escenario 1.....	85
Tabla 33. Correlación de datos para Nitratos tramo 2 - Escenario 2.....	86
Tabla 34. Correlación de datos para Nitratos tramo 3 - Escenario 2.....	87
Tabla 35. Resumen de cumplimiento de criterios para la preservación de la vida acuática y silvestre - Escenario 1.....	89

Tabla 36. Resumen de cumplimiento de criterios para la preservación de la vida acuática y silvestre - Escenario 2..... 90

Tabla 37. Resumen de cumplimiento de concentraciones para consumo Humano - Escenario 1..... 91

Tabla 38. Resumen de cumplimiento de concentraciones para consumo Humano - Escenario 1..... 92

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.

En este capítulo se da a conocer la parte introductoria sobre las características generales de la zona de estudio y la motivación del proyecto donde se aborda las problemáticas más comunes presentes en la zona, así como sus posibles causas. Se mencionan algunos antecedentes de estudios realizados de forma nacional e internacional abordando la problemática establecida, también se plantean los objetivos del proyecto y la realización del trabajo investigativo aplicando una metodología experimental a través de un trabajo autónomo, estableciendo estaciones de control para el monitoreo de las características geométricas al igual que las variables de calidad relacionadas con la propuesta planteada.

1.1. Introducción.

La parroquia Sinincay está ubicada en Ecuador, provincia del Azuay en el cantón Cuenca, esta parroquia es reconocida debido a su labor artesanal de tejas y ladrillos, además de su ganadería y agricultura. El desarrollo de zona urbana de la parroquia genera ventajas como la mejora de infraestructura, transporte y servicios básicos, este último no ha sido implementado para todos los sectores cercanos a la zona urbana generando impactos medioambientales que son imperceptibles a la vista de la población, según Sánchez M.E. (2018) en su trabajo realizado sobre las “Vulnerabilidades Socioeconómicas en la zona 6” donde contempla a la parroquia Sinincay, esta cuenta con un problema común, el cual es la falta de la dotación de servicios básicos y la mala gestión de los mismos, generando así, que las quebradas y ríos se vean contaminados por las descargas de efluentes producto de actividades domésticas y ganaderas produciendo una afectación en la calidad de agua de los principales afluentes de la parroquia.

En el presente trabajo se aplica un modelo de calidad de agua “Aquatool” en el río Sinincay donde se realiza un trabajo autónomo levantando información de caudales por el método del molinete y la determinación de parámetros químicos de DBO, nitrógeno

amoniacal y nitratos mediante la toma de muestras, al igual que la obtención de los parámetros físicos de Turbiedad, pH, Oxígeno disuelto, temperatura y conductividad eléctrica mediante la utilización del multiparamétrico. La confiabilidad de los resultados del modelo de calidad de agua dependerá mucho de las variables de entrada como: variables físicas, químicas y biológicas, segmentación del río, sección del río, descargas puntuales y descargas difusas.

Cuando se habla de calidad de agua es de suma importancia determinar una serie de parámetros físico-químicos y bacteriológicos mediante técnicas estandarizadas, con el fin de conocer si el valor de los parámetros conseguidos se encuentra dentro de los criterios de calidad que establece la legislación ecuatoriana vigente (JESSICA KARINA CARVAJAL MEJÍA, 2019).

1.2. Justificación.

La Parroquia Sinincay está ubicada en la noreste del cantón Cuenca en la provincia del Azuay la cual cuenta con una extensión aproximada 24.66 km^2 representando el 0.8 % del territorio del cantón , esta parroquia debido a su posición geográfica cuenta con varios recursos naturales renovables como el agua, sin embargo estos se ven amenazados debido a la expansión de ciertos centros poblados que no fueron contemplados en la planificación de crecimiento urbano provocando una generación de efluentes de origen doméstico y ganadero, estos son descargados directamente sin ningún tipo de tratamiento previo, de acuerdo al estudio realizado por Sánchez M. E. (2018) el 55% de la población de la parroquia Sinincay no se encuentra conectada con la red de alcantarillado, ya que la misma es escasa, además que el 15% de la población descarga efluentes directamente a cuerpos de aguas colindantes. Debido a esto la calidad de agua se ve afectada sabiendo que la misma es aprovechada por el sector agrario y ganadero, generando impactos negativos como enfermedades en el ganado, generación de malos olores y cambio en la perspectiva visual del paisaje.

Dentro del plan de ordenamiento territorial de la parroquia Sinincay se definen 7 estrategias territoriales de carácter nacional el cual una de ellas es “Garantizar la sustentabilidad del patrimonio natural mediante el uso racional y responsable de los recursos naturales renovables y no renovables” (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial-Sinincay, 2015), sin embargo esto se ve afectado por la ampliación de la población de la parroquia debido a la falta del servicio básico de alcantarillado, esto ha generado que determinadas comunidades realicen descargas de efluentes a los ríos Sinincay (Figura 1), Naranjillo (Figura 2) y Chamana (Figura3), que son los tres principales ríos que pasan por esta parroquia.



*Figura 1. Río Sinincay.
Fuente: Elaboración Propia.*



*Figura 2. Río Naranjillo.
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 3. Río Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.*

Una de las afecciones encontradas en las aguas de los ríos de la parroquia Sinincay es la presencia de polímeros sintéticos (plásticos) los cuales son desechados en estos cuerpos

como se observa en la Figura 4. Estos sintéticos poseen una alta durabilidad y resistencia debido a su tasa de degradación lenta.



*Figura 4. Desechos plásticos Río Naranjillo.
Fuente: Elaboración propia.*

Estos ríos se ven contaminados por la presencia de animales muertos cuya descomposición generando malos olores, y vectores como presencia de moscas y afección a la calidad de agua por la presencia bacteriológica de los organismos en descomposición como se muestra en la Figura 5.



*Figura 5. Animales en descomposición Río Chamana.
Fuente: Elaboración propia.*

Otras causales por la que se ve afectado la calidad en los principales ríos de la parroquia es debido a que existen vertimientos puntuales sin ningún tipo de tratamiento, estos pueden ser de origen doméstico como se observa en la Figura 6, o a su vez descargas directas de redes de alcantarillado como se observa en la Figura 7.



Figura 6. Descargas puntuales de efluentes domésticos Río Sinincay.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 7. Presencia de descargas directas de alcantarillado.
Fuente: Elaboración propia.

El Acuerdo ministerial 097-A es la norma técnica ambiental revisada y actualizada la cual es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de estos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

Para nuestro estudio al ser agua utilizada para agricultura, ganadería y en ciertas ocasiones usado para consumo humano, la normativa mencionada presenta los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce y los criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y domestico que se deberán cumplir (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015).

Con todo lo mencionado anteriormente es necesario implementar el uso de nuevas herramientas para la planificación y desarrollo de estrategias de control de contaminación a los recursos hídricos en este caso el río Sinincay, una de estas herramientas son los modelos matemáticos, ya que estos son útiles para conocer el impacto de diversos vertimientos tomando en cuenta la capacidad de asimilación y características actuales de calidad, además que estos permiten la predicción de eventos y su importancia para la toma de decisiones.

1.3. Antecedentes.

Los modelos matemáticos han generado un impulso en la forma de evaluación de calidad de agua, estos permiten realizar estudios de impactos ambientales causados por vertimientos de aguas residuales mediante la aplicación de ecuaciones que permiten tener un entendimiento cuantitativo, tal es el caso de Luis Santiago Quiroz (2018) que a través de su investigación “ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SOBRE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL RÍO PORTOVIEJO, ECUADOR” donde evalúa la capacidad de autodepuración del río Portoviejo en el que determina que la concentración del oxígeno disuelto va disminuyendo a medida que avanza el cauce donde la corriente va reduciendo su capacidad de asimilar las cargas contaminantes y su dificultad de restablecer su calidad de forma natural.

Otros modelos matemáticos aplicados para la evaluación de calidad de agua es el modelo desarrollado por Streeter-Phelps (Bruno Tassin, 2015) cuya aplicación conjuntamente con el programa QUAL2K (Lorena Bracho Vargas, 2016), en el estudio desarrollado por Julio César Pazmiño (2018) de “Modelización de la calidad del agua del estero aguas claras, cantón Quevedo, Ecuador” donde realiza una investigación simulando el impacto de las descargas de aguas residuales tomando en cuenta la variabilidad de las concentraciones del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno llegando a concluir que el oxígeno disuelto este por debajo del límite permisible establecido en la normativa ecuatoriana (<80% de saturación), además que se determina que el modelo de Streeter-Phelps tiene un muy buen ajuste entre los valores simulados con los medidos, mientras que el modelo QUAL2K mostro un ajuste similar al observado en el modelo de Streeter-Phelps.

La implementación de softwares computacionales ha ayudado a reducir el tiempo cálculo en relación al proceso de cálculo manual tomando algunos parámetros de calidad como oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno, nitrógeno orgánico, amonio, nitratos y sólidos suspendidos. Uno de esas herramientas es la aplicación del software AQUATOOL (Abel Solera, 2015) aplicado por Israel (2017) para realizar un modelo de calidad en la microcuenca del río Tabacay simulando distintos escenarios de calidad las cuales se ajustan la serie de datos observados y simulados.

La aplicación de los modelos matemáticos ha tenido protagonismo en muchos países por la capacidad que se tiene para predecir y tomar decisiones que involucren al cuerpo de agua como es en el caso del río Magdalena en Colombia ya que se utiliza modelos matemáticos para simular los procesos de transporte y dispersión de contaminantes (Franklin Torres Bejarano, 2015). Otro caso aplicado es en la evaluación de calidad de agua del río Paraná de las Palmas en Argentina donde se realiza un estudio de calidad de agua para uso recreativo, prediciendo el aumento de cargas contaminantes en el río Paraná (De León Alicia, 2011). Como se ve los modelos matemáticos son herramientas útiles para la toma de decisiones, pero se debe tener en cuenta el entorno dentro del río y la veracidad de los datos observados para la precisión de lo que se va a modelar.

1.4. Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

- Implementar un modelo ambiental de calidad de agua ajustado a su estado natural influido por las actividades humanas de los ríos Sinincay, Naranjillo y Chamana, pertenecientes a la subcuenca del río Sinincay.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Realizar un diagnóstico previo, del estado de calidad de agua del río Sinincay y sus principales afluentes de la subcuenca del Sinincay mediante las variables de calidad mediante indicadores de turbiedad, conductividad eléctrica y pH.
- Aplicar el modelo matemático computacional AQUATOOL ajustado a la realidad que permita simular la evolución de los parámetros como demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, oxígeno disuelto y amonio.
- Revisar que los resultados simulados y observados cumplan de acuerdo a los criterios de calidad para la preservación de vida acuática y silvestre en aguas dulces y fuentes de agua para consumo humano y domestico establecidos en la normativa ecuatoriana vigente.

1.5. Metodología.

La subcuenca del río Sinincay al ser un sistema dinámico natural en el cual no se dispone de información para la modelación matemática de calidad de agua se procede a establecer estaciones de monitoreo en los ríos Sinincay, Naranjillo y Chamana (Figura 10). La metodología de trabajo que se utiliza en este estudio para la elaboración del modelo matemático de calidad de agua parte desde los procedimientos basados en toma de muestras de agua en distintos puntos de los ríos estudiados, observación de la zona de estudio y de las condiciones ambientales que ayudan a interpretar mejor los resultados del modelo ambiental, interpretación de los resultados de laboratorio de las variables de calidad a modelar, calibración de los datos del modelo y por último la simulación de escenarios en condiciones normales y en condiciones extremas de gestión de la subcuenca del río Sinincay. Todos estos puntos nos ayudan al correcto funcionamiento del modelo matemático en cada una de sus etapas.

- **Diagrama de flujo para el desarrollo del modelo de calidad de agua para el río Sinincay.**

Para el desarrollo de modelos de calidad de agua como en cualquier proyecto se puede establecer etapas con tiempo de finalización y resultados esperados. Los procesos que se siguen para la obtención del modelo matemático de calidad de agua se exponen en el diagrama de flujo de la Figura 8.

Como primer paso se define el problema central por el cual se está implementando un modelo de calidad, importancia y que efecto tiene el mismo dentro de la parroquia; esto permite seleccionar un subsistema hídrico para analizar. Con la zona de estudio establecida se definen los variables de calidad a modelar; se plantea procedimientos de obtención de datos in situ y acciones para la toma de muestras de agua en estaciones de

monitoreo seleccionadas para luego ser enviadas a laboratorio; interpretación de los resultados de laboratorio, sistematización de la información y calibración de los datos observados vs los simulados para poder dar confiabilidad al modelo de calidad. Por último, las simulaciones de los escenarios en condiciones extremas y condiciones normales llegando a tener conclusiones concretas y criterios ambientales que se tomen a consideración para la ayuda y protección de los cuerpos de agua afectados en la parroquia Sinincay.

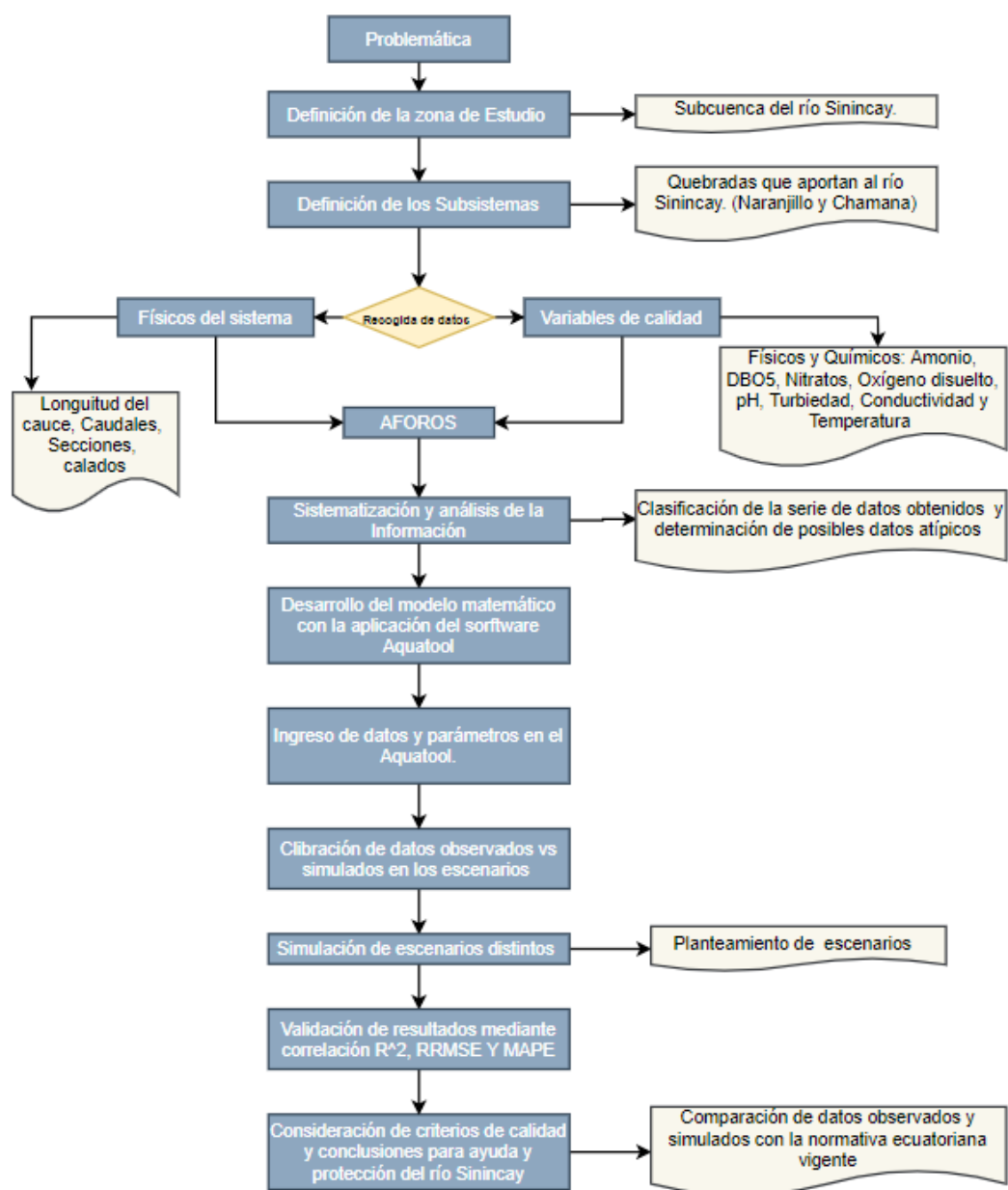


Figura 8. Diagrama de flujo para el desarrollo del modelo de calidad de agua.
Fuente: Elaboración propia.

1.5.1 Delimitación de la zona de estudio.

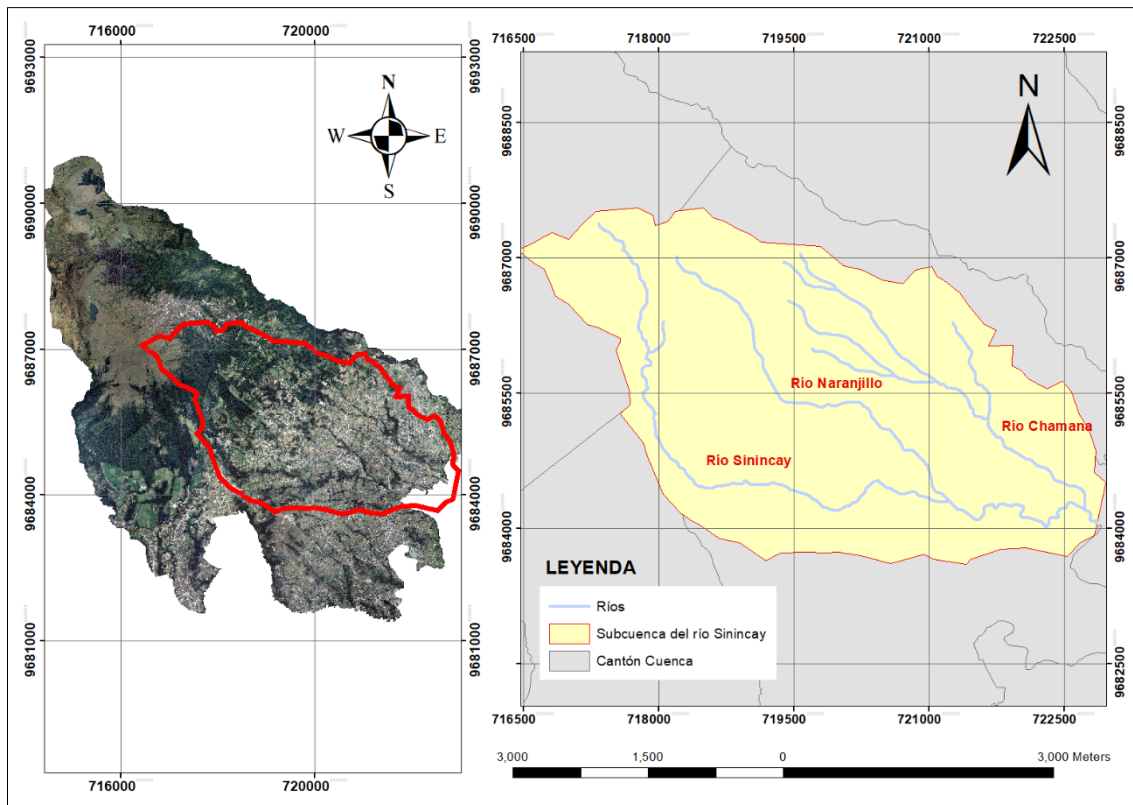
La subcuenca del río Sinincay está ubicada en la parroquia Sinincay, esta se encuentra ubicada al noreste del cantón Cuenca, en la Provincia del Azuay, en la parte sur del Ecuador, en esta superficie se sitúa el río Sinincay y sus principales afluentes en donde se realiza el estudio de calidad de agua. (Figura 9).

De acuerdo con el último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el 2010, la población registrada en la parroquia Sinincay fue de 15.859 habitantes con una tasa de crecimiento del 0.26% (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial-Sinincay, 2015). En cuanto al sistema de alcantarillado existe un déficit de acceso al mismo de 16 comunidades de las 38 identificadas en la parroquia. Representando un 55 % que no posee infraestructura para este servicio, el 24 % utiliza pozo séptico, y el 15% realiza descargas directas a los ríos, además utilizan otros sistemas para la evacuación de las aguas residuales como pozo ciego, letrinas u otros (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial-Sinincay, 2015), como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Formas de evacuación de aguas servidas

Fuente: PDYOT Sinincay 2014-2019.

Categorías	Censo 2010	
	Casos	%
Red pública de alcantarillado	1792	45
Pozo ciego	101	3
Pozo séptico	949	24
Con descarga directa al mar, río, lago o quebrada	591	15
Letrina	48	1
Otro		
Ninguno	507	13
Total	3988	100



*Figura 9. Zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia.*

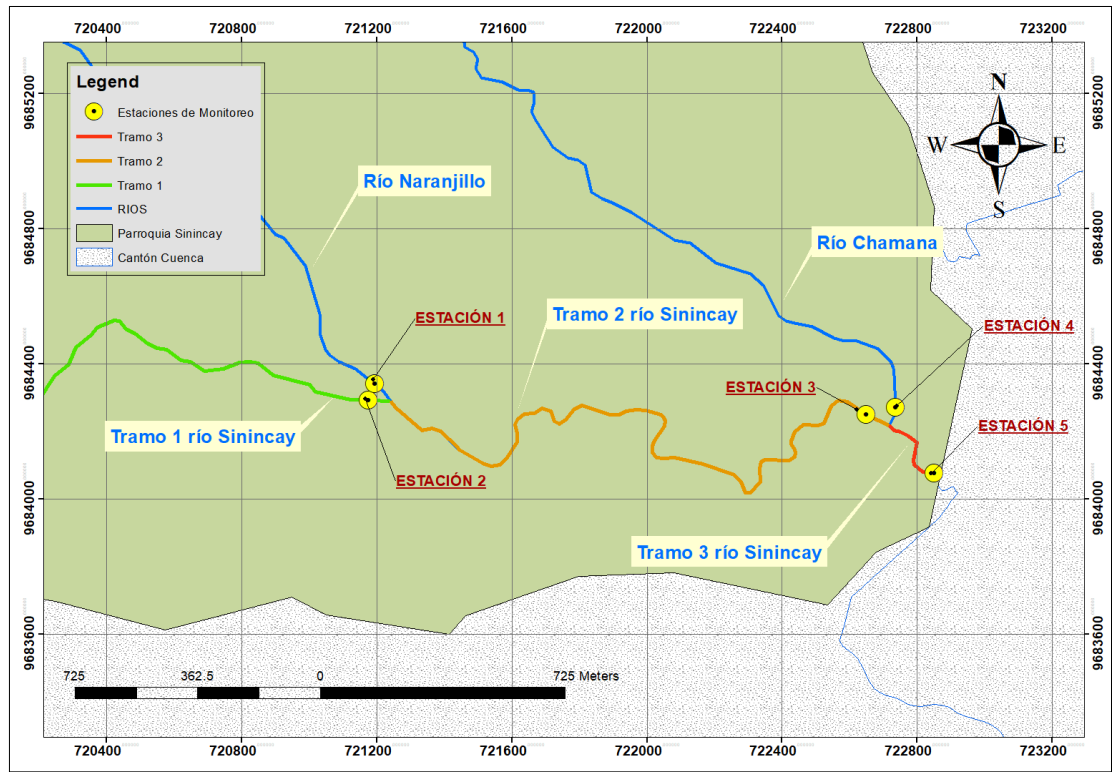
1.5.2 Determinación de estaciones de monitoreo.

La subcuenca del río Sinincay cuenta con una superficie aproximada de 16.1 km² cuyo cauce principal esta alimentado por el río Naranjillo y el río Chamana. El río Sinincay se divide en 3 tramos, el tramo 1 comprende únicamente el río Sinincay; el tramo 2 empieza desde la unión del río Sinincay con el río Naranjillo hasta la unión con el río Chamana mientras que el tramo tres empieza desde la unión del río Sinincay, Naranjillo y Chamana aguas abajo.

Se determinaron 5 puntos de estaciones de monitoreo los cuales son:

- Estación 1 está ubicada en el río Naranjillo,
- Estación 2 se encuentra en el tramo 1 del río Sinincay,
- Estación 3 está ubicada en la parte baja del tramo 2 del río Sinincay
- Estación 4 está ubicada en el río Chamana
- Estación 5 está ubicada dentro del tramo 3 del río Sinincay.

En la Figura 10 se pueden observar las estaciones de monitoreo establecidas.



*Figura 10. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo.
Fuente: Elaboración propia.*

En la Tabla 2, se presentan las coordenadas de las estaciones de monitoreo en donde se realizó la toma de muestras para determinar las variables de calidad en laboratorio y las campañas de aforo para medir los caudales:

*Tabla 2. Coordenadas de las estaciones de monitoreo.
Fuente: Elaboración propia.*

ESTACIÓN	CÓDIGO	COORDENADAS	
		N	E
RÍO NARANJILLO	M1-N	9684303,19	721190,691
RÍO SINICAY	M2-S	9684301,9	721189,69
RÍO SINICAY Y NARANJILLO	M3-SN	9684215,81	722707,45
RÍO CHAMANA	M4-CH	9684220,04	722726,04
RÍO SININCAY, NARANJILLO Y CHAMANA	M5-SNCH	9684198,24	722740,2

1.5.3 Determinación de caudales.

Uno de los métodos más usados, simples y con buena aproximación para medir áreas y velocidades en ríos o cuerpos de agua es por medio de dovelas. Este proceso consiste en seccionar o dividir en un determinado número la sección transversal del cauce en franjas verticales continuas; para luego proceder a registrar la velocidad usando un molinete mecánico con el cual se determina las velocidades midiendo a 0.6 de la profundidad de cada dovela. El promedio de las velocidades en cada una de las verticales es multiplicado por el área entre verticales, lo que da como resultado el caudal de esa franja vertical. La suma de los caudales a través de todas las franjas es el caudal total. En nuestro caso de estudio se desarrolló el aforo de acuerdo al siguiente esquema expuesto en la Figura 12, en donde se dividió el río Sinincay en cuñas o dovelas de 50 cm y para los ríos Naranjillo y Chamana que tienen un ancho inferior al río Sinincay en cuñas de 30cm, completando la toma de las velocidades y obtención de caudales siguiendo el procedimiento explicado anteriormente. (Chow, 1959)



Figura 11. Medición de velocidades con el método del molinete.
Fuente: Elaboración propia.

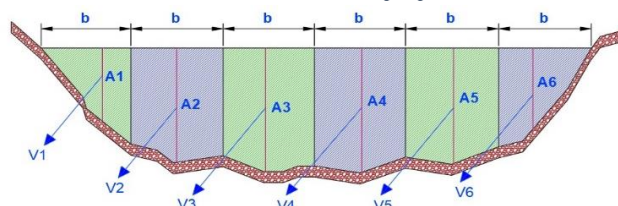


Figura 12. Esquema de aforo de la sección transversal.
Fuente: Elaboración propia.

1.5.4 Determinación de parámetro físicos y químicos.

Debido a que no se dispone de una serie de datos históricos de parámetros físicos y químicos que indiquen que tan pura o que tan contaminada está el agua es necesario medir ciertos parámetros, estos parámetros están clasificados en físicos y químicos que ocurren en toda la longitud o segmento de río.

Dentro de los parámetros físicos que tienen más incidencia directa en la perspectiva estética del agua son:

- Temperatura.
- Turbiedad.
- Color.
- Olor.

Mientras que los parámetros químicos más comunes en el diagnóstico de calidad son:

- Amonio.
- Conductividad.
- DBO5.
- Oxígeno Disuelto.
- pH.
- Nitratos.

De estos la turbiedad, pH, Conductividad son utilizados para realizar un diagnóstico previo que ayuda a tener una idea clara del estado de la calidad de agua en los ríos Sinincay, Naranjillo y Chamana, mientras que los parámetros a modelar son amonio, oxígeno disuelto, nitratos y DBO5.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.

En este capítulo se aprecian los fundamentos teóricos de los temas que permiten la solución a la problemática planteada para el desarrollo de la presente investigación, los subtemas que se abarcan en este capítulo están enfocados directamente al recurso agua, su importancia y contaminación, además de las ecuaciones de las variables de calidad, las constantes y coeficientes de reaeración y la geometría en los cursos naturales que se utilizan para la elaboración del modelo matemático, a esto se le suma los métodos de correlación de datos que se utiliza para dar confiabilidad al modelo matemático de calidad de agua.

2.1. Definición de calidad del agua.

Según (Ramírez, 2011) define que “La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua”

La contaminación de un cuerpo de agua simboliza la introducción directa o indirectamente de sustancias lo cual produce problemas como: afecciones en los organismos vivos, efectos sobre la salud de las personas, impedimento de actividades acuáticas e interferencia sobre acciones económicas como el riego, el abastecimiento de agua para la industria, etc. La descripción de la calidad del agua puede realizarse básicamente de dos formas: midiendo variables físicas (turbiedad, sólidos totales, etc.), químicas (pH, DBO, etc.) o biológicas (bioensayos) y también manejando un índice de calidad del agua (Rojas, 2009).

2.2. Importancia del recurso agua.

El agua es un componente fundamental para nuestra existencia, sin ella las personas no podrían existir. Toda población ha buscado sitio cerca de un recurso hídrico. Actualmente, la disponibilidad de agua en cantidad suficiente y de buena calidad es una de las principales necesidades de cualquier población (Rojas, 2009).

Por este motivo, la calidad del agua es la rama de la ingeniería que procura diagnosticar las dificultades relacionadas con la calidad del agua, relacionar los problemas de calidad con los diferentes usos deseables del agua y calificar que variables de calidad del agua se precisa controlar y los recursos disponibles para hacerlo (Rojas, 2009).

2.3. Contaminación del agua.

Toda población ha buscado asentamientos cerca de una fuente de agua, pero el incremento de la urbe ha creado la contaminación de la misma mediante descargas directas de aguas residuales (Ramírez, 2011).

La contaminación de origen urbano está atada a la producción de lixiviados producto de la descomposición de materia orgánica acumulada, los cuales se infiltran en la superficie y estimulan un aumento de la mineralización, aparición de olores desagradables, el cambio de la tonalidad del agua, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) entre otros procesos más. La contaminación ganadera es de carácter orgánico y bacteriológico, muy similar a la de origen urbano. La contaminación según Días Delgado (2005) menciona que, por la descarga de aguas residuales en cambio, puede agruparse en 3 tipos de contaminantes:

- **Contaminantes químicos:** nitrógeno en todas sus formas al igual que el fósforo y otros elementos.
- **Contaminantes físicos:** sólidos en suspensión.
- **Contaminantes microbiológicos:** los organismos patógenos presentes en el agua.

2.4. Parámetros físicos y químicos del agua.

2.4.1 Parámetros físicos.

- **Turbiedad.**

Es la capacidad que muestra el material suspendido en el agua para dificultar el paso de la luz. Se expresa en unidades de turbiedad (NTU). La turbiedad se produce debido al desgaste de la cuenca del río, la cual coopera sedimentos en los cauces; constituye un parámetro propiamente aplicado como un indicador de calidad de agua en fuentes de suministro desde el punto de vista estético (Montoya, 2011).

- **Temperatura.**

Es un parámetro físico importante debido a que el incremento o decremento del mismo llega a afectar la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas, este actúa como parámetro de diseño en la mayoría de los métodos de tratamiento del agua (coagulación, sedimentación, etc.).

- **Conductividad.**

Este es un indicador de sales disueltas en el agua, este parámetro mide la cantidad de iones especialmente de calcio (Ca), magnesio (Mg), Sodio (Na), fosforo (P), bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Se mide en micromhos/cm o Siemens/cm (Rojas, 2009).

- **pH.**

Es una expresión empleada para expresar la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. Origina cambios en la flora y fauna de los afluentes y conserva influencia sobre la toxicidad de compuestos como: amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, entre otros (Rojas, 2009).



Figura 13. Escala de pH.
Fuente: <https://concepto.de/ph/>

2.4.2 Parámetros químicos.

- **Nitrógeno Amoniacal.**

Este parámetro es un indicador de contaminación orgánica debido a la descomposición de materia orgánica, en ambientes como lagos y embalses se suelen presentar altas concentraciones de nitrógeno amoniacal (Rojas, 2009).

- **Nitratos.**

El nitrato es compuesto químico inorgánico que se deriva del nitrógeno, se encuentra en pequeñas concentraciones en aguas superficiales y subterráneas que puede estimular efectos nocivos si se consume en niveles elevados. El nitrato es inodoro e incoloro. Bajas concentraciones de nitrato son normales, pero altas cantidades pueden infectar nuestra fuente de agua potable (Rodríguez, 2013).

- **Demanda Bioquímica de oxígeno DBO.**

Este parámetro mide la cantidad de oxígeno necesario que necesitan los microorganismos bacteriológicos, hongos y protozoos, para poder degradar u oxidar la materia orgánica, el más conocido es la prueba de la DBO5 el cual trata de incubar una muestra de agua en laboratorio durante 5 días, los resultados de estos se expresan en (mg/l) (Rojas, 2009).

- **Oxígeno Disuelto.**

El oxígeno disuelto se establece como la concentración presente (mg/L) o como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura y presión explícita. Se conoce también como el porcentaje de saturación (waterboards, 2021).

2.5. Constantes y coeficientes de reacción.

Son denominadas constantes de reacción o constantes cinéticas a las variables cuantitativas que gobiernan el comportamiento de la calidad de agua en los cuerpos de agua superficiales.

Estas constantes k_d, k_r, k_a, k_N se las puede calcular por medio de las siguientes ecuaciones matemáticas.

- **Estimación de la tasa de degradación (k_d).**

Para determinar la constante cinética de desoxigenación por acción de la DBO en el cauce receptor se manejó la ecuación de Wright and McDonnell el cual se deriva de la siguiente expresión (Ramírez, 2011).

Eq. (1) se utiliza para relacionar estos procesos:

$$k_d = (10.3) * Q^{-0.49} \quad (1)$$

Donde:

Q: es el valor del caudal Expresado en pies³/seg.

Esta expresión es solo válida para caudales que están en un rango de (10-800) pies³/seg y para caudales menores a 10 pies³/seg, la constante k_d esta en el rango entre 2.5 y 3.5 d^{-1} (Ramírez, 2011).

- **Estimación de la tasa de reaireación (k_r).**

Para nuestro caso la constante de reaireación se lo puede calcular con las variables de longitud del cauce, velocidad, caudal y la DBO5 con la siguiente expresión según (Ramírez, 2011).

Se puede representar con la Eq. (2):

$$Kr = v \left(\frac{\ln \left[\frac{Q_1 * L_1}{Q_2 * L_2} \right]}{x_2 - x_1} \right) \quad (2)$$

Donde:

V: Velocidad de Flujo en *m/seg*

Q1: Caudal en *m³/seg* en la Estación 1.

Q2: Caudal en *m³/seg* en la Estación 2.

L1: DBO5 en mg/l en la estación 1.

L2: DBO5 en mg/l en la estación 2.

X1: Longitud en km estación 1.

X2: Longitud en km estación 2.

La tasa de reaireación puede ser determinada a través de las siguientes fórmulas empíricas establecidas por O'Connor-Dobbins, Owens-Gibbs y Churchill (Ramírez, 2011).

$$\text{O'Connor-Dobbins} \quad k_r = 3.93 \frac{U^{0.5}}{H^{1.5}} \quad (3)$$

$$\text{Churchill} \quad k_r = 5.03 \frac{U^{0.969}}{H^{1.672}} \quad (4)$$

$$\text{Owens-Gibbs} \quad k_r = 5.32 \frac{U^{0.67}}{H^{1.85}} \quad (5)$$

Donde:

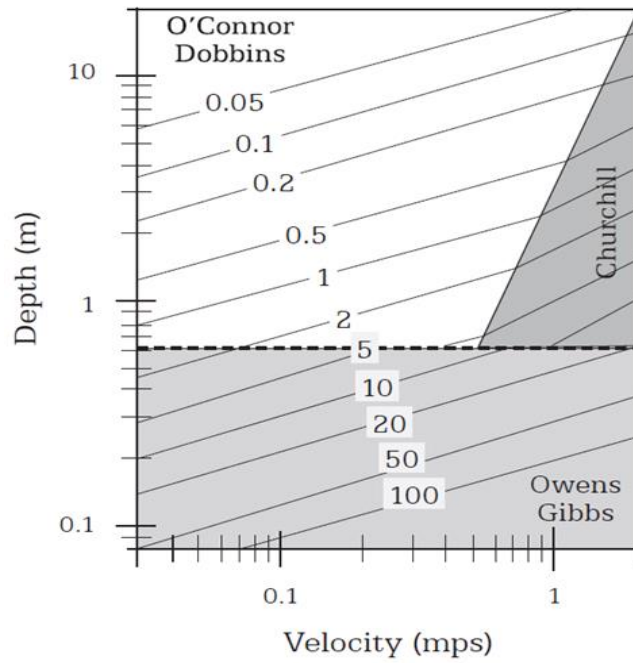
U: La velocidad en (m/seg).

H: La Profundidad en (m).

- Si $H < 0.61$ m usar Owens-Gibbs para velocidades moderadas y para sistemas superficiales.
- Si $H > 0.61$ m y $H > 3.45U^{2.5}$, usar O'Connor-Dobbins para velocidades moderadas y para elevadas profundidades.
- Se puede usar la fórmula de Churchill para los flujos muy rápidos como en ríos y montañas con velocidades que van de 0.7 a 1.5 m/s.

La tasa de reaeración también se puede determinar mediante la siguiente gráfica desarrollada por Covar 1976 (Ramírez, 2011).

En la Figura 18 se observa la gráfica desarrollada por Covar (1976) el cual utiliza conjuntamente las ecuaciones de Connor Dobbins, Churchill y Owens Gibbs para estimar las constantes de reaeración en función de la velocidad y profundidad véase en la Fig 14.



*Figura 14. Tasa de reaeración (1/d) vs Velocidad y profundidad.
Fuente: Covar et al, 1976.*

- **Estimación de la tasa de nitrificación (k_N).**

Según (Ramírez, 2011) “La expresión que tradicionalmente se ha utilizado para simular el proceso de nitrificación o sea la oxidación de las formas reducidas de nitrógeno es una reacción de primer orden” definida como:

$$\frac{d(L_N)}{dt} = k_N \cdot L_N \quad (6)$$

Donde:

k_N : Es la tasa global de nitrificación (1/d).

L_N : Nitrógeno oxidable total (DBON en mg/l).

2.6. Geometría Hidráulica en cursos naturales.

Para el modelo matemático es preciso utilizar ecuaciones que para cualquier curso de agua ya sea definido como un tramo de río, canal o cualquier tipo de conducción, teniendo en cuenta la hipótesis de unidimensionalidad de los ríos, las cuales relacionan los caudales con la velocidad, profundidad, y ancho de río, para esta investigación se hace uso del método desarrollado por Leopold y Maddock (1953) cuya investigación sobre la interrelaciones entre profundidad, ancho, velocidad, caudal, pendiente, rugosidad y carga de sedimento, es decir las principales variables que se involucran en los cursos de agua naturales, donde exponen una interpretación de relaciones causa - efecto los cuales han sido responsables de la modificación de los cauces denominadas ecuaciones potenciales en función del caudal.

$$u = a_1 Q^{\beta_1} \quad (7)$$

$$h = a_2 Q^{\beta_2} \quad (8)$$

$$b = a_3 Q^{\beta_3} \quad (9)$$

Donde:

u: Representa la velocidad en (m/seg).

Q: Caudal que circula en (m³/seg).

h: Es el calado en (m).

b: Es el ancho del río (m).

$\alpha_1 B_1, \alpha_2 B_2, \alpha_3 B_3$: Son parámetros que se establecen de forma empírica.

2.7. Constituyentes.

Como se mencionó previamente las constituyentes que se modela son la materia orgánica carbonosa, oxígeno disuelto, amonio, nitratos, las cuales son más comunes en aguas superficiales.

- **Amonio.**

Las operaciones apreciadas sobre el amonio han sido el engrandecimiento de concentración por la amonificación del nitrógeno orgánico y la baja de la misma por la nitrificación. La nitrificación es estimada en su totalidad envolviendo el paso de amonio a nitritos y de estos a nitratos (Abel Solera, 2015).

$$\Sigma w_i = +K_{Noa}\theta_{Knoa}^{T-20}N_o - \left(K_{Nai}\theta_{nai}^{T-20} \frac{O}{O + K_{\frac{n1}{2}}} \right) N_a + -r_{na}F_nK'_gA \quad (10)$$

Donde:

Na: es la concentración de amonio (NH₄) en el río (mgl-1)

KNai: es la contante de nitrificación de paso a nitritos (dia-1)

θnai: es la corrección por temperatura de la constante de nitrificación

Kn1/2: es la constante de semisaturacion del nitrógeno (mhl-1)

O: es la concentración de oxígeno disuelto.

F_n: simboliza el factor de preferencia por el amonio frente a los nitratos.

r_{na}: es el coeficiente estequiométrico (mgN/mgA)

K'_g: es la variable de crecimiento de fitoplancton asumiendo el factor corrector por temperatura, restricción de nutrientes y atenuación de la luz (dia-1).

A: es la concentración de clorofila-a (mgl-1).

- **Nitritos y Nitratos.**

Los nitratos se crean conjuntamente debido a la acción con los que los primeros se oxidan a la forma más imperceptible. En el proceso de modelación de los nitratos se da importancia y jerarquía a el efecto de la ampliación de concentración por la metamorfosis de amonio y la rebaja de los mismos por posibles instrucciones de desnitrificación y desarrollo del fitoplancton (Abel Solera, 2015).

$$\Sigma W_i = \left(K_{Nai} \theta_{nai}^{T-20} \frac{O}{O + K_{nai1/2}} \right) N_a - \left(K_{no3} \theta_{no3}^{T-20} \frac{\frac{K_{no31}}{2}}{O + \frac{K_{no31}}{2}} \right) N_{o3} - r_{na}(1 - F_n)K'_g * A \quad (11)$$

Donde:

No3: es la aglomeración de nitratos (mg/l -N).

Kno3: simboliza la constante de desnitrificación (día-1).

θ no3: es el factor de corrección de temperatura para la variable anterior.

KNo31/2: simboliza a la constante de semisaturación para tener en cuenta que la desnitrificación sólo se origina en momentos de anoxia.

- **DBO5 y Oxígeno disuelto.**

La modelación del oxígeno disuelto en su carácter básico personifica que se tienen en cuenta la DBO5 y el oxígeno disuelto. Los métodos preciados en la opción de modelación radical en cuanto a oxígeno disuelto (OD) y materia orgánica carbonosa (MOC) se refiere.

Para la modelación de la MOC se tiene en balance la degradación por microorganismos aeróbicos heterótrofos y la sedimentación de la parte particulada (Paredes, 2007).

$$\Sigma W_i = -K_d \theta_{O+K_{d1/2}}^{T-20} \frac{O}{O + K_{d1/2}} L - \frac{VS_L}{h} L \quad (12)$$

Donde:

L: es la concentración de MOC o DBO en el río (M/V).

Kd: es la constante de degradación (T-1).

θ_d : es la constante por corrección de la temperatura de la constante Kd.

VSL: es la velocidad de sedimentación (mdía-1).

H: es la altura de la masa de agua; T es la temperatura de la masa de agua.

O: es la concentración de oxígeno disuelto en el río (mg/l-1).

Kd1/2: es la constante de semisaturación para tener en cuenta el descenso de la degradación de la materia orgánica en condiciones anóxicas.

- **Oxígeno Disuelto.**

Para la modelación del oxígeno disuelto se consideran el consumo de oxígeno disuelto en el proceso de degradación de materia orgánica carbonosa (Paredes, 2007).

$$\Sigma W_i = +K_a \theta_{ka}^{T-20} (O_{sat} - O) - K_d \theta_d^{T-20} L - DOS \quad (13)$$

Donde:

O_{sat}: es la concentración de saturación de oxígeno disuelto (mg/l-1).

Ka: es la constante de reaireación (día-1).

θka : es el factor de corrección por temperatura.

La Saturación del oxígeno disuelto (O_{sat}): se calcula en función de la temperatura. El factor de corrección se tiene un valor por defecto.

- **Influencia de la temperatura.**

La velocidad de las reacciones que se discurren en el modelo aumenta con la temperatura, según la ecuación de Arrhenius (Abel Solera, 2015).

$$K(T) = K(20) * \theta^{T-20} \quad (14)$$

Donde:

K(T): es el calor constante de la temperatura T.

K (20): es el valor de la constante a 20°C y θ es el factor de corrección de temperatura y depende del proceso.

- **Balance de masas para la modelación de calidad.**

Teniendo en consideración todos las características y aspectos de la zona de estudio se puede constatar el modelo matemático que se debe emplear para determinar la calidad del recurso hídrico, esto se obtiene con la ecuación de balance de materia en los sistemas naturales.

El centro de cualquier modelo de calidad de agua son los balances de materia. Los balances se emplean a cada uno de los parámetros que se van a analizar, los mismos que pueden ser contaminantes químicos, físicos o biológicos según cual sea el motivo o problema de estudio.

El balance de masas no es más que una expresión matemática que se basa en la conservación de la materia o mejor dicho es el conteo de entradas, salidas, reacciones y acumulaciones de materia en un determinado volumen de control, cumpliéndose el principio de conservación. (Israel, 2017)

La ecuación válida para el balance de la materia es la variación de la concentración de la contaminación o contaminante al cabo de un tiempo en un volumen de control está dada por:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + S_k \quad (16)$$

Donde:

C: concentración del contaminante (mg/l)

t: tiempo (seg).

U_x, U_y, U_z: componentes del vector real del agua; velocidad longitudinal y vertical (m/s).

E_x, E_y, E_z: coeficiente de dispersión longitudinal, transversal y vertical (m²/seg).

2.8. Métodos de correlación para la validez de datos.

- **Coeficiente de correlación (R^2).**

Medida que muestra el grado de ajuste a una recta entre los datos que fueron simulados con respecto a los datos observados, se puede obtener un valor óptimo de 1, el mismo que indica la existencia de una tendencia perfecta entre los datos.

$$R^2 = \frac{\text{cov}(O_i - p_i)^2}{\sigma^2_O * \sigma^2_P} \quad (17)$$

Donde:

$\text{cov}(O_i - p_i)^2$: covarianza entre los datos observados y calculados.

σ^2_O : varianza de los datos observados.

σ^2_P : varianza de los datos calculados.

- **Error medio relativo cuadrado (RRMSE).**

Este método de correlación ayuda a realizar una comparación en el ajuste entre los datos simulados y observados del modelo, el valor óptimo sería de 0, este valor indicaría que no existe tipo de errores y la relación entre los datos es perfecta.

$$RRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - p_i)^2}{n}} * \frac{1}{\bar{O}} \quad (18)$$

Donde:

O_i : datos observados.

p_i : datos calculados.

n : número de datos.

\bar{O} : media aritmética de los datos observados.

- **Error Porcentual Absoluto Medio.**

El error porcentual es el valor absoluto de la diferencia entre el valor o los datos observados y el valor o dato simulado dividido por los datos simulados y multiplicando por 100%.

$$Ep = \left| \frac{v_o - v_m}{v_o} \right| \quad (19)$$

$$MAPE = \left| \frac{\sum Ep}{no} \right| \quad (20)$$

Donde:

v_o : datos observados.

v_m : datos calculados.

Ep : error porcentual.

no : numero de datos observados.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE CALIDAD.

En este capítulo se explica el proceso metodológico experimental que se desarrolló en el transcurso del trabajo autónomo para la toma de muestras, determinación de caudales y los parámetros de calidad de agua, también se realizó un análisis estadístico de las variables de calidad para describir los datos en serie y determinar la naturaleza dinámica de los datos obtenidos, este procedimiento se aplica para poder dar un diagnóstico previo en base a los datos de turbiedad, pH, conductividad eléctrica, de la misma manera se realiza otro análisis estadístico para las variables de amonio, DBO5, oxígeno disuelto y nitratos donde se determina los valores atípicos para poder establecer posibles escenarios.

3.1. Campañas de aforo.

Debido a que no hay registros históricos de datos se estableció realizar campañas de monitoreo donde se realizó el levantamiento de información hidráulica de caudales, velocidades, secciones y pendientes y a la vez la recolección muestras de agua para determinar los parámetros físicos y químicos.

Estas campañas se las realizaron en intervalos de tiempo de 15 días durante 3 meses, con el fin de obtener datos reales y sus variaciones a lo largo del tiempo dando un total 6 campañas.

3.2. Procedimientos para la toma de muestras.

Es fundamental atestiguar la integridad de la muestra desde su toma hasta la elaboración del informe. Ello implica hacer una relación del proceso de posesión y manipulación de la muestra desde el instante en que fue tomada hasta el de su análisis.

3.3. Toma manual.

Cuando se habla de la toma de muestra manual, se supone que no se maneja equipo alguno para este procedimiento, pero puede resultar excesivamente costoso en tiempo y capital para programas de toma frecuente a gran escala. En nuestro caso no es un estudio a gran escala por eso se ha optado por escoger la toma manual como método para nuestro estudio. Se tomaron muestras de agua en botellas ámbar de 500 ml llenándolas en su totalidad y sin que quede aire en su interior, sellándolas y almacenándolas en un recipiente refrigerado entre 4 y 8 °C para preservar la muestra hasta su llegada al laboratorio.

3.4. Número de Muestras.

Existen varios métodos que se utilizan para determinar el número de muestras, para ello es necesario tener en cuenta las variaciones aleatorias, procedimientos analíticos, o la presencia de ciertos factores externos que puede ser insuficiente para llegar al nivel de certeza.

Según APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1992) “Para la mayoría de los análisis físicos y químicos se necesitan muestras de 2 a 1”.

Por lo cual se toman 2 muestras por estación, la primera muestra sirvió para determinar parámetros químicos en laboratorio, mientras que la segunda muestra fue utilizada para realizar el ensayo de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).



*Figura 15. Número total de muestras.
Fuente: Elaboración propia.*

3.5. Determinación de parámetros químicos y físicos mediante el uso del equipo multiparamétrico.

En campo se determinaron algunos de los parámetros físicos y químicos los cuales son: temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. Este proceso se lo realizó con la ayuda del multiparamétrico, equipo el cual funciona por medio de sondas que al ser introducidas al agua actúan por medio de sensores digitales resistentes al agua, todo este proceso se fue ejecutando en cada campaña de monitoreo.



*Figura 16. Toma de datos con el equipo multiparamétrico.
Fuente: Elaboración propia.*

3.6. Determinación de parámetros químicos y físicos en laboratorio.

Para los parámetros que no se pudieron obtener en campo se procedió a llevar las muestras de 500 ml a laboratorio para determinar los parámetros químicos mediante análisis estandarizados de turbiedad, nitratos, amonio y DBO5.

Para la obtención de los valores de estos parámetros se realizaron los procedimientos mencionados en la Tabla 3.

*Tabla 3. Métodos de referencia para la obtención de los parámetros.
Fuente: Elaboración propia.*

Parámetro	Procedimiento
Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometría.
Amonio	Método del Salicilato 10031 Hach.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal: D. Técnica Respirimétrica.
Turbidez	Método 2130-Literal: B.

3.7. Análisis de los resultados experimentales.

En este apartado se realiza un análisis estadístico con la información de variables de calidad obtenida de cada campaña de monitoreo (Tabla 4), cabe recalcar que solo se realizó el análisis con datos provenientes de estas campañas ya que en la subcuenca del río Sinincay no se tiene registros históricos de concentraciones de amonio, nitratos, DBO5, oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad y turbidez; este análisis se lo realiza con la finalidad de identificar la presencia de valores atípicos causados por algún evento extremo u algún tipo de alteración que no se pudo observar o verificar en el medio, para a partir de este análisis hacer una clasificación separando los valores atípicos obtenidos y poder hacer un modelo matemático con cargas contaminantes resumidas, es decir utilizar datos que sigan una misma distribución a la que comúnmente estarían los cuerpos de agua estudiados. Esta distribución se estima mediante una medida de tendencia central y la variabilidad de los datos. Con este análisis se tiene una perspectiva clara de las tendencias de las variables de calidad y además poder dar previas inferencias de cuál es el estado de los cuerpos de agua.

Tabla 4. Datos recogidos in situ por campaña.

Fuente: Elaboración propia.

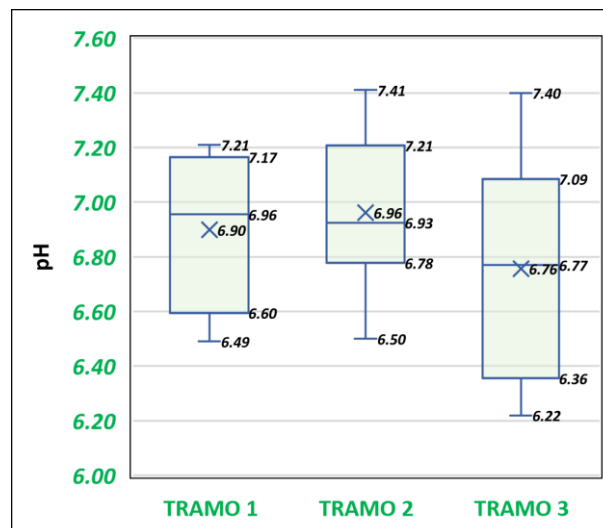
Monitoreo	Fecha	Muestra	Código	pH	Temperatura	Conductividad	Oxígeno disuelto	Turbidez	Nitratos (NO3) Repetición		Amonio (NH4)	DBO5	Caudal
				U	°C	µs/cm	mg/L	NTU	mg/L		mg/L	mg/L	m3/s
Campaña 1	26-ene-22	M1	M1-N	6.92	14,19	178.9	7.11	9.62	0	0.2	4.34	6.5	0.022
	26-ene-22	M2	M2-S	6.88	14.39	79	7.51	13.1	1.9	1.5	4.76	6	0.191
	26-ene-22	M3	M3-SN	6.5	15.77	112.2	7.05	7.6	0.9	1.4	4.55	7.5	0.213
	26-ene-22	M4	M4-CH	6.67	13.61	100.8	7.89	17.7	0	3.8	6.46	10	0.172
	26-ene-22	M5	M5-SNCH	6.76	13.35	109.6	7.17	9.59	0.9	0.4	5.29	8	0.379
Campaña 2	10-feb-22	M1	M1-N	6.72	16.4	159.6	7.44	313	0	0	4.76	15	0.033
	10-feb-22	M2	M2-S	6.49	16.9	94.8	7.3	38	0	0	4.97	26	0.165
	10-feb-22	M3	M3-SN	6.94	16.8	122.7	6.93	10.7	1.4	0.7	6.35	26.3	0.231
	10-feb-22	M4	M4-CH	6.64	16.3	107.4	7.43	4.73	1.6	2.2	4.55	25	0.19
	10-feb-22	M5	M5-SNCH	6.4	17	125.1	7.01	8.7	1.4	1.2	4.97	18	0.481
Campaña 3	24-feb-22	M1	M1-N	6.71	14.3	107.5	7.51	6.08	1.5	1.5	5.71	142	0.11
	24-feb-22	M2	M2-S	6.63	14.2	98.5	7.55	14	21.9	24.3	6.67	158	0.199
	24-feb-22	M3	M3-SN	6.87	16.4	146	7.16	15.3	3.7	1	7.2	342	0.231
	24-feb-22	M4	M4-CH	6.32	18	124.1	7.63	6.5	1.6	0.9	3.91	148	0.223
	24-feb-22	M5	M5-SNCH	6.98	16.1	142.6	7.35	14.9	0	0	8.79	416	0.48
Campaña 4	10-mar-22	M1	M1-N	7.21	13.6	95.1	7.8	6.94	2	3	8.15	26	0.17
	10-mar-22	M2	M2-S	7.03	13.6	86.7	7.84	29.7	0	0	5.82	18	0.28
	10-mar-22	M3	M3-SN	6.91	19.6	130.3	7.23	30.7	0	0	8.58	74	0.299
	10-mar-22	M4	M4-CH	6.69	17.5	103.8	7.38	7.56	1.8	2.3	6.99	14	0.325
	10-mar-22	M5	M5-SNCH	6.78	16.8	116	7.24	21.2	0	1.4	6.46	76	0.439
Campaña 5	24-mar-22	M1	M1-N	7.45	14.9	92	7.46	9.31	14.5	16.6	5.4	0	0.126
	24-mar-22	M2	M2-S	7.21	14.8	87.6	7.55	19.9	0	0	5.61	0	0.269
	24-mar-22	M3	M3-SN	7.41	16.8	131.7	7.09	25.3	0	0	5.82	82	0.271
	24-mar-22	M4	M4-CH	7.54	16.9	110.8	7.58	9.94	2.5	1.2	2.96	0	0.165
	24-mar-22	M5	M5-SNCH	7.4	17	132.6	7.13	19.4	0	0	6.57	58	0.553
Campaña 6	7-abr-22	M1	M1-N	7.42	14	91.1	7.55	8.21	0.9	1.8	4.97	34	0.131
	7-abr-22	M2	M2-S	7.15	14	71.1	7.56	39.4	0	0	5.29	45	0.244
	7-abr-22	M3	M3-SN	7.14	16.4	116.9	7.1	37.9	0	0	6.35	70	0.295
	7-abr-22	M4	M4-CH	7.16	14.6	116.5	7.5	9.19	2.3	2.5	5.29	0	0.211
	7-abr-22	M5	M5-SNCH	6.22	14.8	113.5	7.22	28.2	0	0	6.67	82	0.602

3.7.1 Evaluación previa del estado de la subcuenca del río Sinincay.

Con la serie de datos obtenidos de las campañas y de los resultados de laboratorio se realizó un diagnóstico tomando únicamente las variables de turbidez, pH, temperatura y conductividad ya que el software AQUATOOL no modela estas variables; a partir de estos datos se realiza un análisis estadístico el cual permite tener una idea general de la naturaleza dinámica de los datos, determinando en forma general cual es la calidad del agua en el que se encuentra los ríos Sinincay, Naranjillo y Chamana.

- **Análisis de pH en los tramos del río Sinincay.**

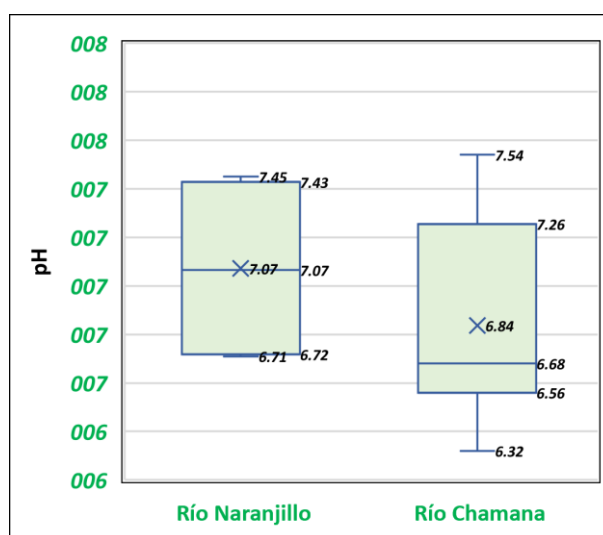
De acuerdo a lo medido en campo se pudo determinar los valores de pH en cada una de las estaciones de muestreo como se puede observar en el gráfico de cajas y bigotes de la Figura 17 correspondiente al período de análisis; donde se ve que la media del pH para cada uno de los tramos es de 6.90 para el tramo 1, 6.96 para el tramo 2 y 6.76 para el tramo 3, dando como resultado una media global de 6.87 que de acuerdo a la escala de pH está en un rango neutro, además, que el coeficiente de variación del mismo es de 4.84 % que de acuerdo a la literatura un coeficiente de variación que se encuentra entre 0-30 % esto indica que los datos son poco variables (Delfa, 2007).



*Figura 17. Gráfico de caja y bigotes de pH río Sinincay.
Fuente: Elaboración Propia.*

- **Análisis de pH en las aportaciones Naranjillo y Chamana.**

En la Figura 18 se tiene un análisis de acuerdo a la serie de datos obtenidos en las estaciones ubicadas en ríos Naranjillo y Chamana correspondiente al pH, se observa que la media es de 7.07 y 6.84, que de acuerdo a la escala de pH el agua para ambas aportaciones estaría en un rango neutro; sus coeficientes de variación están entre 4.73% para el río Naranjillo y de 6.38% en el río Chamana indicando que los datos son poco variables.



*Figura 18. Gráfico de caja y bigotes de pH Aportación Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.*

- **Análisis de conductividad en los tramos del río Sinincay.**

El análisis con la serie de datos de conductividad eléctrica para los tramos del río Sinincay muestran valores medios entre (86.28, 126.63, 123.23) $\mu\text{s}/\text{cm}$ respectivamente se puede observar que en el tramo 2 y tramo 3 hay un incremento de la conductividad, esto se da debido a la influencia directa de las aportaciones Naranjillo y Chamana, los coeficientes de variación son de 11.67 % en el tramo 1, mientras que en el tramo 2 y 3 los coeficientes de variación son de 9.55% y 10.25% mostrando poca variabilidad de los datos, Fig. 19.

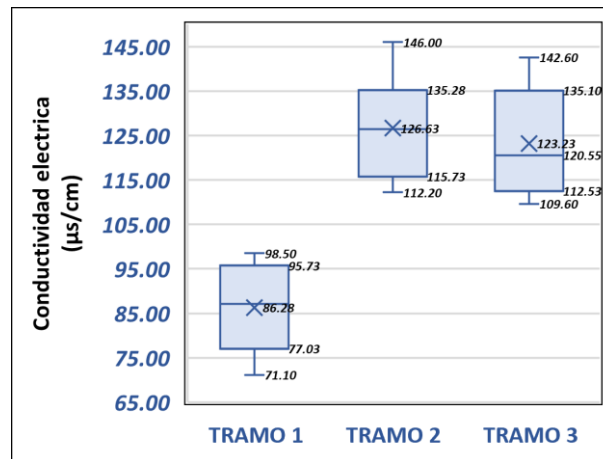


Figura 19. Gráfico de caja y bigotes de conductividad río Sinincay.
Fuente: Elaboración Propia.

- Análisis Conductividad eléctrica en las aportaciones Naranjillo y Chamana.**

Como se puede observar los valores de conductividad de la aportación del río Naranjillo es muy variable ya que se registraron valores que van desde 91.10 $\mu\text{s/cm}$ a 178.9 $\mu\text{s/cm}$ con una media de 120.7 $\mu\text{s/cm}$ debido a la presencia de una alta concentración de sales disueltas en el cuerpo lo que implica el incremento de conductividad eléctrica en el tramo 2 del río Sinincay y su coeficiente de variación es de 30.02% demostrando poca variabilidad de los datos, mientras que en la aportación Chamana los valores de conductividad están entre 100.8 $\mu\text{s/cm}$ y 124.10 $\mu\text{s/cm}$ con una media de 110.57 $\mu\text{s/cm}$, esto implica una concentración de sales no muy variables ya que su coeficiente de variación es de 7.77% a diferencia de la aportación Naranjillo, ver Figura 20.

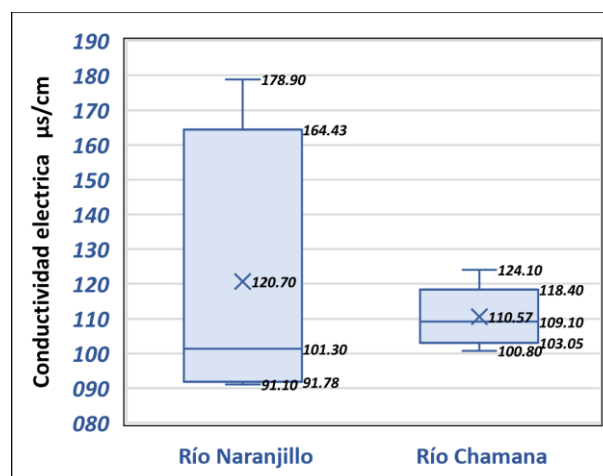
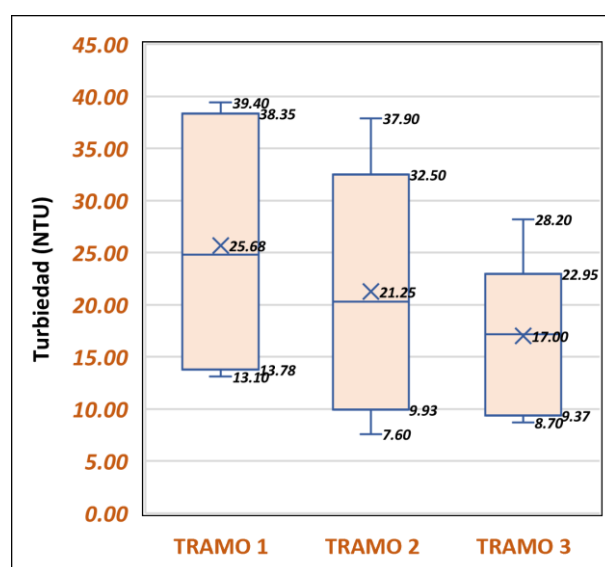


Figura 20. Gráfico de caja y bigotes de conductividad aportación Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.

- **Análisis de Turbiedad para los tramos del río Sinincay**

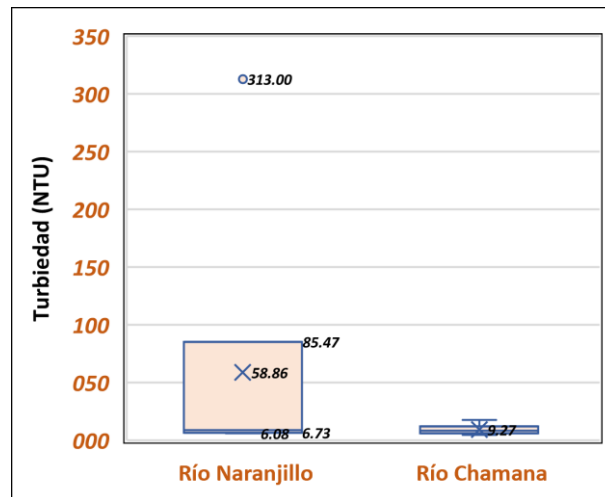
En la Figura 21 se presentan los valores de las medias y sus valores máximos y mínimos registrados de Turbiedad en cada uno de los tramos del río Sinincay, se muestra que los valores de Turbiedad están en una media de 25.68, 21.25, 17.00 NTU respectivamente, los porcentajes del coeficiente de variación es de 45.55% en el tramo1, 56.31% en el tramo 2 y 43.79% en el tramo 3, esto indica que los datos obtenidos de turbiedad varían medianamente, esta variación se debe propiamente a características climatológicas propias de la subcuenca.



*Figura 21. Gráfico de caja y bigotes de turbiedad río Sinincay.
Fuente: Elaboración Propia.*

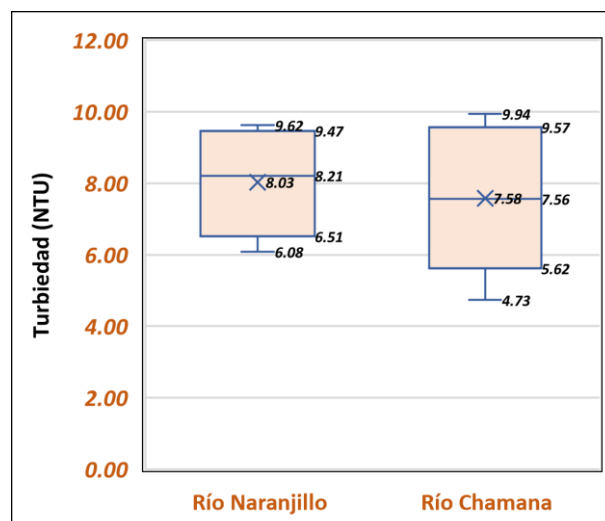
- **Análisis de turbiedad para las aportaciones Naranjillo y Chamana.**

Como se observa los valores de las medias de Turbiedad en cada aportación es de 58.8 y 9.27 NTU respectivamente, como se observa en la Figura 22 se presenta con datos atípicos en el río Naranjillo que afecta a la media esto se evidencia en su coeficiente de variación del río Naranjillo con 58.86%, y para el río Chamana el coeficiente es de 48.90%.



*Figura 22. Gráfico de caja Turbiedad aportación Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.*

Para tener una perspectiva clara de los valores reales de turbiedad en estas aportaciones se procedió a realizar un análisis simplificando los valores atípicos registrados en la primera campaña, como se observa en la Figura 23 donde los datos tienen una mejor agrupación por lo que los coeficientes de variación son 18.9% con una media de 8.03 NTU para la Aportación Naranjillo y un coeficiente de 27.54% con una media de 7.58 NTU para la aportación Chamana.



*Figura 23. Gráfico de caja y bigotes datos simplificados aportación Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.*

3.7.2 Análisis de los datos de calidad iniciales para el modelo Aquatool.

El modelo matemático computacional que realiza el programa AQUATOOL toma en consideración las variables de calidad: nitratos, amonio, DBO5 y oxígeno disuelto por lo cual se realiza un análisis estadístico donde se toma como referencia la tendencia central de los datos con el fin de establecer o determinar valores atípicos para su respectiva valoración en diversos escenarios.

- **Análisis de nitratos en los tramos del río Sinincay.**

De acuerdo al análisis de la serie de datos obtenidos se evidencia, que en el tramo 1 hay una alta concentración de nitratos además de tener valores atípicos que afecta la media de los datos, para que el modelo matemático se asemeje a las condiciones de concentraciones normales se realizó una simplificación de los datos atípicos en el tramo 1 (Figura 25), donde no se toma en cuenta los valores atípicos de nitratos registrados en la campaña 3 (Figura 24), como se ve en la Figura 26 la distribución de los datos es mucho más compacta cuya media en cada uno de sus tramos son de 0.34 mg/L, 0.44 mg/L, 0.53 mg/L respectivamente, donde el coeficiente de variación entre sus medias es de 23.5%, esto implica que sus datos no se encuentran tan variados.

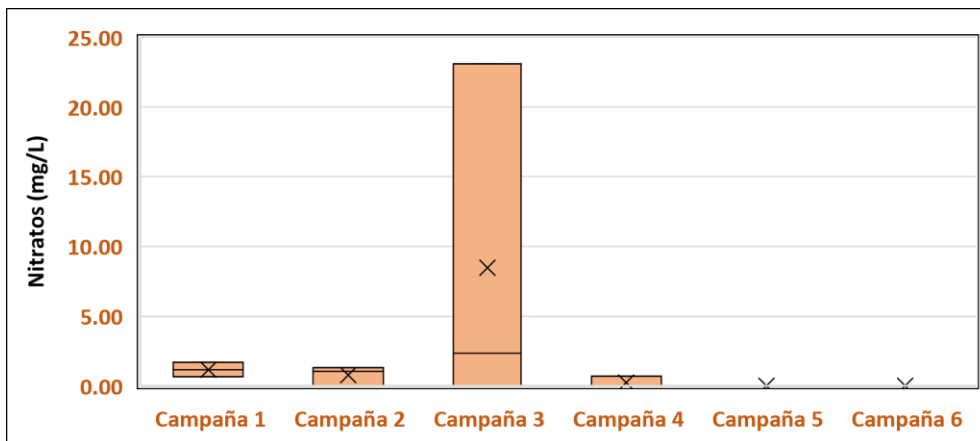


Figura 24. Gráfico concentraciones de nitratos en cada campaña.

Fuente: Elaboración Propia.

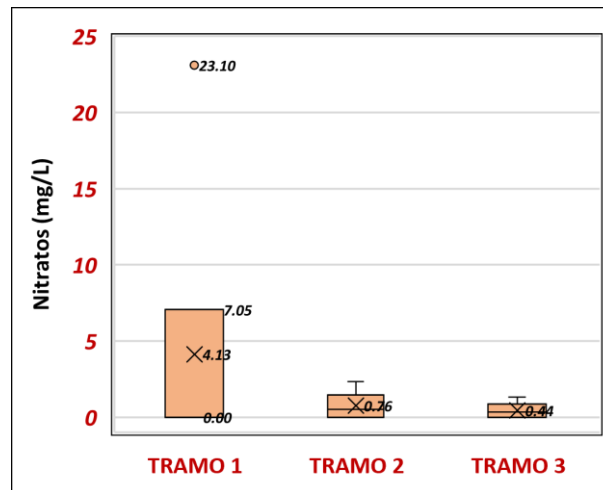


Figura 25. Gráfico de caja y bigotes Nitratos río Sinincay.
Fuente: Elaboración Propia.

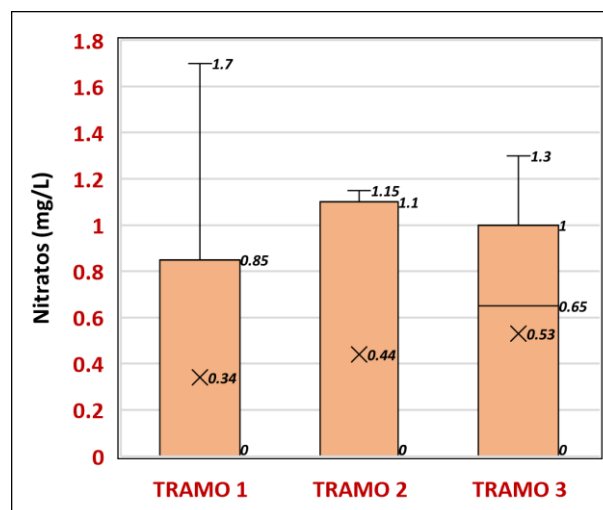


Figura 26. Gráfico de caja y bigotes datos simplificados Nitratos río Sinincay.
Fuente: Elaboración Propia.

- **Análisis de nitratos en las aportaciones Naranjillo y Chamana.**

En el río Naranjillo se puede observar que hay una gran concentración de nitratos, esto se debe que en las campaña 3 se observaron concentraciones excesivas, lo que implica una alteración en la media estadística de estos datos como se puede ver en la Figura 28 los valores de la media estadística en la estación Naranjillo tomando en cuenta el dato atípico medido se tiene un valor de 3.5 mg/L, mientras que en la aportación Chamana no existe una gran variación de concentración de nitratos presentando una media de 1.89 mg/L; suprimiendo los valores atípicos de la campaña 3 (Figura 27) se obtiene una mejor

agrupación de los datos, cuyo coeficiente es de 0.96 con lecturas que van desde 0 a 2.5 mg/L en el río Naranjillo y un coeficiente 0.21 para el río Chamana con lecturas de 1.25 a 2.4 mg/L , ver en la Figura 29.

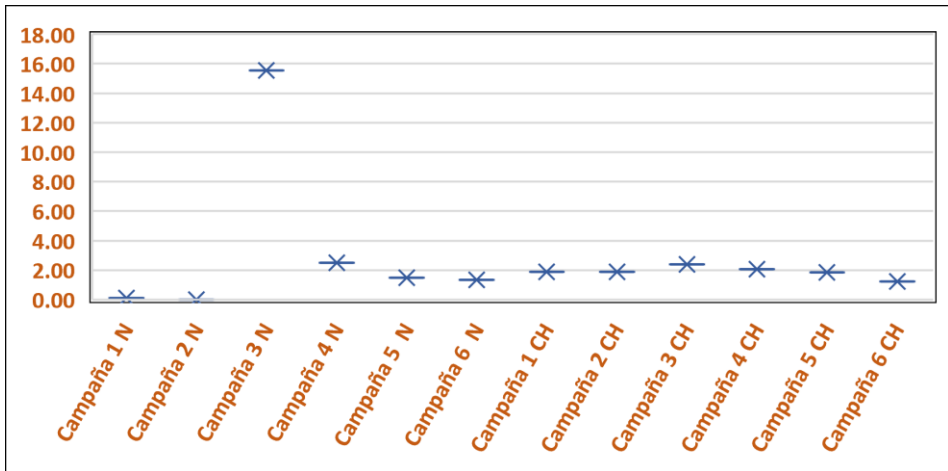


Figura 27. Gráfico concentraciones de nitratos en cada campaña.
Fuente: Elaboración Propia.

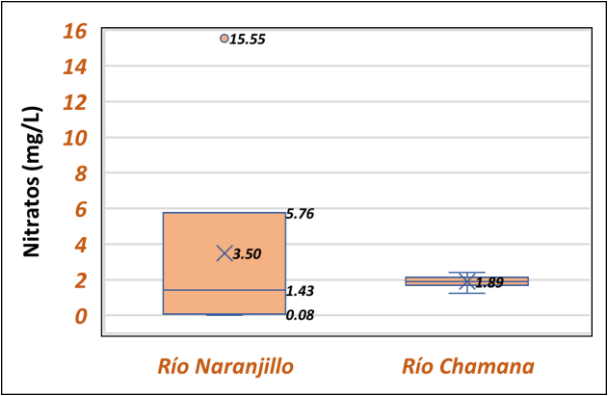


Figura 28. Gráfico de caja nitratos aportaciones Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.

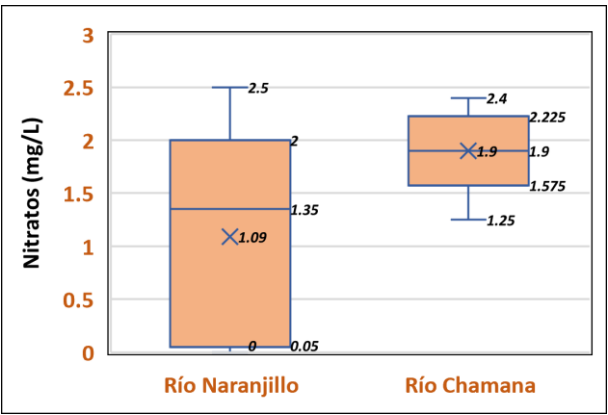
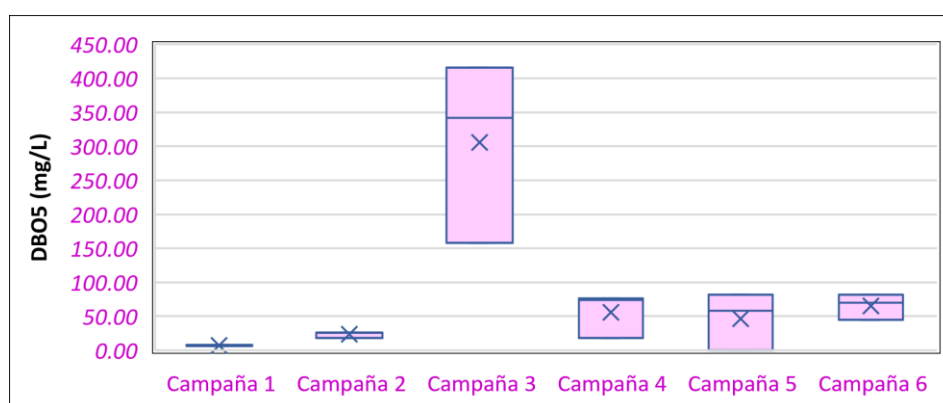


Figura 29. Gráfico de caja y bigotes simplificado Nitratos aportaciones Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.

- **Análisis de DBO5 para los tramos del río Sinincay.**

En la serie de datos de DBO5 se registran valores atípicos en cada una de las estaciones de cada tramo como se observa en la Figura 31 estos valores en cada tramo representan una alteración en la media de los datos para el desarrollo del modelo matemático. En este apartado, se desarrolla de la misma forma una simplificación de los valores atípicos correspondiente a la campaña 3, como se observa en la Figura 30, campaña en donde se ha producido el evento de alta concentración de DBO5 (Figura 32), sin tomar en cuenta los datos de la campaña mencionada; los mismos que presentan una media estadística en el tramo 1 de 19 mg/L, 51.96 mg/L en el tramo 2 y en el tramo 3 de 48.40 mg/L cuyo coeficiente de variación está en 5.01 % valor que garantiza que los datos son poco variados.



*Figura 30. Gráfico concentraciones de DBO5 en cada campaña.
Fuente: Elaboración Propia.*

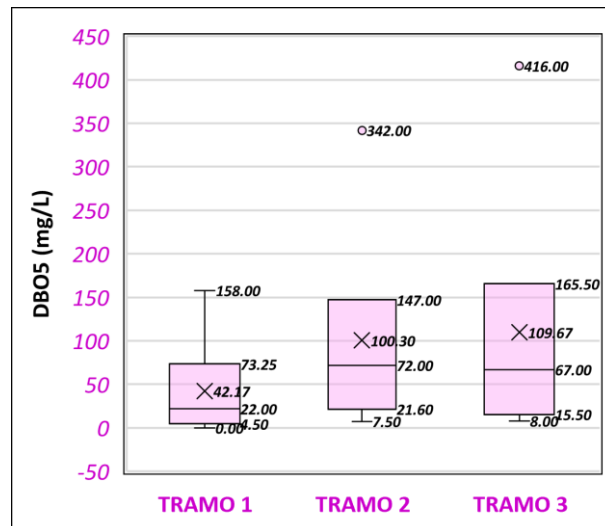


Figura 31. Gráfico de caja y bigotes DBO5 río Sinincay.
Fuente: Elaboración Propia.

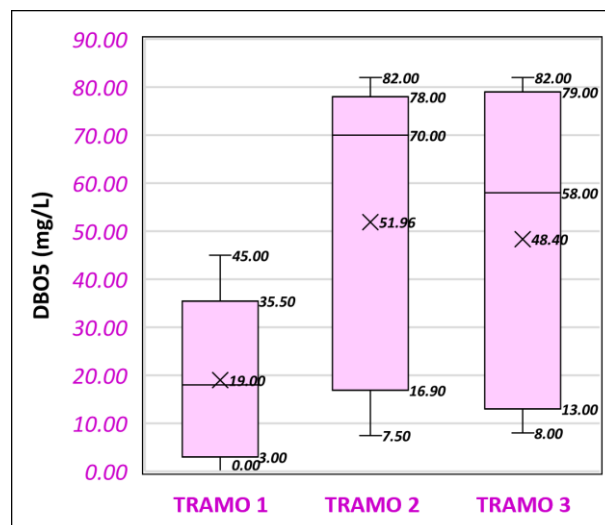


Figura 32. Gráfico de caja y bigotes simplificado DBO5 río Sinincay.
Fuente: Elaboración Propia.

- **Análisis de DBO5 en las aportaciones Naranjillo y Chamana.**

En las aportaciones Naranjillo y Chamana se presentan valores atípicos de DBO5 como se ve en la Figura 34, estos valores atípicos afectan a la media estadística de concentraciones registradas, para esto se simplifica los valores atípicos de la campaña 3 (Figura 33) obteniendo una mejor agrupación de datos (Figura 35) donde las concentraciones de DBO5 están mucho más agrupados obteniendo una media estadística para la aportación Naranjillo es de 16.30 mg/L con un coeficiente de variación es de 0.85

y valores que van desde 0 a 34 mg/L mientras que para la aportación Chamana la DBO5 tiene una media de 9.80 mg/L con un coeficiente de 1.07 que van desde 0 a 25 mg/L.

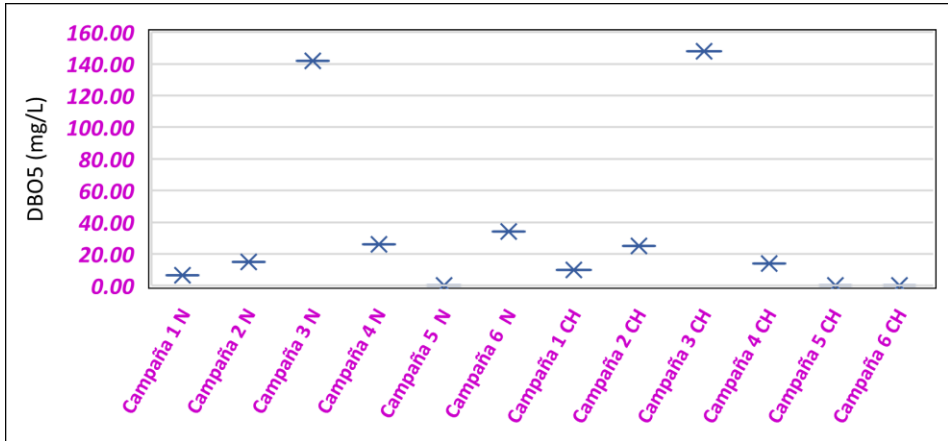


Figura 33. Gráfico concentraciones de DBO5 de las aportaciones Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.

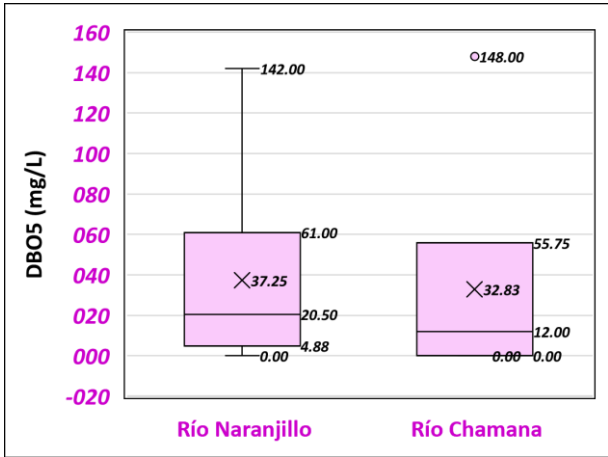


Figura 34. Gráfico de caja y bigotes DBO5 aportaciones Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.

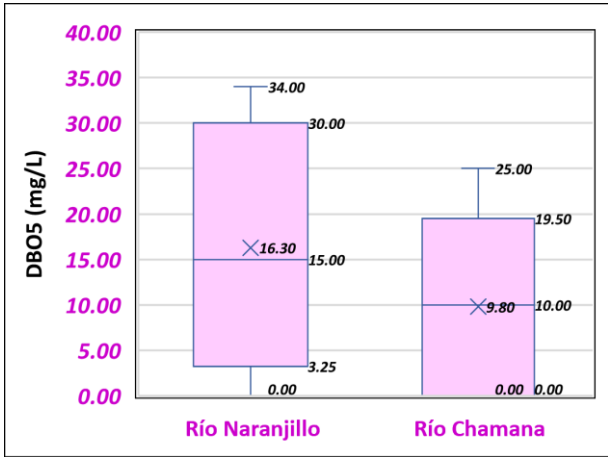
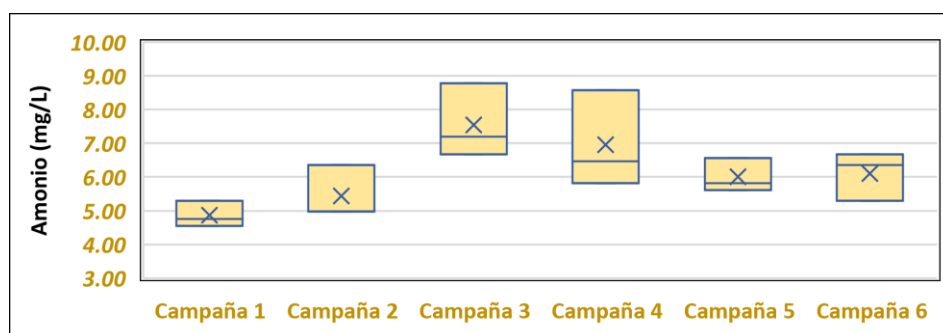


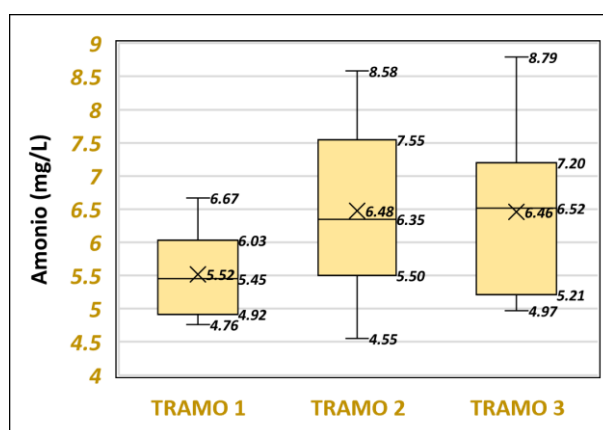
Figura 35. Gráfico de caja DBO5 simplificado aportaciones Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.

- **Análisis de amonio de los tramos del río Sinincay.**

En la Figura 37 se ven los valores de las medias de amonio para cada uno de los tramos del río Sinincay, 5.52 mg/L en el tramo 1 que está en rangos de 4.76 a 6.67 mg/L, mientras que en el tramo 2 los datos presentan una media de 6.48 mg/L en rangos de 4.55 a 8.85 mg/L y para el tramo 3 una media de 6.46 mg/L con rangos que van de 4.97 y 8.79 mg/L, en este caso no existen concentraciones atípicas de Amonio que afecten significativamente a la media estadística (Figura 36) ya que en la serie de datos en cada tramo no se presenta variaciones significativas como indica el coeficiente de variación en cada uno de los tramos, los coeficientes son de 12% para el tramo 1 ; y 20% para el tramo 2 y 3.



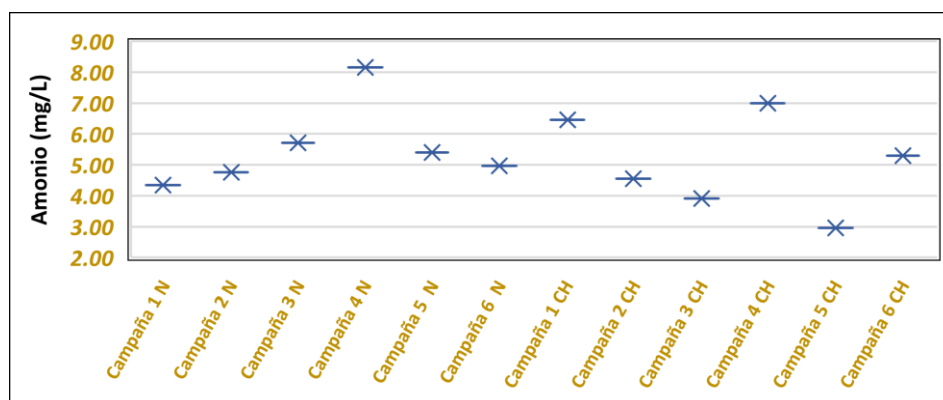
*Figura 36. Gráfico concentraciones de DBO5 de las aportaciones Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.*



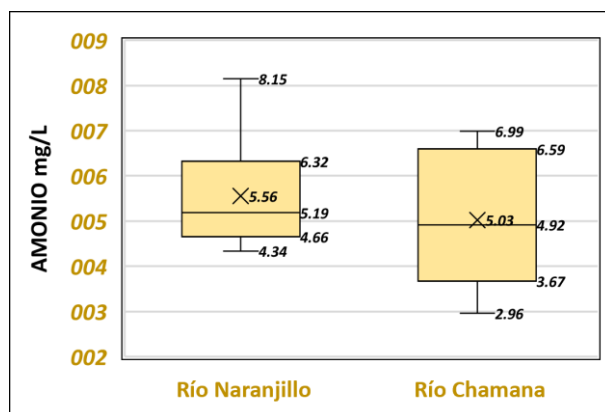
*Figura 37.. Gráfico de caja y bigotes Amonio río Sinincay.
Fuente: Elaboración Propia.*

- **Análisis de amonio para las aportaciones Naranjillo y Chamana.**

En la Figura 39 se observa que la media para el río Naranjillo es de 5.56 mg/L con un rango entre 4.34 y 8.15 mg/L, y para la aportación Chamana la media es de 5.03 mg/L en un rango de 2.96 a 6.99 mg/L, se observa que no hay variabilidad en los datos ya que no se ha registrado valores atípicos (Figura 38) donde los coeficientes de variación indican porcentajes de 24.46% y 30% respectivamente.



*Figura 38. Gráfico concentraciones de Amonio de las aportaciones Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia*



*Figura 39. Gráfico de cajas Amonio aportaciones Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.*

- **Análisis de oxígeno disuelto de los tramos del río Sinincay.**

En la Figura 41 se ven los valores de oxígeno disuelto para cada tramo, donde la media para el tramo 1 es de 7.55 mg/L, mientras que para el tramo 2 la media es de 7.09 mg/L y para el tramo 3 se tiene una media de 7.21 mg/L, la serie de datos registrados de oxígeno disuelto no presentan valores atípicos (Figura 40) ya que el porcentaje de variación en cada tramo es de 2.28%, 1.43% y 7.21% respectivamente.

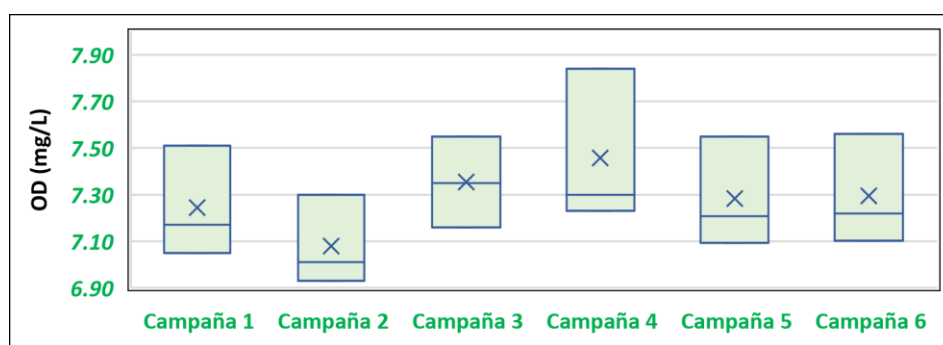


Figura 40. Gráfico concentraciones de oxígeno disuelto de las aportaciones Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.

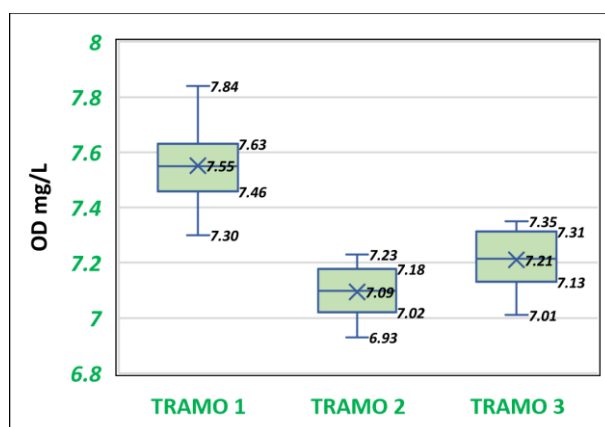


Figura 41. Gráfico de cajas Oxígeno disuelto río Sinincay.
Fuente: Elaboración Propia.

- **Análisis de oxígeno disuelto para las aportaciones Naranjillo y Chamana.**

En la Figura 43 se ven los valores de oxígeno disuelto para cada aportación, donde se observa que la media para la aportación Naranjillo es de 7.48 mg/L y para la aportación Chamana es 7.57 mg/L, la serie de datos para cada aportación no presenta valores atípicos (Figura 42) ya que el porcentaje de variación en cada uno es de 2.97% y 2.40% respectivamente.

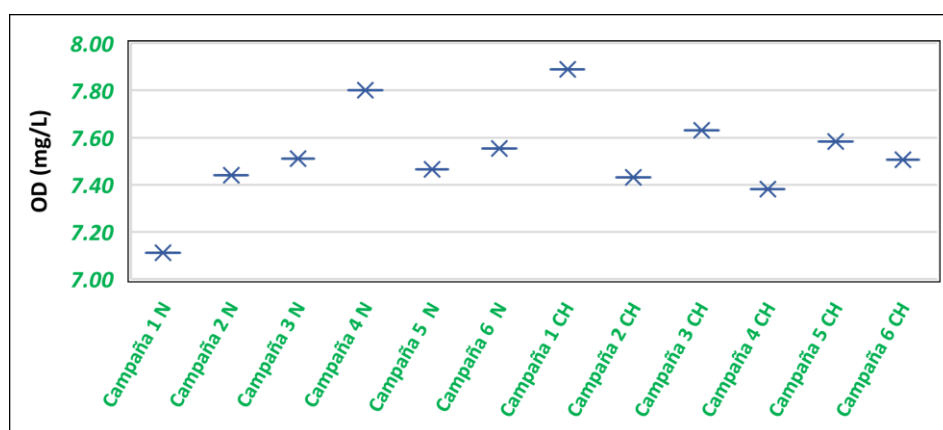


Figura 42. Gráfico de caja Oxígeno disuelto aportaciones Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.

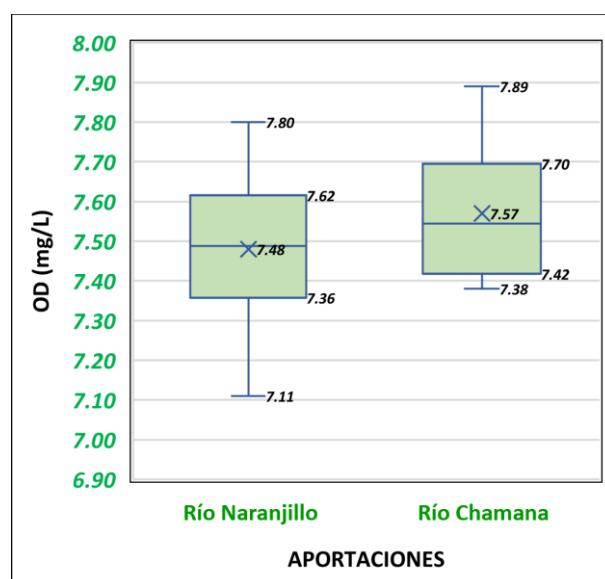


Figura 43. Gráfico de caja Oxígeno disuelto aportaciones Naranjillo y Chamana.
Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DEL SOFTWARE AQUATOOL PARA LA SIMULACIÓN DE CALIDAD DE AGUA.

En este capítulo se ve una breve descripción sobre el concepto de modelo matemático, también se plantea los escenarios a modelarse en el software AQUATOOL en función de los datos analizados en el capítulo anterior, se presenta el esquema del modelo en el software y los componentes que se requieren para modelar el esquema como los tramos del río y sus características geométricas de longitud, calados, secciones para el respectivo cálculo hidráulico y las constantes de degradación a las cuales se llegó mediante un proceso iterativo hasta llegar al ajuste adecuado entre los datos observados y modelados, finalizando con la presentación de las simulaciones de las variables de calidad.

4.1. Modelo Matemático.

Un modelo matemático es una simplificación de la realidad que ayuda a simular el comportamiento de procesos y fenómenos de interés, por lo general es una herramienta que sirve para predecir los procesos de transformación que sufren los contaminantes en donde se introducen datos obtenidos mediante observaciones producto del trabajo autónomo en campo como en laboratorio para dar a conocer sus efectos sobre la calidad de agua de los cuerpos de agua en este caso los ríos Sinincay, Naranjillo y Chamana.

“Lo más habitual es empezar diseñando un modelo de gestión para luego ir fortificándolo teniendo en cuenta la calidad de agua. Un modelo de gestión que trabaje colectivamente con las aportaciones y demandas del sistema hídrico, para que sea la base del denominado diseño del modelo de calidad de agua que analice los parámetros más representativos ante la contaminación que enfrentan los ríos en estudio.” (Israel, 2017).

4.2. Escenarios de Calidad.

A partir de todo el análisis experimental desarrollado, en la serie de datos levantados existen valores atípicos que afectan la media estadística de las concentraciones, esto no permite tener una perspectiva clara de las condiciones normales a las que comúnmente se encuentra el río Sinincay, como se vio en el capítulo 3 los datos procedentes de la campaña 3 son las que causan esta alteración, por lo tanto, se planteó el análisis de los siguientes escenarios para determinar la eficiencia del modelo matemático.

4.2.1 Escenario 1.

En este escenario se realiza el modelo matemático sin tomar en cuenta los datos atípicos registrados de la campaña 3, es necesario recalcar que los meses de enero, marzo y abril cuentan con 2 lecturas de las variables de calidad y caudales, por lo que se toma el promedio entre estas lecturas para posteriormente ser utilizadas como variables de ingreso en el software AQUATOOL mientras que, para el dato faltante se promedia la última lectura del mes de enero y la primera lectura del mes de marzo, ya que se comprobó en el capítulo anterior que con el análisis estadístico sin tomar en cuenta los valores atípicos del mes de febrero de la campaña 3 no existe una gran variabilidad de los datos porque estos siguen una misma tendencia.

Los datos de entrada utilizados para la implementación y validación del modelo matemático en el software AQUATOOL en los tramos del río Sinincay están expuestos en la tabla 5, mientras que los valores utilizados en las aportaciones Naranjillo y Chamana se exponen en la Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 5. Valores medios de concentraciones escenario 1 para los tramos del río Sinincay.

Fuente: Elaboración propia.

ESCENARIO 1	UNIDAD	TRAMO 1				TRAMO 2				TRAMO 3			
PARAMETRO		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Oxígeno disuelto	mg/L	7,51	7,43	7,70	7,56	7,05	7,05	7,16	7,10	7,17	7,18	7,25	7,22
Nitratos (NO3) Repetición	mg/L	1,7	0,00	0,00	0,00	1,15	0,525	0,00	0,00	0,65	1	0,35	0,00
Amonio (NH4)	mg/L	4,76	5,40	5,72	5,29	4,55	7,47	7,20	6,35	5,29	5,72	6,52	6,67
DBO5	mg/L	6,00	22,00	9,00	45,00	7,50	50,15	78,00	70,00	8,00	47,00	67,00	82,00
Caudal	m3/s	0,19	0,18	0,27	0,24	0,21	0,23	0,29	0,29	0,38	0,48	0,50	0,60

Tabla 6. Valores medios de concentraciones escenario 1 para la Aportación Naranjillo.

Fuente: Elaboración propia.

PARAMETRO	UNIDAD	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Oxígeno disuelto	mg/L	7,11	7,62	7,63	7,55
Nitratos (NO3) Repetición	mg/L	0,00	1,25	9,025	1,35
Amonio (NH4)	mg/L	4,34	6,46	6,78	4,97
DBO5	mg/L	6,50	20,50	13,00	34,00
Caudal	m3/s	0,02	0,07	0,15	0,13

Tabla 7. Valores medios de concentraciones escenario 1 para la Aportación Chamana.

Fuente: Elaboración propia.

PARAMETRO	UNIDAD	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Oxígeno disuelto	mg/L	7,89	7,63	7,48	7,50
Nitratos (NO3) Repetición	mg/L	1,9	1,9	1,95	2,4
Amonio (NH4)	mg/L	6,46	5,77	4,97	5,29
DBO5	mg/L	10,00	19,50	7,00	0,00
Caudal	m3/s	0,17	0,20	0,24	0,21

4.2.2 Escenario 2.

Para este escenario se sigue el mismo proceso establecido en el escenario 1, los datos para los meses de enero, febrero, marzo y abril serán ingresados con valores promedios en el software AQUATOOL, la única diferencia en este escenario es que el mes de febrero se toma en cuenta los datos atípicos observados, es decir, los datos de ingreso en el software serán los valores más altos registrados en esa campaña.

Los datos utilizados para la implementación y validación del modelo matemático correspondientes al escenario 2 en los tramos del río Sinincay se exponen en la tabla 8, mientras que, los valores utilizados en las aportaciones Naranjillo y Chamana se exponen en la Tabla 9 y Tabla 10.

*Tabla 8. Valores medios de concentraciones escenario 2 para los tramos del río Sinincay.
Fuente: Elaboración propia.*

ESCENARIO 2	UNIDADES	TRAMO 1				TRAMO 2				TRAMO 3			
PARAMETRO		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Oxígeno disuelto	mg/L	7,51	7,55	7,70	7,56	7,05	7,16	7,16	7,10	7,17	7,35	7,25	7,22
Nitratos (NO3) Repetición	mg/L	1,7	23,1	0,00	0,00	1,15	2,35	0,00	0,00	0,65	1,30	0,35	0,00
Amonio (NH4)	mg/L	4,76	6,67	5,72	5,29	4,55	7,20	7,20	6,35	5,29	8,79	6,52	6,67
DBO5	mg/L	6,00	158,00	9,00	45,00	7,50	342,00	78,00	70,00	8,00	416,00	67,00	82,00
Caudal medio	m3/s	0,19	0,18	0,27	0,24	0,21	0,23	0,29	0,29	0,38	0,48	0,50	0,60

*Tabla 9. Valores medios de concentraciones escenario 2 para la Aportación Naranjillo.
Fuente: Elaboración propia.*

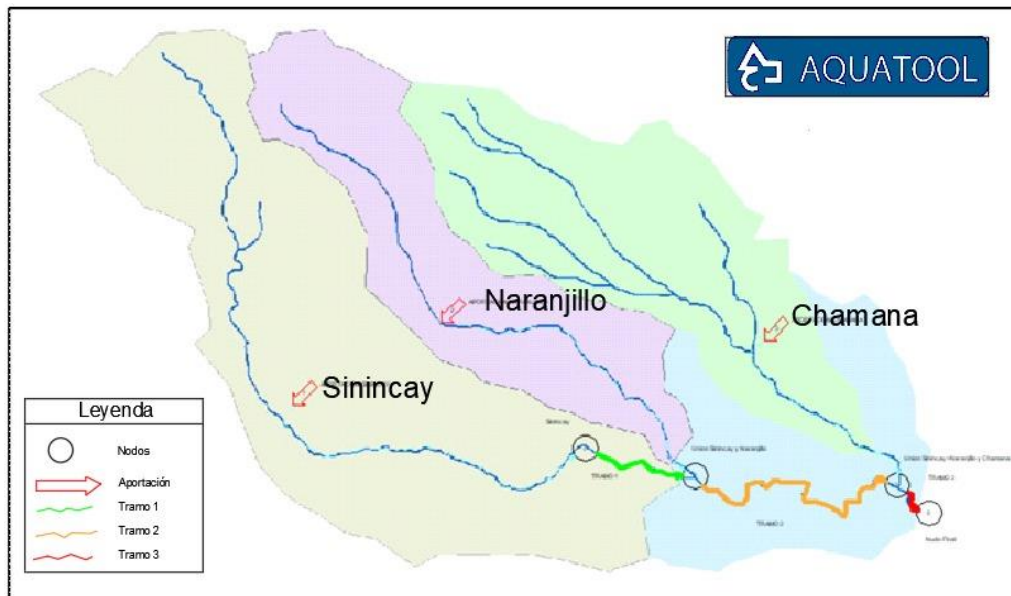
PARAMETRO	UNIDAD	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Oxígeno disuelto	mg/L	7,11	7,51	7,63	7,55
Nitratos (NO3) Repetición	mg/L	0,1	1,50	9,0	1,35
Amonio (NH4)	mg/L	4,34	5,71	6,78	4,97
DBO5	mg/L	6,50	142,00	13,00	34,00
Caudal	m3/s	0,02	0,07	0,15	0,13

*Tabla 10. Valores medios de concentraciones escenario 2 para la Aportación Chamana.
Fuente: Elaboración propia.*

PARAMETRO	UNIDAD	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Oxígeno disuelto	mg/L	7,89	7,63	7,48	7,51
Nitratos (NO3) Repetición	mg/L	1,9	1,9	1,95	2,4
Amonio (NH4)	mg/L	6,46	4,55	4,98	5,29
DBO5	mg/L	10,00	148,00	7,00	0,00
Caudal	m3/s	0,17	0,22	0,25	0,21

4.2.3 Esquema del modelo.

A continuación, se realiza una breve descripción del esquema gráfico completo con los elementos considerados para el modelo matemático de calidad de agua como se muestra en la Figura 44.



*Figura 44. Esquema de la sub cuenca del río Sinincay.
Fuente: Elaboración Propia.*

El modelo a desarrollar se centra específicamente en los datos de calidad medidos in situ. Este esquema tiene tres tramos: el primer tramo es del río Sinincay, el tramo 2 es la unión del río Sinincay con el río Naranjillo y el tramo 3 la unión del río Sinincay, Naranjillo y Chamana. El esquema tiene también 4 nudos que representan los puntos significativos del esquema, tales como entradas de flujo y cambio en las características del río o de la conducción, en las conducciones hay que evitar el uso de caudales nulos al momento de realizar la simulación ya que no se puede simular la calidad en ausencia de agua, pues el módulo “SIMGES” solo simula el paso del agua, un nudo no requiere de parámetros o datos solo el nombre que se usa para identificarlo.

Una vez determinados los nudos es indispensable delimitar las conexiones que hay entre ellos. Las conducciones están orientadas siempre, desde un nudo inicial a un nudo final.

Las conducciones utilizadas para representar el modelo son las conducciones de tipo 1, las mismas que hacen énfasis a conexiones sin ninguna peculiaridad especial. Se considera las aportaciones que se unen al sistema de forma puntual en los nudos señalados. Nuestro modelo cuenta con 3 aportaciones, las mismas que se pueden apreciar como flechas de color rojo que representan las concentraciones de los parámetros de calidad de agua estudiadas y medidas en los tramos. Las aportaciones son un dato que se incorporan al modelo a través un archivo externo de datos creado por el usuario en una plantilla de Excel.

Para poder correr el software es necesario obtener datos desde el mes de octubre, debido a que se encuentra establecido en el software AQUATOOL como inicio del ciclo hidrológico. Para evitar errores en el modelo, los datos que se llenan en los meses que no se realizó levantamiento de información se los completo con datos arbitrarios, mismos que no son relevantes en este estudio pero estos datos podrían ser alimentados en futuras investigaciones para tener un modelo más completo, sin embargo en este estudio solo se toma en cuenta solo los resultados estén dentro el rango de lecturas tomadas correspondientes al periodo de monitoreo “Enero – Abril” en el cual se aplicación métodos de correlación entre las series simuladas y observadas para medir la veracidad del modelo obtenido.

- **Aportaciones.**

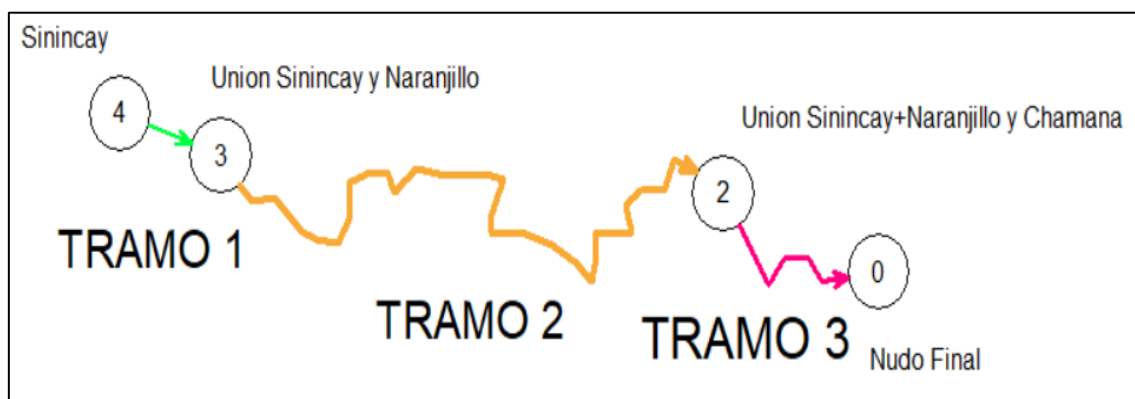
Todo modelo necesita como dato de entrada las aportaciones de caudales y concentraciones de contaminantes al sistema establecido. En el módulo SIMGES se ha determinado la aportación Sinincay, aportación Naranjillo y la aportación Chamana, ver esquema de modelo (Figura 44).

En cuanto al módulo GESCAL donde se ingresan las concentraciones de las variables de calidad se tomaron datos de concentraciones que representen cuerpos hídricos contaminados en los tramos antes mencionados. Las aportaciones consideran valores altos y bajos de concentraciones creándose efluentes que representan todos los vertidos puntuales provenientes de las actividades domésticas, agrícolas, ganaderas e industriales que desembocan en el agua de estos ríos, influyendo significativamente en la generación de contaminantes dentro de los cuerpos hídricos; al generar estos vertidos se procura realizar un análisis general que personifique la realidad hidrológica de estos ríos a modelar.

- **Tránsito de caudales.**

El esquema creado del modelo de los ríos Sinincay, Naranjillo y Chamana cuenta con tres conducciones del “tipo 1” mismas que hacen referencia conexiones básicas, es decir no tienen ninguna característica especial.

En la Figura 45 se pueden apreciar las longitudes de los tramos adoptados las cuales son: 10 m para el tramo 1, 2220 m para el tramo 2 y 50 m para el tramo 3, las cuales son conectores entre los nudos creados para modelar el esquema. Todas las conducciones se consideran tanto para el modelo de calidad como para el modelo de gestión.



*Figura 45. Conducciones del modelo.
Fuente: Elaboración Propia.*

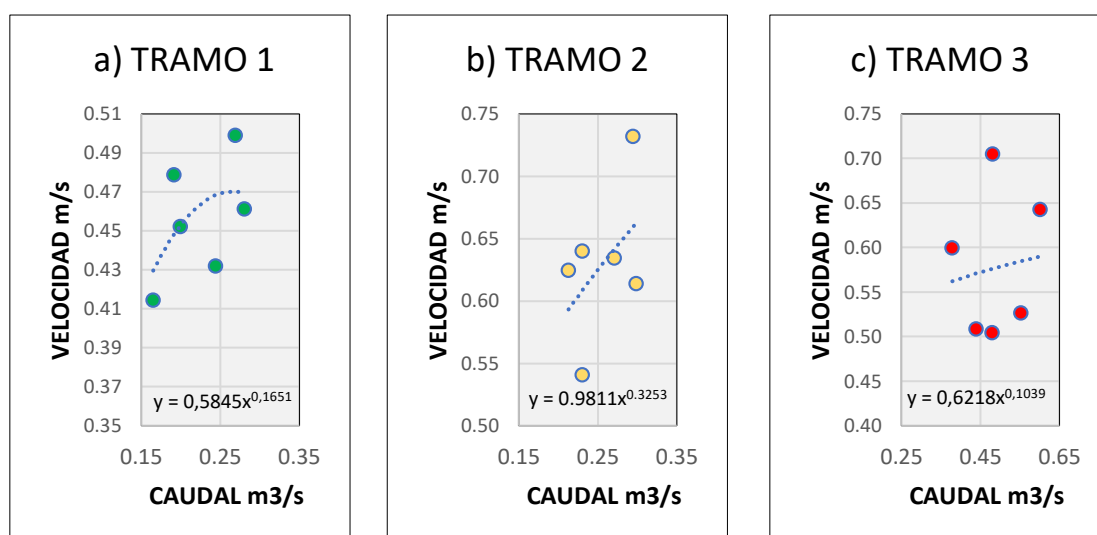
Para la aplicación del modelo matemático se considera características geométricas como la longitud del cauce, pendientes y el tipo de cálculo hidráulico ya sea por el método de Manning o por medio de relaciones potenciales (Ecuaciones 7 y 8), en este caso se realiza el modelo de calidad por medio de las relaciones potenciales, para ello se tomaron los datos de caudales, velocidades y calados para la obtención de los coeficientes a_1 , β_1 , a_2 , β_2 .

A continuación, se presenta los coeficientes y exponentes de velocidad y profundidad obtenidos en función de los aforos realizados en la zona de estudio.

$$u = a_1 Q^{\beta_1} \quad (7)$$

*Tabla 11. Valores de caudales y velocidades en cada tramo del río Sinincay.
Fuente: Elaboración propia.*

Fecha	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3	
	Q (m3/ s)	V (m/s)	Q (m3/ s)	V (m/s)	Q (m3/ s)	V (m/s)
26-ene-22	0,191	0,48	0,213	0,62	0,379	0,60
10-feb-22	0,165	0,41	0,231	0,64	0,481	0,71
24-feb-22	0,199	0,45	0,231	0,54	0,48	0,50
10-mar-22	0,28	0,46	0,299	0,61	0,439	0,51
24-mar-22	0,269	0,50	0,271	0,63	0,553	0,53
7-abr-22	0,244	0,43	0,295	0,73	0,602	0,64



*Figura 46. Gráficas Caudal vs Velocidad de los tramos.
Fuente: Elaboración Propia.*

Como se puede ver los coeficientes α_1 y β_1 de las curvas caudal vs velocidad son las que más se ajustan a los puntos observados en campo para cada tramo del río Sinincay, estos son los siguientes:

Tabla 12. Coeficientes α_1 y β_1 tramos río Sinincay.
Fuente: Elaboración propia.

	α_1	β_1
TRAMO 1	0,5845	0,1651
TRAMO 2	0,9811	0,3253
TRAMO 3	0,6218	0,1039

$$h = a_2 Q^{\beta_2} \tag{8}$$

Tabla 13. Valores de caudales y profundidades “H” en cada tramo del río Sinincay.
Fuente: Elaboración propia.

Fecha	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3	
	Q (m3/ s)	H (m)	Q (m3/ s)	H (m)	Q (m3/ s)	H (m)
26-ene-22	0,191	0,18	0,213	0,18	0,379	0,25
10-feb-22	0,165	0,18	0,231	0,17	0,481	0,29
24-feb-22	0,199	0,18	0,231	0,19	0,48	0,28
10-mar-22	0,28	0,24	0,299	0,22	0,439	0,3
24-mar-22	0,269	0,29	0,271	0,2	0,553	0,35
7-abr-22	0,244	0,29	0,295	0,17	0,602	0,3

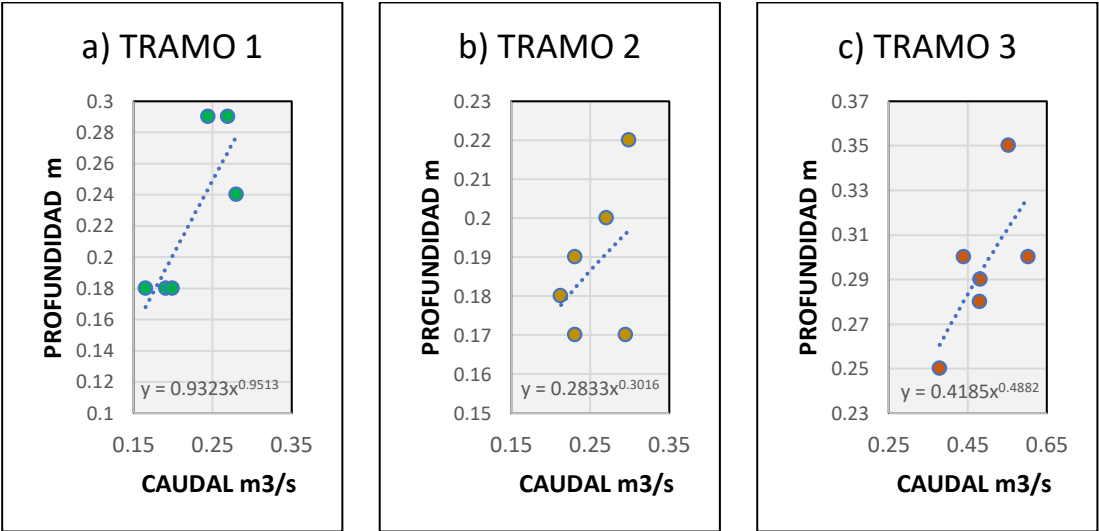


Figura 47. Gráficas Caudal vs Profundidad de los tramos del río Sinincay.
Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar los coeficientes α_2 y β_2 de las curvas caudal vs profundidad son las que más se ajustan a los puntos observados en campo para cada tramo del río Sinincay, estos son los siguientes:

Tabla 14. Coeficientes α_2 y β_2 tramos río Sinincay.
Fuente: Elaboración propia.

	α_2	β_2
TRAMO 1	0,9323	0,9513
TRAMO 2	0,2833	0,3016
TRAMO 3	0,4185	0,4882

Cuando se hayan encontrado los coeficientes y exponentes encontrados α_1 , β_1 , α_2 , β_2 se ingresan en el software conjuntamente con datos de longitud, estas variables son importantes ya que permiten que el modelo tenga representatividad con la realidad (Figura 48).

Descripción de la conducción (Tipo 1)

Nombre: TRAMO 2

SimGes **Calidad**

Datos Generales | Temperatura | Oxígeno disuelto | Contaminantes de 1er orden | Contaminación Difusa | Tóxicos

Dispersión: 10

Longitud: 2220

Diferencial de Cálculo: 1

Tipo de cálculo hidráulico:

☐ Met. Manning ☒ Rel. Potenciales

Velocidad: 0,9811

Exp. Velocidad: 0,3253

Coef. profundidad: 0,2833

Exp. profundidad: 0,3016

Opciones Simulación:

☐ No se simula

☐ Si se simula, no da resultados

☒ Si se simula y da resultados

☐ Ver resultados parciales

Aceptar

Figura 48. Datos de relaciones potenciales módulo Gescal.
Fuente: Elaboración Propia.

- **Parámetros para la modelación del oxígeno disuelto.**

Para la modelación del oxígeno disuelto hay que tener en consideración algunos parámetros a modelar que toma en cuenta el módulo GESCAL.

En la Figura 49 se puede ver la plantilla con los datos referentes a los parámetros de calidad como: oxígeno disuelto, constante de degradación de materia orgánica (DBO5), constante nitrificación del amonio y la constante de desnitrificación del amonio. La plantilla muestra la descripción de cada parámetro, el valor y en que unidades se debe introducir cada dato.

Los parámetros que se ha considerado en esta ventana serán calibrados en función de los datos observados, aquellos que fueron obtenidos en campo y laboratorio.

Descripción de la conducción (Tipo 1)

Nombre: TRAMO 1

SimGes **Calidad**

Datos Generales Temperatura Oxígeno disuelto Contaminantes de 1er orden Contaminación Difusa Tóxicos

Parámetro	Valor	Unidad
Constante de reaeración	0	1/d
Constante degradación materia orgánica	0	1/d
Velocidad sedimentación materia orgánica	0	m/d
Constante degradación nitrógeno orgánico	0	1/d
Velocidad sedimentación nitrógeno orgánico	0	m/d
Constante nitrificación del amonio	0	1/d
Constante de desnitrificación de los nitratos	0	1/d
Constante muerte/respiración del fitoplancton	0,087	1/d
Velocidad sedimentación del fitoplancton	0,087	m/d
Constante degradación del fósforo orgánico	0,01	1/d
Velocidad sedimentación fósforo orgánico	0,001	m/d

Curva V. Medio Radiación: TRAMO 1
 Editar curva...

Curva V. Medio Fotoperiodo: TRAMO 2
 Editar curva...

Aceptar

*Figura 49. Tasas de variación de calidad.
 Fuente: Elaboración Propia.*

En la Figura 49 se deben introducir valores o constantes cinéticas para los parámetros afines con la reaeración del oxígeno disuelto, la degradación de la materia orgánica, constante de degradación del amonio y constante de desnitrificación de los nitratos. Para el caso de estudio debido a que la dinámica de reaeración del oxígeno es inestable en

cada tramo del río Sinincay, esta se va a calcular por medio del método Covar, el software lo calcula de forma automática al dar el valor de 0.

En este caso no se considera parámetros referentes de fitoplancton y fósforo orgánico e inorgánico por lo que se puede dejar los datos de ingreso de las cinéticas o constantes reaireación que están por defecto ya que el software no los tomara en cuenta.

- **Simulación.**

Antes de simular el modelo GESCAL se debe simular el módulo SIMGES en el mismo periodo que se va a simular la calidad. Para ello es necesario simular el módulo SIMGES primero, desde el mes de octubre del año 2021 hasta el mes de septiembre del año 2022 se debe tomar en cuenta aquí la diferencia entre las simulaciones con el módulo SIMGES que se lo hace para valorar las garantías de gestión del sistema y las simulaciones que se forjan con el modelo GESCAL para evaluar la calidad de los recursos hídricos o cuerpos de agua. Cada modelo debe ser corrido siguiendo la misma técnica, a su vez, los valores simulados por el módulo SIMGES deben simbolizar concordancia con los datos medidos para luego empezar a correr el módulo GESCAL.

Una vez que se ha realizado la simulación con la ayuda de SIMGES para el período indicado se corre el modelo GESCAL, es en ese momento cuando se escriben los archivos de entrada al modelo y se hace la llamada al modelo matemático.

4.3. Análisis de resultados y calibración.

Una vez terminado el ingreso de los datos del módulo SIMGES y el módulo GESCAL el programa ayuda a analizar los resultados de un modo gráfico, el cual muestra los resultados de su simulación por los diferentes módulos. Pudiendo así, de esta manera comparar los datos del resultado y comprobar si se logran resultados correctos. Por la

programación del software las series se presentan en formato de puntos y líneas lo que ayuda a tener una mejor visualización de los datos del modelo matemático versus los datos tomados en campo para la calibración.

Los resultados que da el modelo conciernen a la concentración final de la conducción, ayudando a estimar la concentración de cada conducción, tramo de río, diferencial de cálculo y meses simulados cuya resolución final es representada mediante una herramienta que tiene el programa llamada “eGraf”, esta herramienta permite analizar módulo por módulo creando un gráfico dinámico con los resultados que se simularon. En cuanto al módulo SIMGES esta herramienta admite el análisis de los caudales que pasan por las conducciones mientras que el módulo GESCAL permite el estudio de los parámetros de calidad que forman parte del modelo matemático, todos los resultados se los expresa en una misma escala de tiempo.

Los resultados obtenidos esencialmente tendrán que pasar por proceso de calibración con el fin de representar fielmente lo que en realidad ocurre con las variables de calidad. La calibración se centra en el ajuste de las constantes cinéticas de reaeración de oxígeno disuelto (OD) de cada parámetro de calidad de DBO5, Nitratos y Amonio cuyas constantes gobiernan el proceso de degradación de cada una de estas variables ya que la concentración de OD determina que tan sano y estable se encuentra los sistemas acuáticos.

4.3.1 Calibración de resultados.

La calibración de resultados es el proceso por el cual se ajustan los datos del modelo para que el comportamiento del mismo se asemeje a la realidad. En este modelo la calibración se realizará con todos los datos observados y simulados de cada uno de los parámetros

establecidos en esta investigación en los escenarios planteados, lo que se pretende es lograr una representatividad de cómo se comporta el sistema en todas las circunstancias.

En la Tabla 15 se presenta las constantes cinéticas típicas utilizados por el modelo.

*Tabla 15. Valores típicos de los parámetros utilizados en el modelo.
Fuente: Manual de usuario Gescal.*

Par.	Ud	Rango	Parámetro
ka	1/d	0.01-100	Reaireación.
Kd	1/d	0.01-0.36	Descomposición de materia orgánica carbonosa.
kNai	1/d	0.01-1	Nitrificación del amonio.
Kno3	1/d	0.001-0.1	Desnitrificación.

El proceso de calibración necesario para el modelo matemático se lo realizó mediante múltiples simulaciones en el software variando las constantes cinéticas y comprobando su ajuste con los datos observados hasta lograr que exista un R^2 que se acerque lo más próximo a 1 o que sea mayor o igual al 0.7, un RRMSE menor 0.3 (30%) y un MAPE para verificar que tan alejados están los datos con respecto a la media entre los valores simulados y observados encontrados en campo y determinados en laboratorio, resultados que se presentan en los siguientes párrafos.

Una vez terminado el proceso de ajuste de las constantes cinéticas se llegó a determinar las constantes en la cuales el modelo llega a tener mejor correlación con los datos observados en las estaciones de control ubicadas en el tramo 2 y tramo 3 para los dos escenarios, las cuales se destacan en la Tabla 16 donde se puede observar el nivel de sensibilidad de cada constante cinética ya que al realizar varias simulaciones se detectaba un gran consumo de oxígeno disuelto llegando a niveles nulos, al igual que las simulaciones de nitratos en ambos escenarios, mientras que los valores simulados de amonio y DBO5 al momento de realizar el proceso iterativo se determinó que al aumentar la constante cinética se presentaban simulaciones de concentraciones pequeñas en relación a las concentraciones observadas, este fenómeno se debe a que la longitud del

tramo 2 en donde la diferencia de la serie de datos modelados y observados era alta, razón por la cual se empezó a calibrar estos valores en base a las aportaciones y las constantes que intervienen en ellas que mejora el desempeño del sistema hídrico, tomando en cuenta los valores de oxígeno disuelto saturado.

El oxígeno disuelto fue calculado automáticamente mediante el método Covar al dar un valor de 0 en el módulo Gescal y para determinar la confiabilidad del modelo se realizó mediante la aplicación matemática de índices estadísticos para el ajuste de datos como: factor de correlación (R^2), error relativo medio cuadrado (RRMSE) y el error porcentual absoluto medio (MAPE), estas correlaciones se realizaron para todos los datos disponibles en los periodos de monitoreo.

*Tabla 16. Constantes cinéticas para cada escenario.
Fuente: Elaboración Propia*

PARÁMETRO		TRAMO 1		TRAMO 2		TRAMO 3	
		Valor	Sensibilidad	Valor	Sensibilidad	Valor	Sensibilidad
Escenario 1	Oxígeno Disuelto (k_a)	Covar	-	Covar	-	Covar	-
	DBO5 (kd)	0.06	-	0	baja	0	baja
	Amonio (kNai)	0.1	-	0	baja	0.1	baja
	Nitratos (Kno3)	0.001	-	0.002	alta	0.001	alta
Escenario 2	Oxígeno Disuelto (k_a)	Covar	-	Covar		Covar	
	DBO5 (kd)	0	-	0	baja	0	baja
	Amonio (kNai)	0	-	0	baja	0	baja
	Nitratos (Kno3)	0.01	-	0.002	alta	0.03	alta

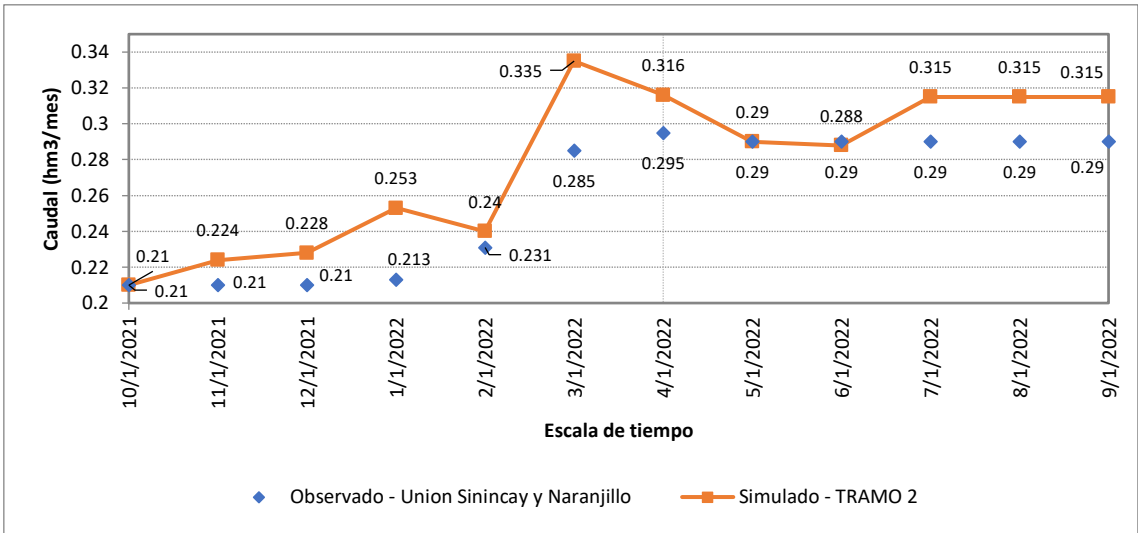
4.3.2 Comparativa de los caudales.

Para saber si el modelo responde a la realidad del sistema es necesario hacer una comparación cuantitativa de los caudales obtenidos en nuestras estaciones de aforo ya que este proceso es esencial e indica como el modelo responde a los datos de las aportaciones ingresadas al sistema.

El resultado de la simulación de los caudales se presenta en las Figura 50 y Figura 51, cabe recalcar que la serie de datos de caudales que se utilizó para los dos escenarios

planteados, los ajustes y comparaciones se los realiza en los Tramos 2 y 3 del río Sinincay ya que en estas cuentan con estaciones de control para poder realizar el respectivo ajuste, se puede apreciar que los caudales siguen tendencias similares entre los datos simulados y observados, esta simulación se puede considerar muy buena debido a la incertidumbre que se tiene sobre los consumos históricos en la zona.

Para la validación de los caudales en el tramo se realiza el análisis estadístico que se presenta en la Tabla 17.



*Figura 50. Comparación de caudales tramo 2.
Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 17. Correlación de datos para Caudal tramo 2.
Fuente: Elaboración propia.*

Caudal	Coefficiente R^2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.8463	0.1328	11.83%

El resultado para la simulación del caudal tras su calibración y análisis estadístico mediante el coeficiente R^2 es de 0.84 demostrando que el modelo de los caudales es confiable, el coeficiente RRMSE es de 0.1328 hm³/mes de error entre los datos simulados y observados, el MAPE es de 0.1183 indicando que la diferencia entre el valor simulado y real es de 11.83 %.

En la Figura 51 se expone el resultado del modelo de caudales para el tramo 3.

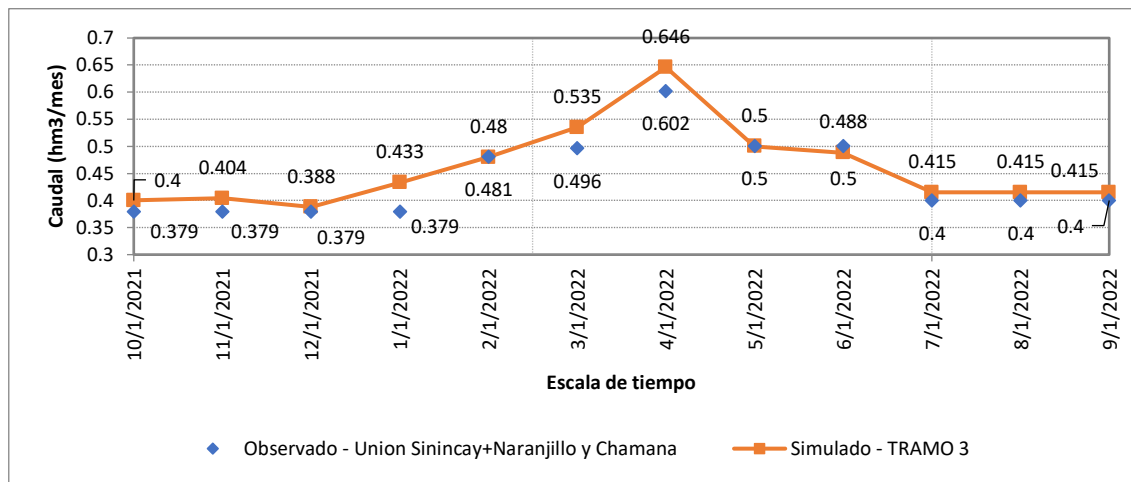


Figura 51. Comparación de caudales tramo 3.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 18. Correlación de datos para Caudal tramo 3.

Fuente: Elaboración propia.

Caudal	Coefficiente R2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.9315	0.0815	7.41%

Para el tramo 3 los valores del caudal tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.931, indicando la similitud entre los datos observados y simulados, con un RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.0815 hm³/mes y un MAPE de 7.41%. dando así confiabilidad al modelo.

4.3.3 Comparativa de concentraciones.

En este apartado se procede a comparar las concentraciones de las variables de calidad que son:

- Demanda bioquímica de Oxígeno.
- Oxígeno Disuelto.
- Nitrógeno Amoniacal.
- Nitratos.

Cuya comparativa se fija en el análisis de los datos de calidad obtenidos en campo y laboratorio y los datos simulados por el módulo “GESCAL” en la escala de tiempo que se realizaron las campañas de monitoreo.

El objetivo es tener un modelo adaptado a las condiciones observadas donde su correlación R^2 sea lo más cercano a 1, en el sistema no se considera que exista contaminación aguas arriba, solamente se tomará en cuenta la presencia de los contaminantes que ingresan de las aportaciones de los ríos Naranjillo y Chamana; es decir, se considera como contaminación puntual.

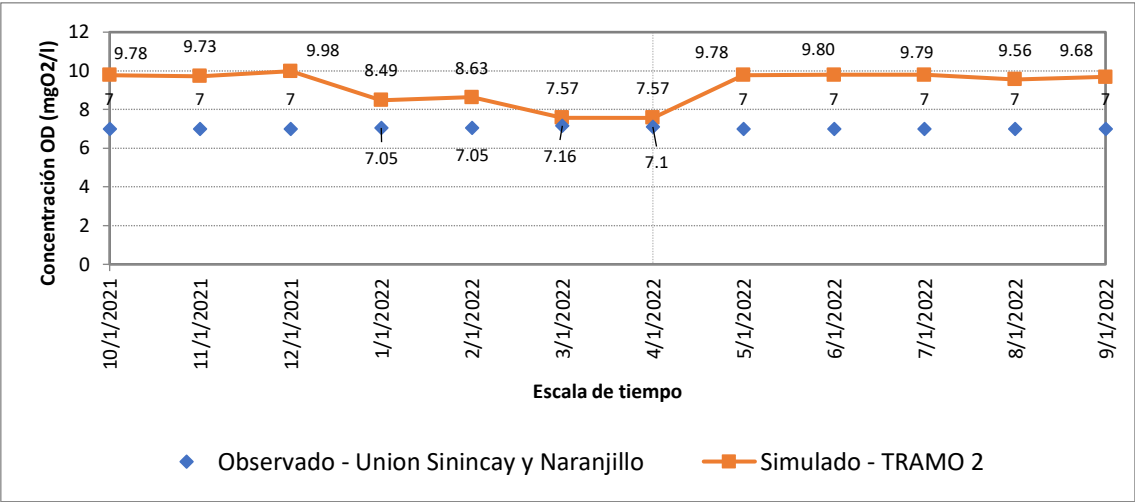
A continuación se presentan los resultados de cada variable para el diferente escenario planteado y su respectivo análisis en cada tramo, es necesario tener en cuenta que en los dos escenarios se simulan los valores obtenidos en base a los datos obtenidos en campo correspondiente al periodo de monitoreo, mientras que los otros valores de los otros meses en los cuales se desconoce sus volúmenes de agua, caudales y concentraciones serán llenados con datos arbitrarios similares a los obtenidos con el fin de evitar exageraciones de concentraciones modeladas.

- **Oxígeno Disuelto escenario 1.**

Para la calibración de la DBO5 se utilizó la constante de degradación “Kd” para el tramo 1 de 0.06 mientras que en el tramo 2 y 3 el modelo tuvo un mejor comportamiento con un valor de “Kd” de 0, mientras que los valores de oxígeno disuelto van entre 0 y 100. Para nuestro caso se dio un valor de “0” en donde el módulo “GESCAL” lo calcula automáticamente utilizando el método Covar.

El modelo calibración del oxígeno disuelto se lo ha realizado tomando en cuenta los procesos naturales como la degradación de la materia orgánica y la nitrificación del amonio los mismos que consumen el oxígeno disuelto dentro del cuerpo de agua.

Como se puede observar en las Figura 52 los niveles de concentración del oxígeno disuelto por el método Covar para el tramo 2 en el escenario 1 es el siguiente:



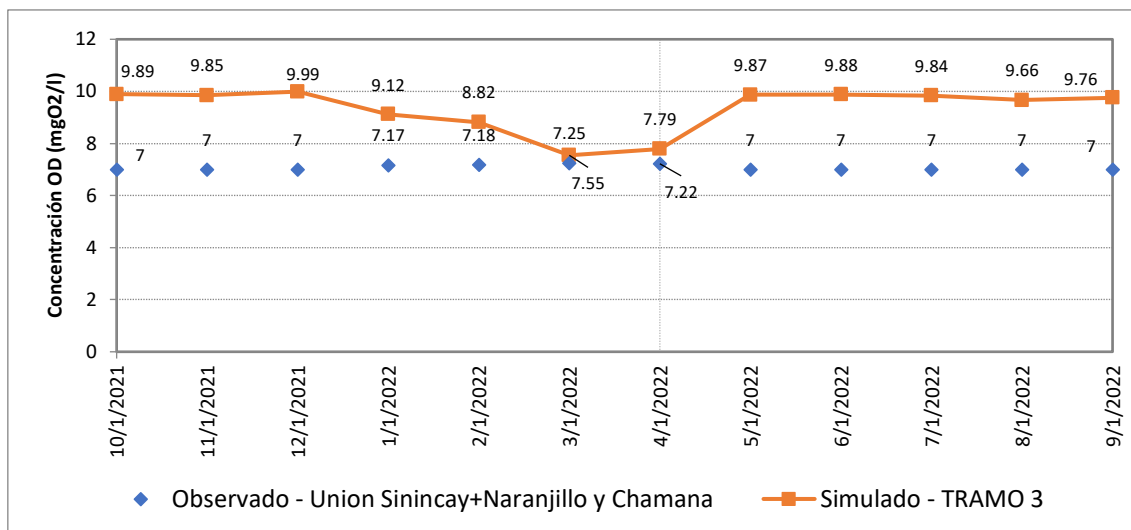
*Figura 52.Simulación del OD tramo 2 – Escenario 1.
Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 19. Correlación de datos para oxígeno disuelto tramo 2 - Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.*

OD	Coefficiente R2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.7734	0.1572	13.82%

En la Tabla 19 para el tramo 2 los valores del oxígeno disuelto (OD), tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.7734, indicando la similitud entre los datos observados y simulados, el RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.1572 mgO2/l y un MAPE de 13.82%. dando así confiabilidad al modelo.

En la Figura 53 se puede observar el resultado del modelo de Oxígeno disuelto para el tramo 3 en el escenario 1, cuyos coeficientes de confiabilidad del modelo están expuestos en la Tabla 20.



*Figura 53. Simulación de OD tramo 3 – Escenario 1.
Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 20. Correlación de datos para oxígeno disuelto tramo 2 - Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia.*

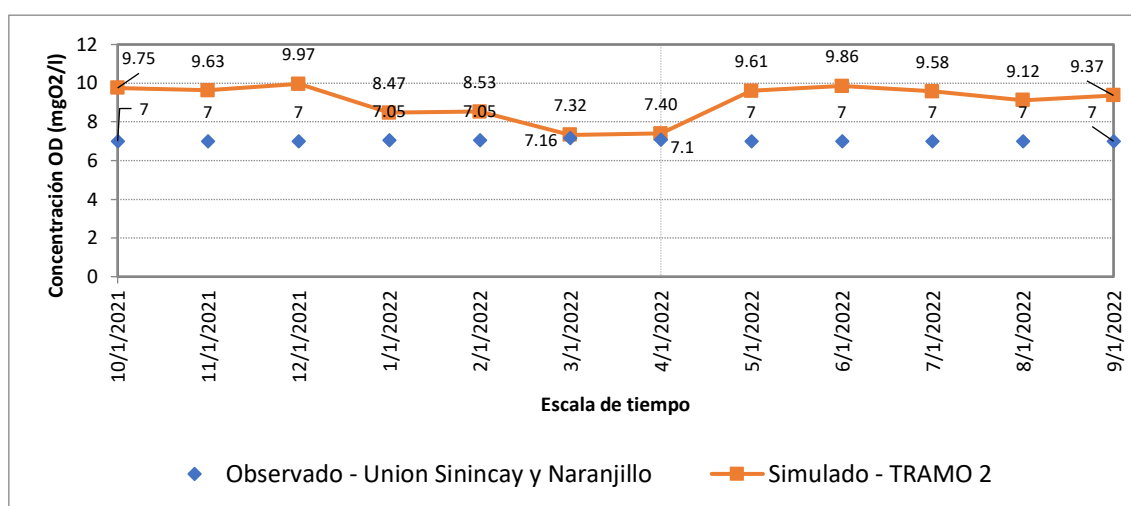
OD	Coefficiente R ²	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.9562	0.1820	15.48%

En el Escenario 1 del tramo 3 los valores del oxígeno Disuelto (OD), tras su calibración y validación el coeficiente R² es de 0.9562, indicando la similitud entre los datos observados y simulados, con un RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.1820 mgO₂/l y un MAPE de 15.48%. dando así modelo confiable.

El modelo matemático del oxígeno disuelto en el tramo 2 presenta valores de concentración simulados que varían de 7.57 y 8.63 mgO₂/l, mientras que en el tramo 3 se encuentra en un rango de 7.25 a 9.12 mgO₂/l indicando que existe una disminución del oxígeno de saturación en relación a los valores de 9.12 a 10 mgO₂/l que deberían tener los tramos del río Sinincay en estado natural.

- **Oxígeno Disuelto escenario 2.**

Las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) para el tramo 2 del escenario 2 son realizadas con las variables de calidad altas producto del evento atípico, cuyos resultados son expuestos en la Figura 54 y cuyos coeficientes de confiabilidad se encuentran en la Tabla 21.



*Figura 54. Simulación de OD tramo 2 – Escenario 2.
Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 21. Correlación de datos para oxígeno disuelto tramo 2 - Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia.*

OD	Coeficiente R2	Coeficiente (RRMSE)	MAPE
	0.8167	0.1468	11.93%

En el tramo 2 los valores del Oxígeno Disuelto (OD), tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.8167, indicando una buena correlación entre los datos, el RRMSE entre los datos simulados y observados es de 0.1468 mgO₂/l y el MAPE es de 11.93%. dando así modelo confiable.

Los resultados del OD para el tramo 3 en el escenario 2 se presentan en la Figura 55 y cuyos coeficientes de correlación en la Tabla 22.

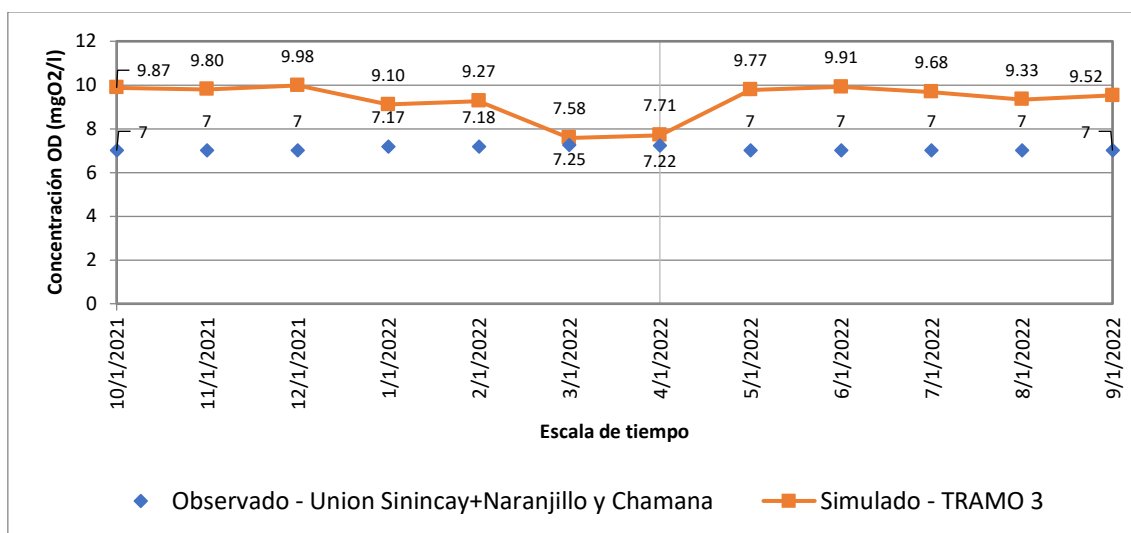


Figura 55. Simulación de OD tramo 3 – Escenario 2.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22. Correlación de datos de oxígeno disuelto tramo 3 - Escenarios 2.
Fuente: Elaboración propia.

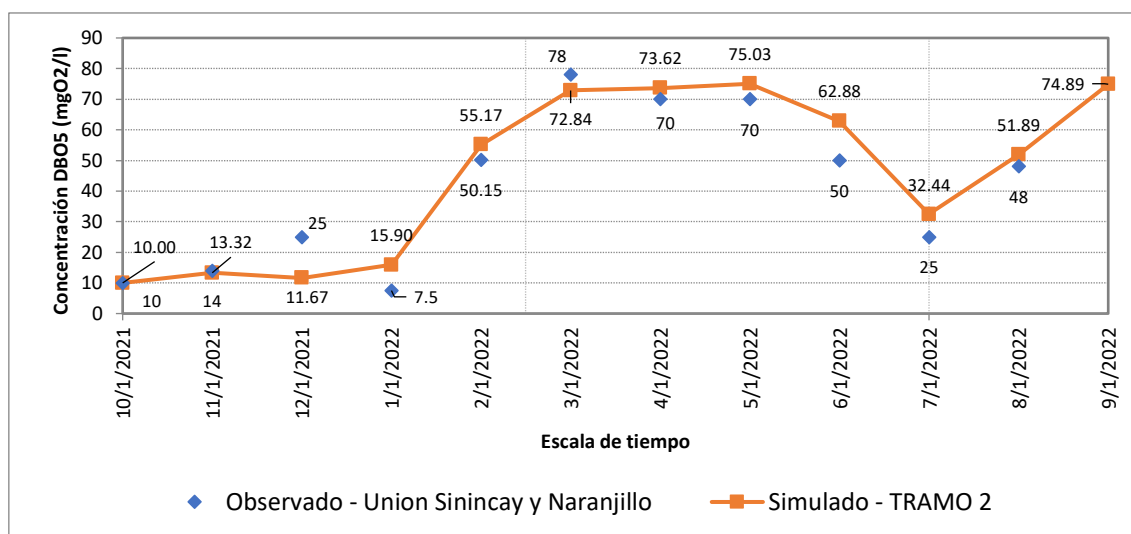
OD	Coefficiente R ²	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.8916	0.2017	16.83%

En el tramo 3 los valores del Oxígeno Disuelto (OD), tras su calibración y validación el coeficiente R² es de 0.8916, el RRMSE es de 0.2017 mgO₂/l entre los datos simulados y observados, el MAPE tiene un porcentaje de 16.83%, estos coeficientes indican una buena correlación entre los datos, dando así modelo confiable.

El modelo matemático del oxígeno disuelto para este escenario, presenta valores de concentración simulados que varían de 7.32 y 8.47 mgO₂/l en el tramo 2, mientras que en el tramo 3 se encuentra en un rango de 7.58 a 9.10 mgO₂/l indicando que existe una disminución del oxígeno de saturación en relación a los valores de 9.33 a 9.98 mgO₂/l que deberían tener los tramos del río Sinincay en estado natural.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) escenario 1.**

En la Figura 56 se presentan las concentraciones de materia orgánica simuladas y medidas en el tramo 2 y sus respectivos coeficientes de correlación expuestos en la Tabla 23.



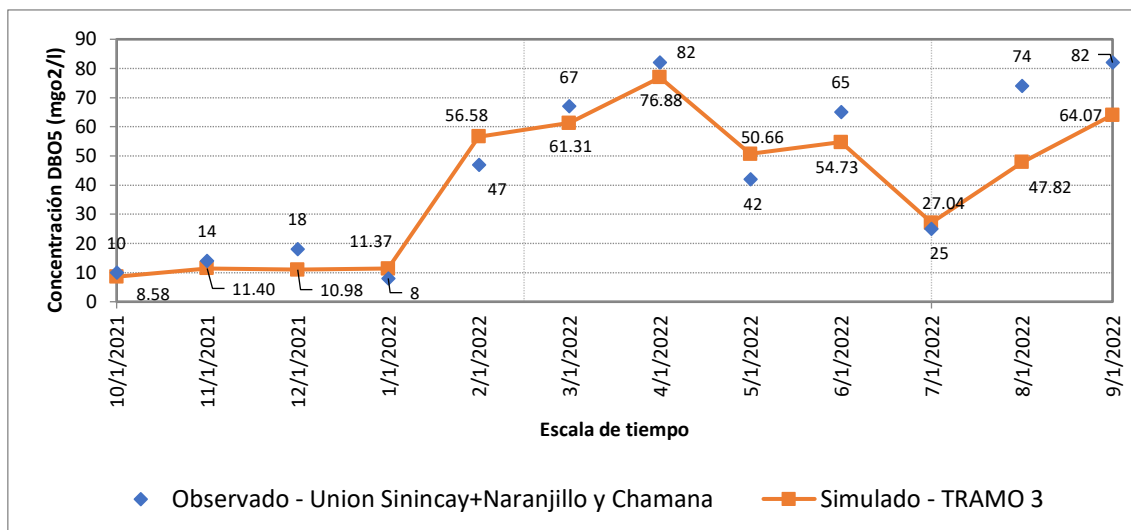
*Figura 56. Simulación de DBO 5 tramo 2 – Escenario 1.
Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 23. Correlación de datos para DBO 5 tramo 2 - Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.*

DBO 5	Coefficiente R2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.9846	0.1132	33.43%

Para el tramo 2 los valores de DBO 5, tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.9846, indicando la similitud entre los datos, con un RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.1132 mgO2/l y un MAPE de 33.43%. dando así confiabilidad al modelo.

En la Figura 57 se presentan las concentraciones de materia orgánica simuladas y medidas en el tramo 3 con sus respectivos coeficientes de correlación expuestos en la Tabla 24.



*Figura 57. Simulación de DBO 5 tramo 3 – Escenario 1.
Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 24. Correlación de datos DBO 5 tramo 3 - Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.*

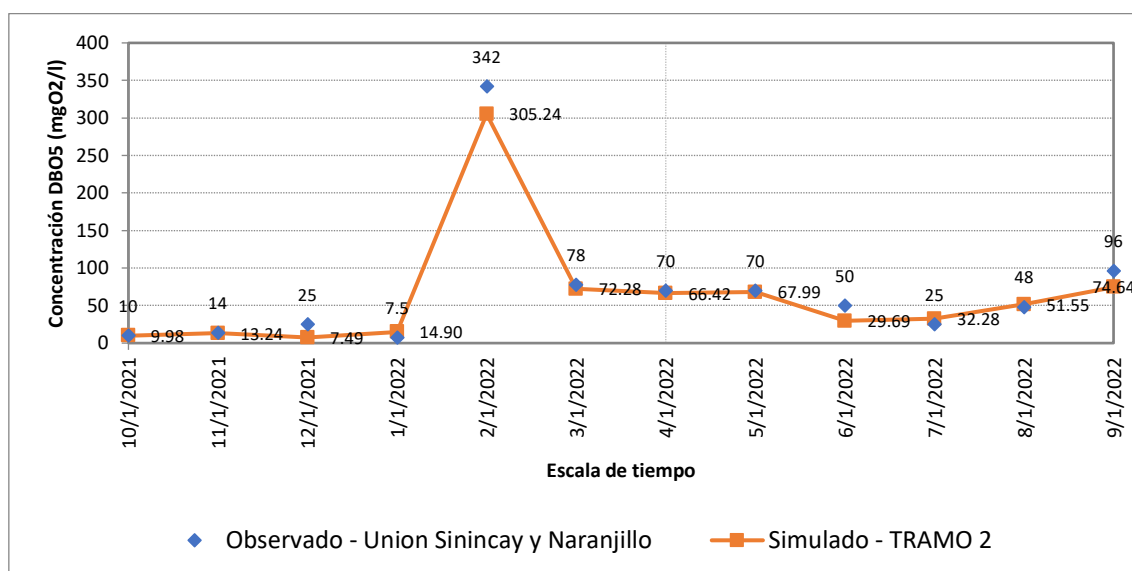
DBO5	Coefficiente R2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.9580	0.1247	19.30%

Para el tramo 3 los valores de DBO 5, tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.9580, indicando la similitud entre los datos observados y simulados, con un RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.1247 mgO₂/l y un MAPE de 19.30%. dando así un modelo confiable.

Como se puede observar en las Figuras 56 y 57 los valores simulados no presentan mucha diferencia con los valores observados, se puede decir que las simulaciones siguen una misma tendencia, además, se puede observar que la contaminación generada por materia orgánica en el tramo 2 es ligeramente mayor que la del tramo 3 ya que presenta un promedio de 54.37 mgO₂/l al mes, mientras que en el tramo 3 se presenta un promedio 51.53 mgO₂/l al mes valores que dan a entender que en el tramo 2 del río Sinincay está intervenida mayoritariamente por actividades domésticas, agrícolas y ganaderas que deben ser controladas para el correcto manejo del recurso hídrico.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) escenario 2.**

En la Figura 58 se presentan las concentraciones de materia orgánica simuladas y medidas para el escenario 2 del tramo 2 conjuntamente con sus respectivos coeficientes de correlación expuestos en la Tabla 25.



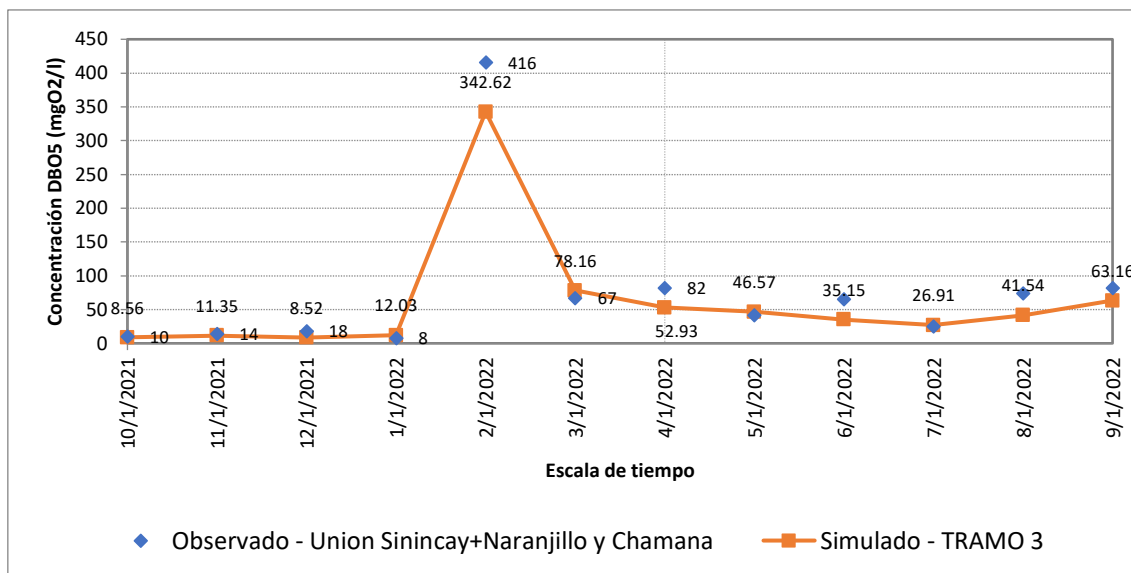
*Figura 58. Simulación de DBO 5 tramo 2 – Escenario 2.
Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 25. Correlación de datos para DBO 5 tramo 2 - Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia.*

DBO5	Coefficiente R2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.9998	0.1532	30.46%

En el Escenario 2 del tramo 2 los valores de DBO 5, tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.99, indicando la similitud muy acertada entre los datos observados y simulados, con un RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.1532 mgO₂/l y un MAPE de 30.46%. dando así modelo un altamente confiable.

En la Figura 59 se presentan las concentraciones de materia orgánica simuladas y medidas en el tramo 3 con sus respectivos coeficientes de correlación expuestos en la Tabla 26.



*Figura 59. Simulación de DBO 5 tramo 3 – Escenario 2.
Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 26. Correlación de datos para DBO 5 tramo 3 - Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia.*

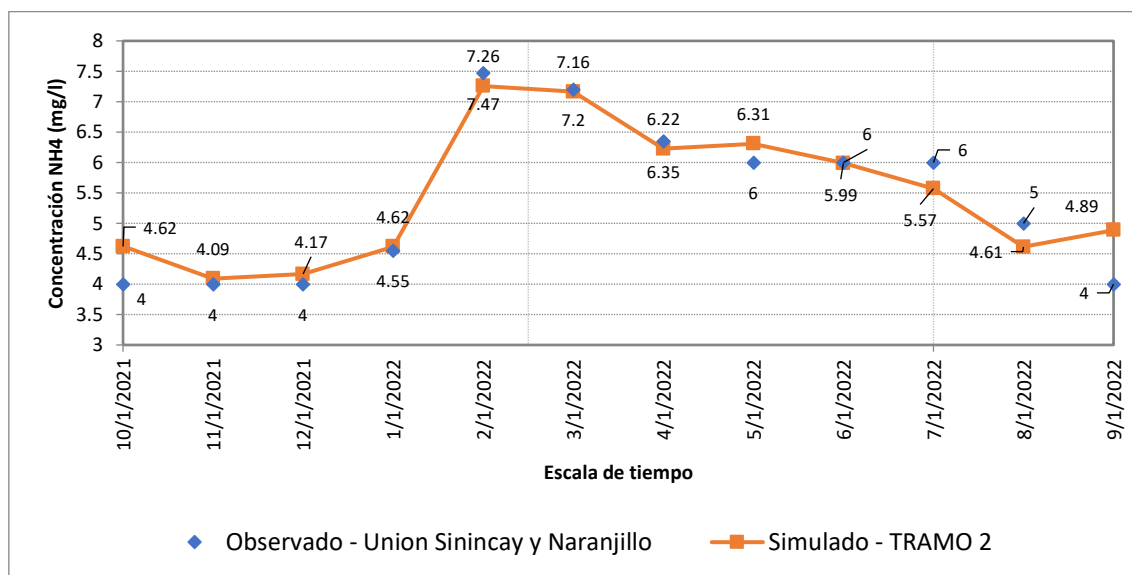
DBO5	Coefficiente R2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.9896	0.2786	30.03%

En el Escenario 2 del tramo 3 los valores de DBO 5, tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.9896, indicando la similitud entre los datos observados y simulados, el RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.2786 mgO₂/l y un MAPE de 30.03%. dando así modelo altamente confiable.

Como se puede observar en las Figuras 58 y 59 los valores simulados no presentan mucha diferencia con los valores observados, se puede decir que las simulaciones siguen una misma tendencia, además, se puede observar que la contaminación generada por materia orgánica en el tramo 2 es menor que la del tramo 3 ya que presenta un promedio de 114.71 mgO₂/l al mes, mientras que en el tramo 3 se presenta un promedio 121.43 mgO₂/l al mes, valores que dan a entender que el río Sinincay está intervenida mayoritariamente por actividades domésticas, agrícolas y ganaderas que deben ser controladas para el correcto manejo del recurso hídrico.

- **Amonio escenario 1.**

En la Figura 60 se presentan las concentraciones de amonio simuladas y medidas para el escenario 1 del tramo 2 los coeficientes de correlación para el amonio se encuentran expuestos en la Tabla 27.



*Figura 60. Simulación de Amonio tramo 2 – Escenario 1.
Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 27. Correlación de datos para Amonio tramo 2 - Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.*

Amonio	Coeficiente R2	Coeficiente (RRMSE)	MAPE
	0.9184	0.0701	5.93%

En el tramo 2 los valores de amonio, tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.9184, indicando la similitud entre los datos observados y simulados, con un RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.0701mg/l y un MAPE de 5.93%. dando así modelo un modelo confiable.

En la Figura 61 se presentan las concentraciones de amonio simuladas y medidas en el tramo 3 conjuntamente con sus coeficientes de correlación expuestos en la Tabla 28.

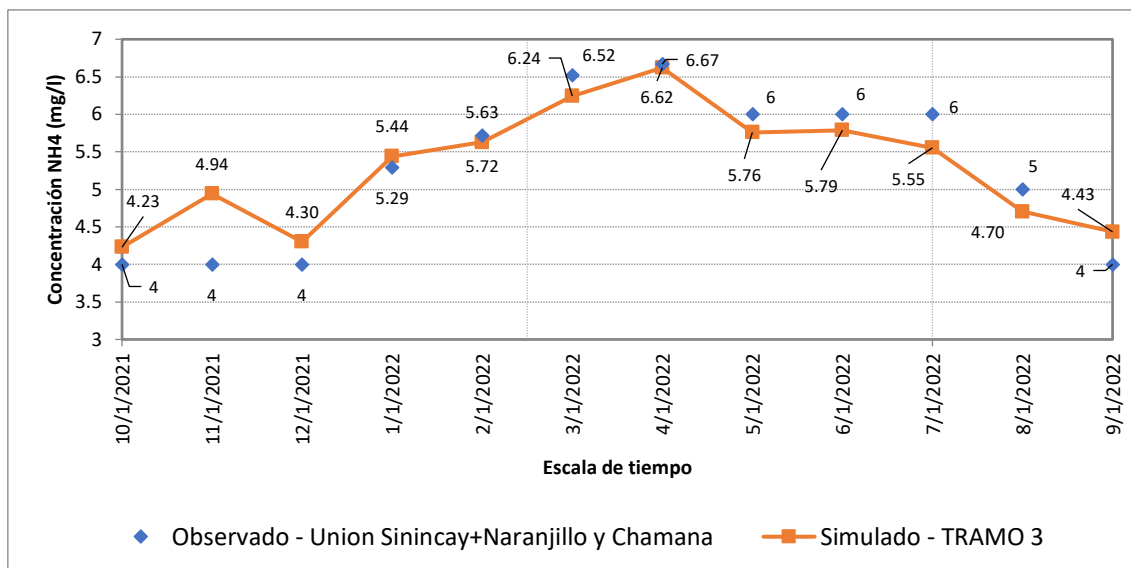


Figura 61. Simulación de Amonio tramo 3 – Escenario 1.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 28. Correlación de datos para Amonio tramo 3 - Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.

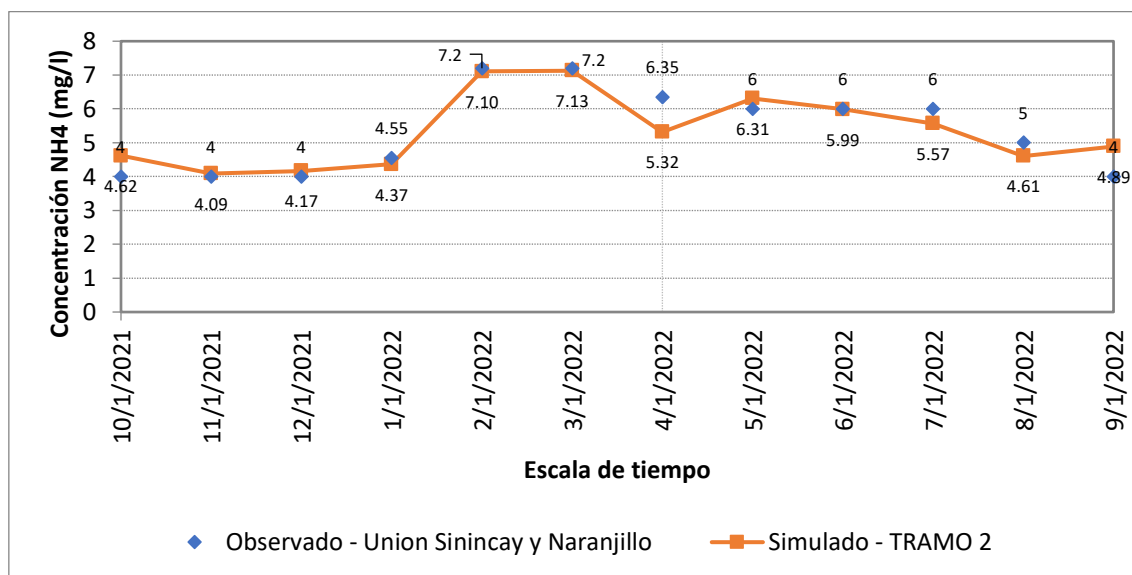
Amonio	Coefficiente R2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.8954	0.0718	6.50%

Para el tramo 3 los valores de amonio, tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.8954, mientras que el RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.0718 mg/l y un MAPE de 6.50%. dando así confiabilidad al modelo.

Como se puede observar en las Figuras 60 y 61 se puede distinguir en los que los valores simulados y observados son parecidos y varían ligeramente ya que en el tramo 2 se presenta una concentración promedio de 6.31 mg/l al mes, mientras que el tramo 3 las concentraciones de amonio están entre un 5.98 mg/l al mes, estas concentraciones altas coinciden con las épocas invernales por lo que se supone que en el periodo de monitoreo existió mayor arrastre de contaminantes debido a la escorrentía superficial.

- **Amonio escenario 2.**

En la Figura 62 se presentan las concentraciones de amonio simuladas y medidas para el escenario 2 del tramo 2 con sus respectivos coeficientes de correlación para el amonio expuestos en la Tabla 29.



*Figura 62. Simulación de Amonio tramo 2 – Escenario 2.
Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 29. Correlación de datos para Amonio tramo 2 - Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia.*

Amonio	Coefficiente R2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.8875	0.0835	5.65%

Para el tramo 2 del escenario 2 los valores de amonio, tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.8875, indicando la similitud entre los datos observados y simulados, con un RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.0835 mg/l y un MAPE de 5.65%. dando así confiabilidad al modelo.

En la Figura 63 se presentan las concentraciones de amonio simuladas y medidas en el tramo 3 conjuntamente con sus coeficientes de correlación expuestos en la Tabla 30.

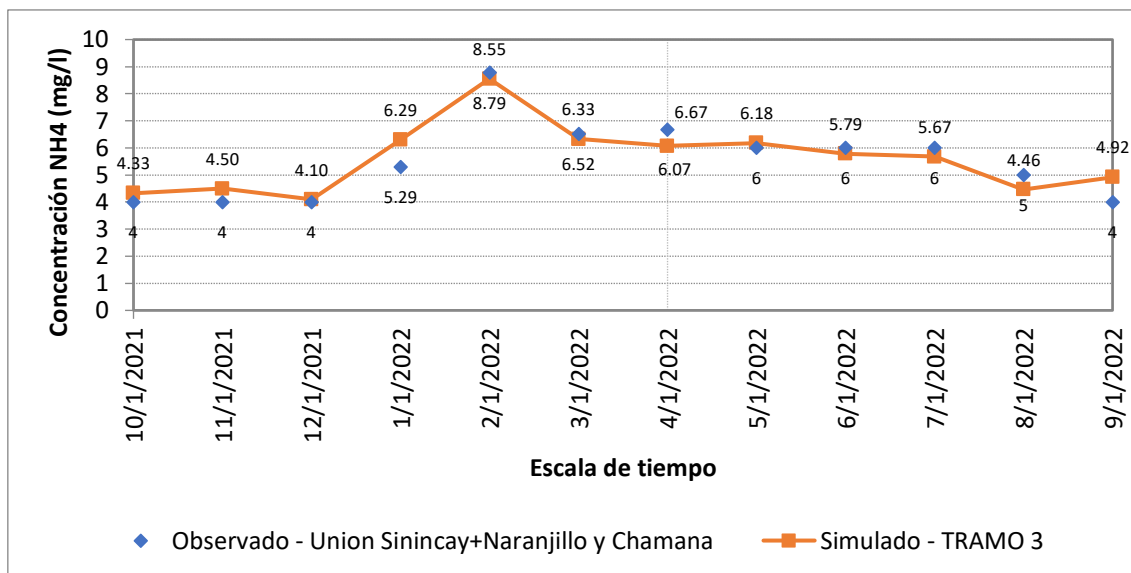


Figura 63. Simulación de Amonio tramo 3 – Escenario 2.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 30. Correlación de datos para Amonio tramo 3 - Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia.

Amonio	Coefficiente R2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.7768	0.0884	8.37%

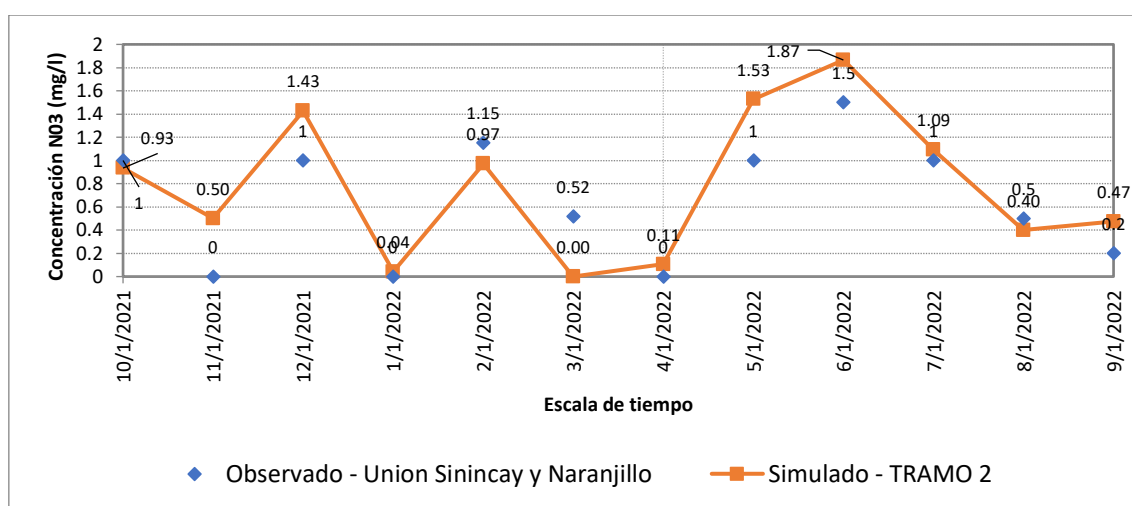
En el Escenario 2 del tramo 3 los valores del amonio, tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.7768, indicando la similitud entre los datos observados y simulados, con un RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.0884 mg/l y un MAPE de 8.37%. dando así modelo un modelo confiable.

Como se observa en la Figuras 60 y 61 los resultados simulados están muy cercanos a los valores observados ya que siguen la misma tendencia, los valores simulados varían poco ya que el tramo 2 presenta una concentración promedio de 5.97 mg/l al mes mientras que en el tramo 3 se presenta un promedio de 6.81 mg/l al mes. estas concentraciones altas coinciden con las épocas invernales por lo que se supone que en el periodo de monitoreo existió mayor arrastre de contaminantes debido a la escorrentía superficial.

- **Nitratos escenario 1.**

El proceso de modelación de los nitratos se tiene en cuenta el efecto de la transformación del amonio y la disminución del mismo debido a los procesos de desnitrificación, para la modelación se consideraron las cargas contaminantes de las aportaciones en la parte alta del río Sinincay y las aportaciones Naranjillo y Chamana.

En la Figura 64 se presentan las concentraciones de Nitratos simuladas y observadas del tramo 2 conjuntamente con sus coeficientes de correlación (Tabla 31.)



*Figura 64. Simulación de Nitratos tramo 2 – Escenario 1.
Fuente: Elaboración Propia.*

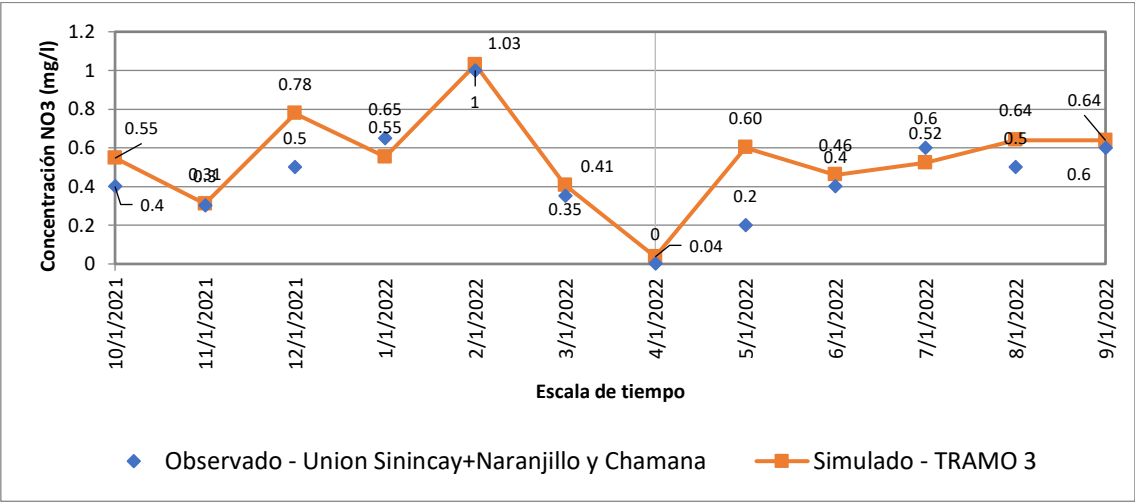
*Tabla 31. Correlación de datos para Nitratos tramo 2 - Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.*

Nitratos	Coefficiente R2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.7799	0.5913	44.65%

Como se observa en el tramo 2 los valores de nitratos, tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.7799, indicando la similitud entre los datos observados y simulados, con un RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.5913 mg/l y un MAPE de 44.65%, los coeficientes RRMSE y el MAPE son elevados debido a que hay

datos de concentraciones observadas elevadas y dispersas lo que indica dicho porcentaje, sin embargo, el coeficiente R^2 indica que es un modelo aceptable.

En la Figura 65 se presentan las concentraciones de Nitratos simulados y observados para el tramo 3 con sus respectivos coeficientes de correlación (Tabla 32).



*Figura 65. Simulación de Nitratos tramo 3 – Escenario 1.
Fuente: Elaboración Propia.*

*Tabla 32. Correlación de datos para Nitratos tramo 3 - Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.*

Nitratos	Coeficiente R2	Coeficiente (RRMSE)	MAPE
	0.9696	0.1259	24.20%

Como se observa en el tramo 3 los valores de nitratos, tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.9696, indicando la similitud entre los datos observados y simulados, con un RRMSE entre los datos simulado y observados de 0.1259 mg/l y un MAPE de 24.20%, esto indica que es un modelo aceptable.

Los nitratos se observan que en el tramo 2 las cargas contaminantes son inferiores a 1.15 mg/l mientras que en el tramo 3 estas son inferiores a 1.03 mg/l, estos nitratos que aparecen son debido a la nitrificación del amonio considerada en la modelación, los datos

simulados siguen la misma tendencia para ambos tramos y no hay mucha discrepancia entre los mismos.

- **Nitratos escenario 2.**

Los resultados de las simulaciones de nitratos al igual que las otras variables de calidad modeladas bajo este escenario fueron realizadas tomando en cuenta los valores atípicos encontrados en las campañas 3, dichos resultados están expuestos en la Figura 66 cuyas correlaciones se exponen en la Tabla 33.

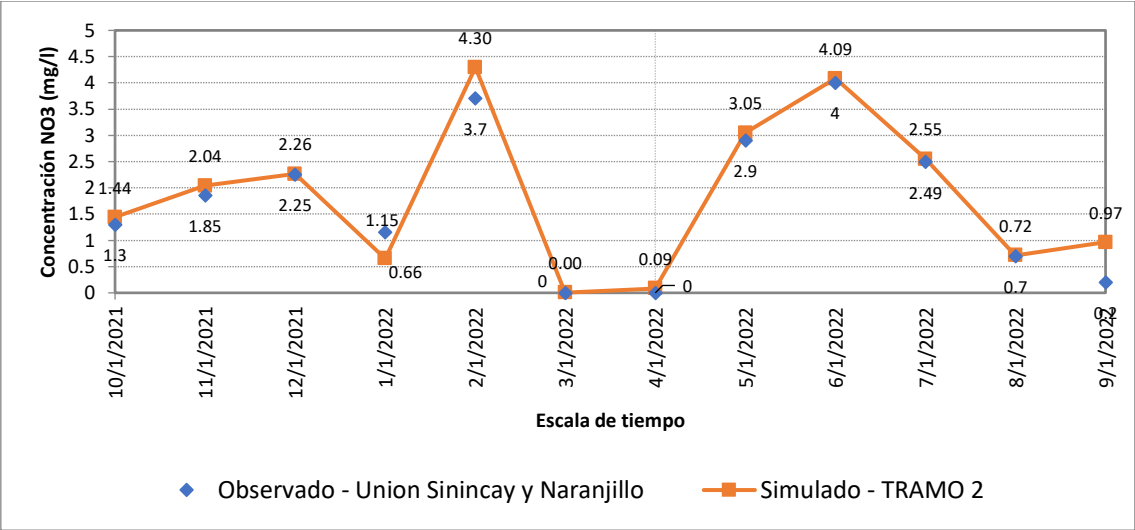


Figura 66. Simulación de Nitratos tramo 2 – Escenario 2.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 33. Correlación de datos para Nitratos tramo 2 - Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia.

Nitratos	Coefficiente R2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.9758	0.2097	13.25%

En el tramo 2 los valores de nitratos, tras su calibración y validación el coeficiente R² es de 0.9758, indicando la similitud entre los datos observados y simulados, con un RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.2097 mg/l y un MAPE de 13.25%. dando así modelo un modelo confiable.

En la Figura 67 se presentan las concentraciones de Nitratos simulados y observados para el Tramo 34 con sus respectivos coeficientes de correlación.

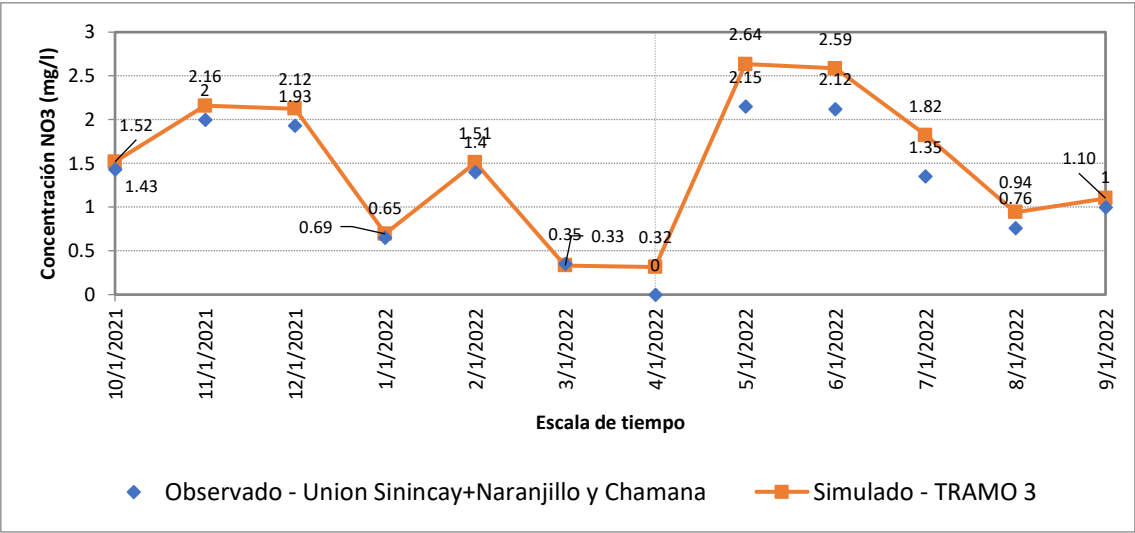


Figura 67. Simulación de Nitratos tramo 3 – Escenario 2.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 34. Correlación de datos para Nitratos tramo 3 - Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia.

Nitratos	Coefficiente R2	Coefficiente (RRMSE)	MAPE
	0.9689	0.1973	58.71%

En el tramo 3 los valores del amonio, tras su calibración y validación el coeficiente R^2 es de 0.9689, indicando la similitud entre los datos observados y simulados, con un RRMSE entre los datos simulados y observados de 0.1973 mg/l y un MAPE de 58.71%, este último indica que la diferencia promedio entre el valor simulado y el valor observado es medianamente aceptable, sin embargo, el coeficiente R^2 indica que el modelo es aceptable.

Como se observa en la Figura 66 y Figura 67 los nitratos en el tramo 2 se simula unos contaminantes altos de hasta 4.30 mg/l, esto puede deberse a que en algún punto aguas arriba de la estación de control en el tramo 2 puede existir vertidos puntuales, mientras

que en el tramo 3 estas son inferiores a 1.51 mg/l, en ambos casos los datos simulados siguen la misma tendencia en sus respectivos tramos.

Al realizar el análisis de cada una de las variables de calidad en los 2 escenarios propuestos para la zona de estudio se observa que los modelos matemáticos llegan a ajustarse a los datos observados en el sistema hídrico teniendo en cuenta las descargas puntuales Naranjillo y Chamana, además, se observa que la capacidad de auto depuración de los cuerpos de agua depende de la reaireación y esta a su vez es muy buena influyendo directamente en las concentraciones de las variables de calidad dando como resultado un ecosistema en condiciones ambientales buena para el escenario 1, mientras que en el escenario 2 a pesar de haber aumentado las concentraciones de cada variable para poder llegar a las concentraciones observadas por encima de los límites permisibles por la legislación ambiental ecuatoriana sobre calidad de agua se pudo observar que las concentraciones simuladas no superan a los observados. Los datos observados del evento atípico obtenido atípico de la campaña 3 denotan altas concentraciones contaminantes para poder hablar de contaminación, si se llegara a producir de forma más frecuente eventos de concentraciones contaminantes altas se deberá implementar procesos de gestión ambiental que involucre a las entidades públicas y a los diferentes actores sociales para la conservación y protección de los recursos naturales.

Al realizar el análisis de las variables de calidad en cada escenario propuesto para la subcuenca del río Sinincay se determina que la capacidad de autodepuración es buena y dependiente de la reaireación influyendo directamente en las variables de calidad.

4.4. Verificación de datos observados y simulados con la legislación ecuatoriana vigente.

De acuerdo a la legislación ecuatoriana vigente se realiza una comparación de acuerdo a los criterios que establece el “ACUERDO MINISTERIAL 097-A”. Donde se hace una verificación con respecto a los “criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces” y a los “criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y uso doméstico”, en la Tabla 35 se presenta el resumen del cumplimiento de los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces de la serie de datos observados y simulados en el escenario 1 para los tramos 2 y 3 del río Sinincay.

*Tabla 35. Resumen de cumplimiento de criterios para la preservación de la vida acuática y silvestre - Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.*

Tramo	PARAMETROS	UNIDAD	Observado			Simulado			CRITERIO DE CALIDAD PERMISIBLE	Valoración					
			Valor Max	Valor min	Media	Valor Max	Valor min	Media		Observado Max	Observado min	Observada media	Simulado Max	Simulado min	Observada media
2	pH	U	7.16	6.50	6.93				(6.5 - 9)	Si	Si	Si			
	Temperatura	°C	18.20	15.77	16.74				Condiciones naturales + - 3	Si	Si	Si			
	Conductividad	µs/cm	134.35	112.20	123.61										
	Oxígeno disuelto	mg/L	7.16	7.05	7.09	8.63	7.57	8.06	> 80% saturación	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Turbidez	NTU	37.90	7.60	21.63										
	Nitratos (NO3)	mg/L	1.15	0.00	0.42	0.97	0	0.28	13	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Amonio (NH4)	mg/L	7.47	4.55	6.39	7.25	4.61	6.31							
	DBO5	mg/L	78.00	7.50	51.41	73.62	15.90	54.37	20	No	Si	No	No	Si	No
3	pH	U	7.09	6.22	6.69				(6.5 - 9)	Si	Si	Si			
	Temperatura	°C	16.90	13.35	15.40				Condiciones naturales + - 3	Si	Si	Si			
	Conductividad	µs/cm	133.85	109.60	120.31										
	Oxígeno disuelto	mg/L	7.25	7.17	7.21	9.11	7.55	8.31	> 80% saturación	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Turbidez	NTU	28.20	9.59	17.47										
	Nitratos (NO3)	mg/L	1.00	0.00	0.50	1.02	0.03	0.50	13	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Amonio (NH4)	mg/L	6.67	5.29	6.05	6.20	5.44	5.98							
	DBO5	mg/L	82.00	8.00	51.00	76.87	11.36	51.53	20	No	Si	No	No	Si	No

Como se puede observar en la Tabla 35 los valores máximos, mínimos y promedios observados en el escenario 1 de pH y temperatura en los tramos 2 y 3 son aceptables de acuerdo a los límites permisibles por la norma, al igual que la serie de datos observados y simulados de Nitratos y oxígeno disuelto, mientras que las concentraciones de DBO5 registrados y simulados superan los límites permisibles por la norma.

En la Tabla 36 se presenta el cumplimiento de los datos simulados y observados con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces de los datos observados y simulados para el tramo 2 y 3 en el escenario 2 del río Sinincay.

Tabla 36. Resumen de cumplimiento de criterios para la preservación de la vida acuática y silvestre - Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia.

Escenario 2			Observado			Simulado			CRITERIO DE CALIDAD PERMISIBLE	Valoración					
Tramo	PARAMETROS	UNIDAD	Valor Max	Valor min	Media	Valor Max	Valor min	Media		Observado Max	Observado min	Observada media	Simulado Max	Simulado min	Simulada media
2	pH	U	7.16	6.50	6.93				(6.5 - 9)	Si	Si	Si			
	Temperatura	°C	18.20	15.77	16.74				Condiciones naturales + - 3	Si	Si	Si			
	Conductividad	µs/cm	134.35	112.20	123.61										
	Oxígeno disuelto	mg/L	7.16	7.05	7.12	8.53	7.32	7.90	> 80% saturación	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Turbidez	NTU	37.90	7.60	21.63										
	Nitratos (NO3)	mg/L	2.35	0.00	0.88	3.85	0	1.14	13	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Amonio (NH4)	mg/L	7.20	4.55	6.33	7.13	4.36	5.97							
	DBO5	mg/L	342.00	7.50	124.38	305.23	14.89	114.71	20	No	Si	No	No	Si	No
3	pH	U	7.09	6.22	6.69				(6.5 - 9)	Si	Si	Si			
	Temperatura	°C	16.90	13.35	15.40				Condiciones naturales + - 3	Si	Si	Si			
	Conductividad	µs/cm	133.85	109.60	120.31										
	Oxígeno disuelto	mg/L	7.35	7.17	7.25	9.26	7.57	8.41	> 80% saturación	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Turbidez	NTU	28.20	9.59	17.47										
	Nitratos (NO3)	mg/L	1.30	0.00	0.58	1.51	0.31	0.71	13	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Amonio (NH4)	mg/L	8.79	5.29	6.82	8.55	6.07	6.81							
	DBO5	mg/L	416.00	8.00	143.25	342.61	12.03	121.43	20	No	Si	No	No	Si	No

Como se observa en la Tabla 36 las concentraciones máximas, mínimas y promedios de pH y temperatura cumplen con los límites máximos permisibles al igual que los valores observados y simulados de nitratos y oxígeno disuelto en los tramos 2 y 3, mientras que las concentraciones de DBO5 superan significativamente los límites permisibles por la norma.

A continuación, se realiza de la misma manera una comparativa con los criterios permisibles para consumo humano y uso doméstico del cumplimiento de los datos observados y modelados para el escenario 1 como se muestra en la tabla 37.

*Tabla 37. Resumen de cumplimiento de concentraciones para consumo Humano - Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.*

Escenario 1			Observado			Simulado			CRITERIO DE CALIDAD PERMISIBLE	Valoración					
Tramo	PARAMETROS	UNIDAD	Valor Max	Valor min	Media	Valor Max	Valor min	Media		Lim Max Permissible	Observado Max	Observado min	Observada media	Simulado Max	Simulado min
2	pH	U	7.16	6.50	6.93				(6 - 9)	Si	Si	Si			
	Temperatura	°C	18.20	15.77	16.74				Condiciones naturales +3	Si	Si	Si			
	Conductividad	µs/cm	134.35	112.20	123.61										
	Oxígeno disuelto	mg/L	7.16	7.05	7.09	8.63	7.57	8.06							
	Turbidez	NTU	37.90	7.60	21.63				100	Si	Si	Si			
	Nitratos (NO3)	mg/L	1.15	0.00	0.42	0.97	0	0.28	50	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Amonio (NH4)	mg/L	7.47	4.55	6.39	7.25	4.61	6.31							
	DBO5	mg/L	78.00	7.50	51.41	73.62	15.90	54.37	<2	No	No	No	No	No	No
3	pH	U	7.09	6.22	6.69				(6 - 9)	Si	Si	Si			
	Temperatura	°C	16.90	13.35	15.40				21	Si	Si	Si			
	Conductividad	µs/cm	133.85	109.60	120.31										
	Oxígeno disuelto	mg/L	7.25	7.17	7.21	9.11	7.55	8.31							
	Turbidez	NTU	28.20	9.59	17.47				100	Si	Si	Si			
	Nitratos (NO3)	mg/L	1.00	0.00	0.50	1.02	0.03	0.50	50	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Amonio (NH4)	mg/L	6.67	5.29	6.05	6.20	5.44	5.98	0.05						
	DBO5	mg/L	82.00	8.00	51.00	76.87	11.36	51.53	2	No	No	No	No	No	No

Como se observa en la Tabla 37, el escenario 1 de acuerdo a los límites máximos permisibles para consumo humano, los valores observados de pH y temperatura, son

aceptables en los tramos 2 y 3, también se puede ver que los valores observados y simulados de nitratos cumplen de los criterios permisibles, sin embargo, las concentraciones de DBO5 muestran valores máximos y mínimos que están muy por encima del límite permisible por la norma en los tramos 2 y 3.

En la Tabla 38 se presenta el cumplimiento de los datos simulados y observados con los criterios de descargas permisibles para consumo humano y uso doméstico de los tramos 2 y 3 en el escenario 2.

*Tabla 38. Resumen de cumplimiento de concentraciones para consumo Humano - Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia.*

Escenario 2			Observado			Simulado			CRITERIO DE CALIDAD PERMISIBLE	Valoración					
Tramo	PARAMETROS	UNIDAD	Valor Max	Valor min	Media	Valor Max	Valor min	Media		Observado Max	Observado min	Observada media	Simulado Max	Simulado min	Simulada media
2	pH	U	7.16	6.50	6.93				(6 - 9)	Si	Si	Si			
	Temperatura	°C	18.20	15.77	16.74				Condiciones naturales +-3	Si	Si	Si			
	Conductividad	µs/cm	134.35	112.20	123.61										
	Oxígeno disuelto	mg/L	7.16	7.05	7.12	8.53	7.32	7.90							
	Turbidez	NTU	37.90	7.60	21.63				100	Si	Si	Si			
	Nitratos (NO3)	mg/L	2.35	0.00	0.88	3.85	0	1.14	50	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Amonio (NH4)	mg/L	7.20	4.55	6.33	7.13	4.36	5.97	0.05						
	DBO5	mg/L	342.00	7.50	124.38	305.23	14.89	114.71	<2	No	No	No	No	No	No
3	pH	U	7.09	6.22	6.69				(6 - 9)	Si	Si	Si			
	Temperatura	°C	16.90	13.35	15.40				Condiciones naturales +-3	Si	Si	Si			
	Conductividad	µs/cm	133.85	109.60	120.31										
	Oxígeno disuelto	mg/L	7.35	7.17	7.25	9.26	7.57	8.41							
	Turbidez	NTU	28.20	9.59	17.47				100	Si	Si	Si			
	Nitratos (NO3)	mg/L	1.30	0.00	0.58	1.51	0.31	0.71	50	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	Amonio (NH4)	mg/L	8.79	5.29	6.82	8.55	6.07	6.81	0.05						
	DBO5	mg/L	416.00	8.00	143.25	342.61	12.03	121.43	<2	No	No	No	No	No	No

Como se observa en la Tabla 38 en el escenario 2 los valores observados de pH y temperatura en los tramos 2 y 3 son aceptables al igual que los valores observados y

simulados de nitratos, pero no se cumple con los límites máximos permisibles en las concentraciones observadas y simuladas de DBO5.

En este punto se observa que los resultados de las simulaciones conjuntamente con el contraste de los datos observados y sus respectivas comparaciones con los límites permisibles que dicta la norma ecuatoriana en los escenarios planteados, se precisa que, las condiciones ambientales del ecosistema son regulares debido a que se llegan a cumplir con los criterios de calidad de pH, temperatura, oxígeno disuelto y nitratos, mientras que las series de datos simuladas y observadas de DBO5 evidencian altas concentraciones los cuales impiden que ciertas especies de animales como peces o anfibios puedan vivir en este ecosistema acuático.

Siguiendo la misma analogía se verifica que los criterios de calidad para consumo humano y uso doméstico son malas debido a que no se cumplen los límites permisibles para DBO5 siendo valores que se encuentran muy por encima de los 2 mg/l que establece la norma para los 2 escenarios planteados, dado estos resultados se debe implementar medidas y procesos de gestión ambiental para la conservación y protección de los recursos naturales que ofrece la subcuenca del río Sinincay.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

- Se concluye que el modelo matemático “AQUATOOL” se ajusta correctamente a la serie de datos observados en campo, el cual responde correctamente a los escenarios planteados, debido a que la serie de datos de las variables de calidad medidas para el sistema adoptado (obviando a descargas puntuales y contaminación difusa que existe en la zona) están siguiendo una misma tendencia lógica de resultados, todos estos resultados se encuentran en un rango de correlación R^2 entre las series simuladas y observadas mayor al 0.7 al igual que la correlación RRMSE menor que el 0.3 y MAPE por debajo del 30%, características que dan seguridad al modelo matemático para poder predecir condiciones futuras, además que puede ser utilizar en futuras investigaciones alimentadas conjuntamente con una nueva serie de datos provenientes de las campañas de monitoreo generando nuevas simulaciones y así poder tomar decisiones para la gestión adecuada de los recursos hídricos.
- En el modelo matemático AQUATOOL de la subcuenca del río Sinincay se pudo establecer que las constantes cinéticas de degradación de cada uno de las variables de calidad gobiernan a los tramos del río Sinincay y a sus afluentes de acuerdo al sistema propuesto, cabe recalcar que en las constantes cinéticas en el tramo 2 pueden variar significativamente a excepción de los otros dos tramos, ya que la las constantes cinéticas del tramo 2 tienen alta sensibilidad debido a la longitud de 2.200 m que posee y conjuntamente con otras características como la velocidad de las corrientes y aguas turbulentas las cuales desarrollan constante oxigenación favoreciendo que los contaminantes se degraden más rápido, cabe recalcar que

solo se tiene un punto de control en este tramo, lo que permite tener una visión generalizada de lo que está pasando sin tomar en cuenta las condiciones antrópicas que se presentan, mismo que deberá ser perfeccionado en futuras investigaciones estableciendo mas puntos de control.

- Al realizar un diagnóstico previo de la subcuenca del río Sinincay, se determinó que el pH en todo el sistema está en un rango neutro ya que se han registrado valores entre 6.22 a 7,54, los valores de turbiedad son mucho más altas en el río Sinincay por que presenta valores promedios de 25.68 NTU, mientras que los valores del Naranjillo y Chamana son muy parecidos con medias de 8.03 y 7.58 NTU respectivamente. A demás, se han registrado variabilidades altas de conductividad eléctrica, ya que en el sistema el río Naranjillo se tienen valores elevados hasta de 178.9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ que influyen directamente al río Sinincay, el río Chamana registra valores próximos en una media de 110.57 $\mu\text{s}/\text{cm}$, valores que representan altos contenidos de sales a diferencia del río Sinincay que no presenta mucha variabilidad de conductividad eléctrica que están en un promedio de 86.28 $\mu\text{s}/\text{cm}$, lo que indica que en el río Naranjillo podría ser el más contaminado por lo cual deberá ser investigado más a fondo al igual que el río Chamana.
- La variable de calidad a la que no se realizó proceso de calibración de la constante cinética fue la concentración de oxígeno disuelto ya que el mismo se calculó de forma automática por el método “Covar”, método que fue independiente a las otras variables de calidad pero a pesar de esto los valores que se obtuvieron están entre 7.25 a 10 mgO_2/l valores que se pudieron contrastar con los valores obtenidos en el trabajo autónomo de campo, al calcular el oxígeno disuelto por el método “Covar” nos permitió que las otras variables de calidad como la materia orgánica, amonio y nitratos se ajusten lo más cercano de manera adecuada a los

datos observados, permitiendo que el modelo tenga la seguridad de predecir concentraciones futuras de cada variable modelada, además sirve como herramienta de gestión ambiental que contribuya con la protección de los cuerpos de agua de los ríos Sinincay, Naranjillo y Chamana.

- Al analizar cada una de las variables de calidad en los diferentes escenarios propuestos para la subcuenca en estudio, se concluye que la capacidad de autodepuración depende mucho de la reaeración lo que quiere decir que esta a su vez es muy buena debido a que los sistemas hídricos montañosos modelados poseen una alta capacidad de autodepuración, ya que para ajustar las series simuladas a las observadas se tuvo que aumentar considerablemente las concentraciones de las variables de calidad en las aportaciones específicas en el periodo de simulación, esta situación quiere decir que los sistemas hídricos modelados poseen una alta capacidad de asimilación por sus turbulentas aguas, pequeños calados tomando en cuenta las dimensiones de las longitudes de los tramos ya que al considerar grandes dimensiones permiten que el sistema este en constante oxigenación, facilitando así que los procesos de degradación de las concentraciones de contaminantes presentes en el agua sean más rápidas.
- Al realizar las comparativas de los datos simulados y observados con la normativa ecuatoriana, se concluye que en los escenarios 1 y 2 cumple con los criterios admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces de pH, temperatura, al igual que las series observadas y simuladas de oxígeno disuelto y nitratos, mientras que la DBO5 cuya media observada y simulada superan los criterios admisibles por lo cual el ecosistema acuático esta condicionada a seres microorganismos especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), mientras que al comparar la serie datos observados y simulados

de los dos escenarios con los criterios máximos admisibles para consumo humano y uso doméstico se concluye se cumple los criterios de calidad de pH, temperatura y turbidez, al igual que la serie de datos observados y simulados de nitratos, sin embargo las concentraciones de DBO5 observadas y simuladas no cumplen los criterios ya que se registran valores mínimos que están por encima de lo permisible por la norma el cual da a entender que la calidad de agua para consumo humano es muy mala debido a que este sería un indicador de una alta presencia de microorganismos perjudiciales para el ser humano, por tal motivo se deberá implementar medidas de preservación y mitigación, para la conservación y protección de los recursos naturales que ofrece la microcuenca del río Sinincay.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Tener mucho cuidado en lo que a toma y conservación de muestras se refiere. La correcta y adecuada toma de muestras de agua es el inicio del éxito para que se dé un correcto análisis en el laboratorio, recomendamos seguir los procedimientos para la toma de muestras que establece la AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) “METODOS NORMALIZADOS para el análisis de aguas potables y residuales”, al empezar un muestreo adecuado que represente la mayor parte del cuerpo de agua en análisis se garantiza la confiabilidad de los resultados de los procesos posteriores. Los resultados que se han obtenido en laboratorio ofrecen una mejor visión de las características y la situación que poseen las aguas analizadas y da una idea general de la problemática en el lugar.
- Para tener un modelo matemático de calidad de agua más robusto es preciso ampliar la frecuencia de muestreo y monitoreo de los parámetros escogidos con el fin de contar con más datos que den una visión más amplia del mismo y a su vez esta pueda predecir con mucha más exactitud las condiciones futuras que puedan poner en riesgo al sistema hídrico.
- Se recomienda implementar más puntos de monitoreo y aforo en el tramo 2 del río Sinincay debido a que los resultados de la simulación nos presentan una visión generalizada por su gran longitud ya que se tiene incertidumbre de los procesos antrópicos que se generan en el tramo, además de poder considerar algunas fuentes de contaminación como descargas puntuales o contaminación difusa provenientes de diferentes actividades humanas.

- Tener en cuenta la verificación de la concordancia de los datos medidos y cada uno de las variables de calidad simuladas, teniendo en cuenta si son suficientes los parámetros para determinar la calidad de agua del sistema hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

- Abel Solera, J. P. (Septiembre de 2015). AQUATOOL+ Manual de Usuario. *AQUATOOL+*. Valencia, España.
- Acuerdo Ministerial No. 097-A. (30 de Julio de 2015). Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico. 10-14. Quito, Pichincha, Ecuador.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, A. W. (1992). *MÉTODOS NORMALIZADOS PARA EL ANÁLISIS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES*. Madrid: Díaz de Santos.
- Bruno Tassin, D. R. (23 de Julio de 2015). Mathematical Submodels in Water Quality Systems. *Microbial decomposition*, 220. Recuperado el 18 de Agosto de 2022
- Chow, V. T. (1959). *Hidráulica de los canales abiertos*. Champaign: University of Illinois.
- De León Alicia, E. M. (2011). IMPLEMENTACION DE UN MODELO MATEMATICO PARA EVALUAR LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO PARANÁ DE LAS PALMAS. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente; vol. 15*, 55-62. Recuperado el 15 de Septiembre de 2022, de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/102662>
- Delfa, J. L. (2007). Estudio estadístico de la calidad de las aguas de la cuenca hidrográfica del río Ebro. Madrid, España.
- Franklin Torres Bejarano, H. R.-L. (2015). Validación de un modelo hidrodinámico y calidad del agua para el Río Magdalena, en el tramo adyacente a Barranquilla, Colombia. *Scielo*, 7.
- Israel, C. M. (2017). Balance de materia para la modelación de la calidad. *Modelación de la calidad de agua en la microcuenca del río Tabacay perteneciente a la subcuenca del río Burgay*. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- JESSICA KARINA CARVAJAL MEJÍA, M. J. (Junio de 2019). DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Lorena Bracho Vargas, L. A. (18 de Noviembre de 2016). Definición del Qual2k. *Evaluación del software qual2k en fuentes receptoras de vertimientos de residuos líquidos en algunos puntos del río Cesar (Colombia) impactados por actividad minera*. Colombia.
- Montoya, C. L. (2011). EFECTO DEL INCREMENTO EN LA TURBIEDAD DEL AGUA CRUDA SOBRE LA EFICIENCIA DE PROCESOS CONVENCIONALES DE POTABILIZACIÓN. *Revista EIA*, 137-148.

- Paredes, J. S. (2007). *Modelo GESCAL para la simulación de la calidad del agua de recursos hídricos. Manual de usuario. Versión 1.0"*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial-Sinincay. (2015). 1. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del Agua: Evaluación y diagnóstico*. Medellín: EDICIONES DE LA U.
- Rodriguez, M. (2013). Recursos para Agricultores Nitrato en el Agua Potable. *Water Boards* , 1.
- Rojas, J. A. (2009). *Calidad del Agua*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- waterboards*. (25 de Octubre de 2021). Obtenido de <https://www.waterboards.ca.gov/>

ANEXOS

ANEXO 1.



ESTACIÓN DE AFORO – Río Naranjillo.

COORDENADAS

E	N
9684303,19	721190,691
PARROQUIA	Sinincay
CANTÓN	Cuenca
PROVINCIA	Azuay
TEMPERATURA AGUA, °C	14.19
ALTITUD, msnm	2637

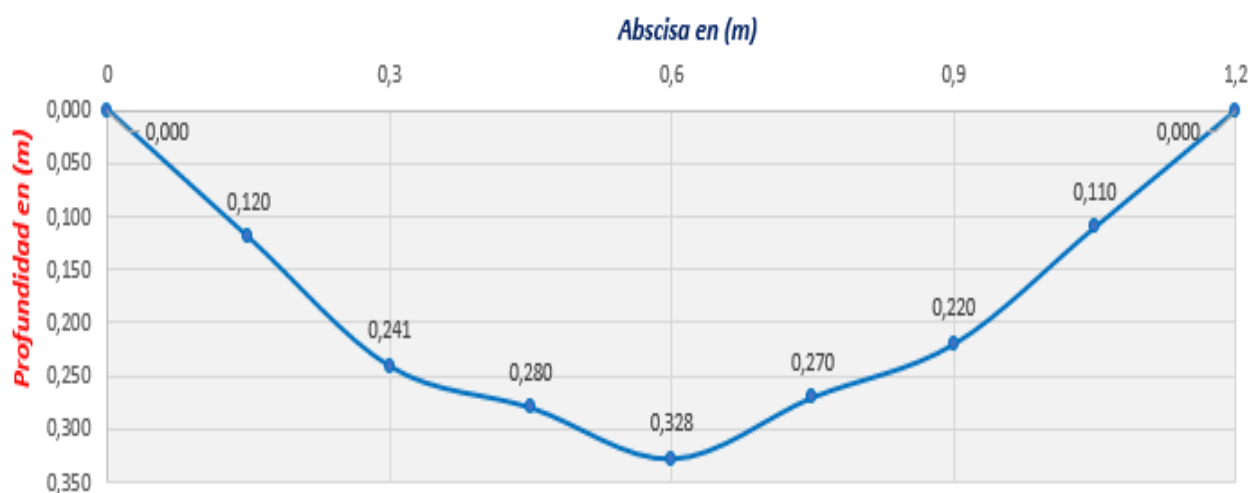


PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS

Área, m ²	Velocidad, m/s	Caudal, m ³ /s	Profundidad, m	Ancho, m
0.236	0.091	0.022	0.157	1.20

SECCIÓN DE AFORO

SECCIÓN DE AFORO RIO NARANJILLO



ESTACIÓN DE AFORO – Río Sinincay + Naranjillo.

COORDENADAS

E	N
9684215,81	722707,45
PARROQUIA	Sinincay
CANTÓN	Cuenca
PROVINCIA	Azuay
TEMPERATURA AGUA, °C	15.77
ALTITUD, msnm	2636

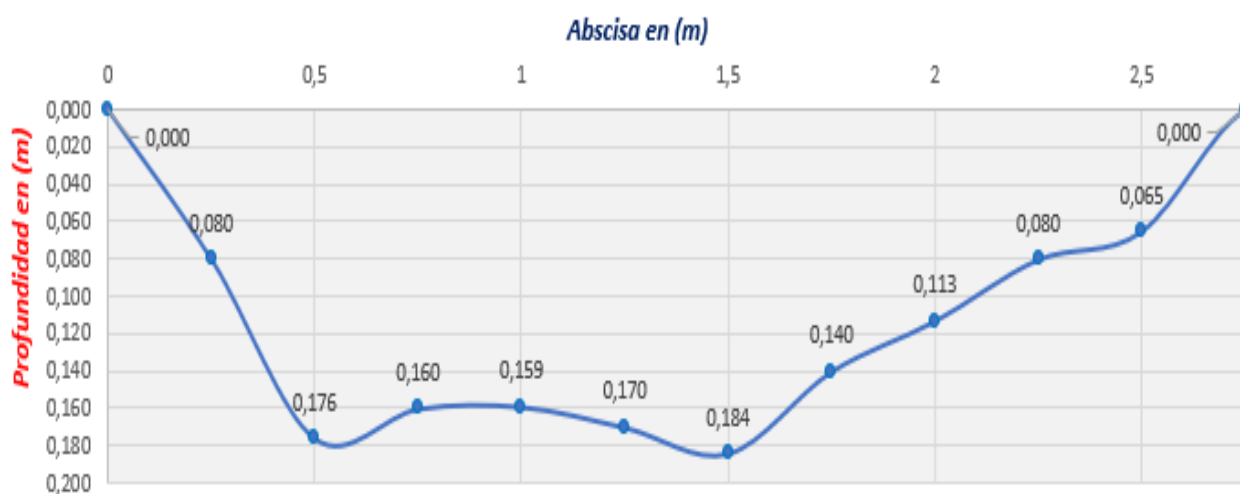


PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS

Área, m ²	Velocidad, m/s	Caudal, m ³ /s	Profundidad, m	Ancho, m
0.348	0.609	0.213	0.099	3.00

SECCIÓN DE AFORO

SECCIÓN DE AFORO UNION RIO SININCAY Y NARANJILLO



ESTACIÓN DE AFORO – Río Chamana.

COORDENADAS

E	N
9684220,04	722726,04
PARROQUIA	Sinincay
CANTÓN	Cuenca
PROVINCIA	Azuay
TEMPERATURA AGUA, °C	13.61
ALTITUD, msnm	2563

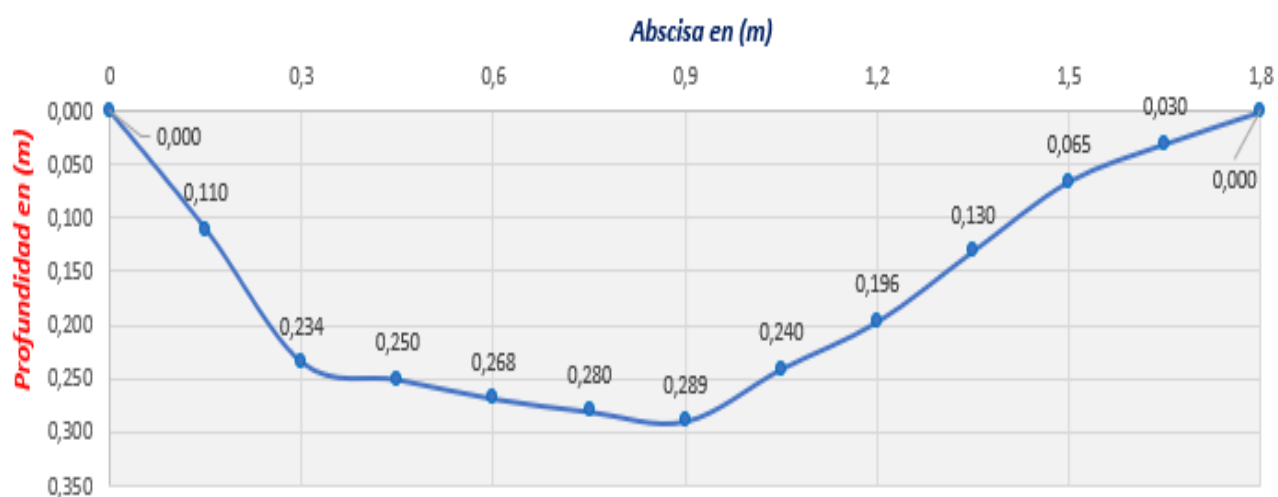


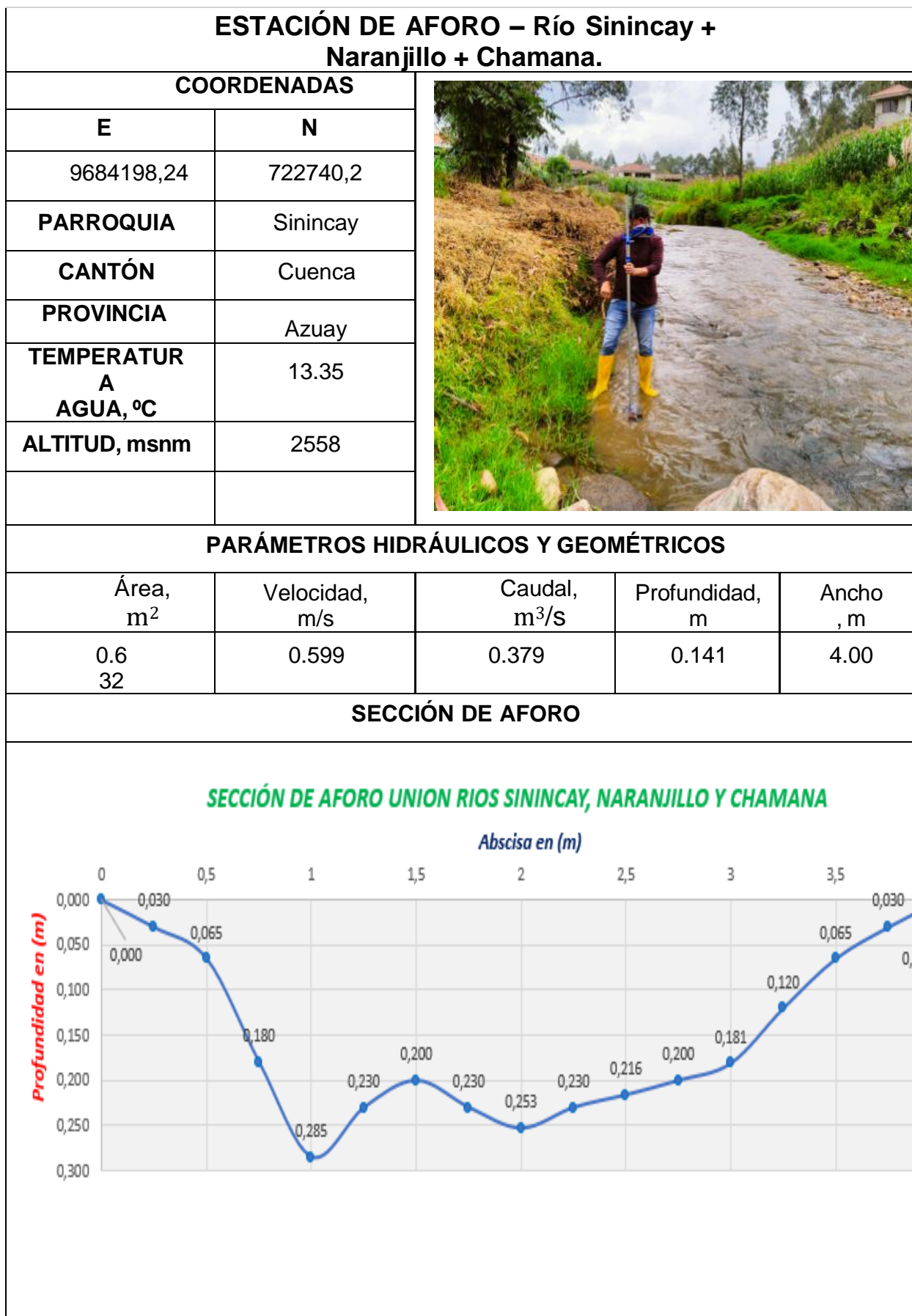
PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y GEOMÉTRICOS

Área, m ²	Velocidad, m/s	Caudal, m ³ /s	Profundidad, m	Ancho, m
0.31 5	0.546	0.172	0.150	1.80

SECCIÓN DE AFORO

SECCIÓN DE AFORO RIO CHAMANA





ANEXO 2.

Resultados de datos de parámetros físico químicos obtenidos en laboratorio.

Campaña 1.




 Universidad Católica de Cuenca	CIITT- LABORATORIO DE CONTAMINACION Y AGUAS		
	RESIDUALES		
HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE			
CODIGO: UCC-LCAR-F06	ELABORADO: Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	ELABORADO Y REVISADO: Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	Nº INFORME: IN-CAR-038
CODIGO MUESTRA:	CAR-001-005	FECHA DE EMISION DEL INFORME:	28/1/2022
PROYECTO:	Desarrollo de un modelo de calidad de agua de los ríos Sinincay, Chamana, Naranjillo de la Provincia del Azuay	SOLICITANTE:	Diego Arreaga/Frank Puente
UNIDAD ACADEMICA SOLICITANTE:	Ingeniería Civil	RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	Diego Arreaga/Frank Puente
TIPO DE MUESTRA:	Agua Natural	MODO DE CONSERVACIÓN:	Refrigeración
FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:	27/1/2022	HORA DE RECOLECCION:	8:00
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:	27/1/2022	HORA DE RECEPCION:	10:00
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS	27/1/2022	FECHA DE FIN DE ENSAYOS:	27/1/2022

Análisis	Método de Referencia / Técnica	Unidad	Punto	MUESTRA		
				Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Límite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	P1	6,5	20 mg/L	0-700 mg/L
		mg/L	P2	6		
		mg/L	P3	7,5		
		mg/L	P4	10		
		mg/L	P5	8		
Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	P1	0	13 mg/L	0,3-30 mg/L
		mg/L	P1	0,2		
		mg/L	P2	1,9		
		mg/L	P2	1,5		
		mg/L	P3	0,9		
		mg/L	P3	1,4		
		mg/L	P4	0		
		mg/L	P4	3,8		
		mg/L	P5	0,9		
		mg/L	P5	0,4		

Amonio	Método del Salicilato 10031 Hach	mg/L	P1	4,34	No aplica	0,4-50 mg/L NH ₃
		mg/L	P2	4,76		
		mg/L	P3	4,55		
		mg/L	P4	6,46		
		mg/L	P5	5,29		
Turbidez	Método 2130-Literal B	NTU	P1	9,62	No aplica	No aplica
		NTU	P2	13,1		
		NTU	P3	7,6		
		NTU	P4	17,7		
		NTU	P5	9,59		

NOTAS:	
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	1: LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO, SON COMPARADOS CON LIBRO VI ANEXO 1: TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS

Observaciones:

 	
<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> Coordinador de Laboratorio	<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> Técnico Responsable

Campaña 2.




 Universidad Católica de Cuenca	CIITT- LABORATORIO DE CONTAMINACION Y AGUAS RESIDUALES		
	HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE		
CODIGO: UCC-LCAR-F06	ELABORADO: Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	ELABORADO Y REVISADO: Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	Nº INFORME: IN-CAR-039
CODIGO MUESTRA:	CAR-001-005	FECHA DE EMISION DEL INFORME:	14/2/2022
PROYECTO:	Desarrollo de un modelo de calidad de agua de los ríos Sinincay, Chamana, Naranjillo de la Provincia del Azuay	SOLICITANTE:	Diego Arreaga/Frank Puente
UNIDAD ACADEMICA SOLICITANTE:	Ingeniería Civil	RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	Diego Arreaga/Frank Puente
TIPO DE MUESTRA:	Agua Natural	MODO DE CONSERVACIÓN:	Refrigeración
FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:	10/2/2022	HORA DE RECOLECCION:	8:00
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:	10/2/2022	HORA DE RECEPCION:	10:00
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS	10/2/2022	FECHA DE FIN DE ENSAYOS:	10/2/2022

Análisis	Método de Referencia / Técnica	Unidad	Punto	MUESTRA		
				Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Límite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	P1	15	20 mg/L	0-700 mg/L
		mg/L	P2	26		
		mg/L	P3	26,3		
		mg/L	P4	25		
		mg/L	P5	18		
Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	P1	0	13 mg/L	0,3-30 mg/L
		mg/L	P1	0		
		mg/L	P2	0		
		mg/L	P2	0		
		mg/L	P3	1,4		
		mg/L	P3	0,7		
		mg/L	P4	1,6		
		mg/L	P4	2,2		
		mg/L	P5	1,4		
		mg/L	P5	1,2		

Amonio	Método del Salicilato 10031 Hach	mg/L	P1	4,76	No aplica	0,4-50 mg/L NH ₃
		mg/L	P2	4,97		
		mg/L	P3	6,35		
		mg/L	P4	4,55		
		mg/L	P5	4,97		
Turbidez	Método 2130-Úteral: B	NTU	P1	3,13	No aplica	No aplica
		NTU	P2	3,8		
		NTU	P3	10,7		
		NTU	P4	4,72		
		NTU	P5	8,7		

NOTAS:	1: LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO, SON COMPARADOS CON LIBRO VI ANEXO 1: TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	

Observaciones:

 	
Coordinador de Laboratorio	Técnico Responsable

Campana 3.


 CIITT- LABORATORIO DE CONTAMINACION Y AGUAS RESIDUALES HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE			
CODIGO: UCC-LCAR-F06	ELABORADO: Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	ELABORADO Y REVISADO: Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	Nº INFORME: IN-CAR-040
CODIGO MUESTRA:	CAR-001-005	FECHA DE EMISION DEL INFORME:	3/3/2022
PROYECTO:	Desarrollo de un modelo de calidad de agua de los rios Sinincay, Chamana, Naranjillo de la Provincia del Azuay	SOLICITANTE:	Diego Arreaga/Frank Puente
UNIDAD ACADEMICA SOLICITANTE:	Ingenieria Civil	RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	Diego Arreaga/Frank Puente
TIPO DE MUESTRA:	Agua Natural	MODO DE CONSERVACION:	Refrigeración
FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:	24/2/2022	HORA DE RECOLECCION:	8:00
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:	24/2/2022	HORA DE RECEPCION:	10:00
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS	24/2/2022	FECHA DE FIN DE ENSAYOS:	24/2/2022

Análisis	Método de Referencia / Técnica	Unidad	Punto	MUESTRA		
				Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Límite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	P1	142	20 mg/L	0-700 mg/L
		mg/L	P2	158		
		mg/L	P3	342		
		mg/L	P4	148		
		mg/L	P5	416		
Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometria	mg/L	P1	1,5	13 mg/L	0,3-30 mg/L
		mg/L	P1	1,5		
		mg/L	P2	21,9		
		mg/L	P2	24,3		
		mg/L	P3	3,7		
		mg/L	P3	1		
		mg/L	P4	1,6		
		mg/L	P4	0,9		
		mg/L	P5	0		
		mg/L	P5	0		

Amonio	Método del Salicilato 10031 Hach	mg/L	P1	5,71	No aplica	0,4-50 mg/L NH3
		mg/L	P2	6,67		
		mg/L	P3	7,2		
		mg/L	P4	3,91		
		mg/L	P5	8,79		
Turbidez	Método 2130-Literalk B	NTU	P1	6,08	No aplica	No aplica
		NTU	P2	14		
		NTU	P3	15,3		
		NTU	P4	6,5		
		NTU	P5	14,9		

NOTAS:	1: LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO, SON COMPARADOS CON LIBRO VI ANEXO 1: TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	

Observaciones:

 	
Coordinador de Laboratorio	Técnico Responsable

Campaña 4.




 Universidad Católica de Cuenca	CIITT- LABORATORIO DE CONTAMINACION Y AGUAS RESIDUALES		
	HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE		
CODIGO: UCC-LCAR-F06	ELABORADO: Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	ELABORADO Y REVISADO: Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	Nº INFORME: IN-CAR-041
CODIGO MUESTRA:	CAR-001-005	FECHA DE EMISION DEL INFORME:	16/3/2022
PROYECTO:	Desarrollo de un modelo de calidad de agua de los ríos Sinincay, Chamana, Naranjillo de la Provincia del Azuay	SOLICITANTE:	Diego Arreaga/Frank Puente
UNIDAD ACADEMICA SOLICITANTE:	Ingeniería Civil	RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	Diego Arreaga/Frank Puente
TIPO DE MUESTRA:	Agua Natural	MODO DE CONSERVACIÓN:	Refrigeración
FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:	10/3/2022	HORA DE RECOLECCION:	8:00
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:	10/3/2022	HORA DE RECEPCION:	14:00
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS	10/3/2022	FECHA DE FIN DE ENSAYOS:	10/3/2022

Análisis	Método de Referencia / Técnica	Unidad	Punto	MUESTRA		
				Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Límite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	P1	26	20 mg/L	0-700 mg/L
		mg/L	P2	18		
		mg/L	P3	74		
		mg/L	P4	14		
		mg/L	P5	76		
Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	P1	2	13 mg/L	0,3-30 mg/L
		mg/L	P1	3		
		mg/L	P2	0		
		mg/L	P2	0		
		mg/L	P3	0		
		mg/L	P3	0		
		mg/L	P4	1,8		
		mg/L	P4	2,3		
		mg/L	P5	0		
		mg/L	P5	1,4		

Amonio	Método del Salicilato 10031 Hach	mg/L	P1	8,15	No aplica	0,4-50 mg/L NH3
		mg/L	P2	5,82		
		mg/L	P3	8,58		
		mg/L	P4	6,99		
		mg/L	P5	6,46		
Turbidez	Método 2130-Literal: B	NTU	P1	6,94	No aplica	No aplica
		NTU	P2	29,7		
		NTU	P3	30,7		
		NTU	P4	7,56		
		NTU	P5	21,2		

NOTAS:	1: LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO, SON COMPARADOS CON LIBRO VI ANEXO 1: TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	

Observaciones:

 	
Coordinador de Laboratorio	Técnico Responsable

Campana 5.

 CIITT- LABORATORIO DE CONTAMINACION Y AGUAS RESIDUALES HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE			
CODIGO: UCC-LCAR-F06	ELABORADO: Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	ELABORADO Y REVISADO: Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	Nº INFORME: IN-CAR-043
CODIGO MUESTRA:	CAR-001-005	FECHA DE EMISION DEL INFORME:	29/3/2022
PROYECTO:	Desarrollo de un modelo de calidad de agua de los ríos Sinincay, Chamana, Naranjillo de la Provincia del Azuay	SOLICITANTE:	Diego Arreaga/Frank Puente
UNIDAD ACADEMICA SOLICITANTE:	Ingeniería Civil	RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	Diego Arreaga/Frank Puente
TIPO DE MUESTRA:	Agua Natural	MODO DE CONSERVACIÓN:	Refrigeración
FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:	24/3/2022	HORA DE RECOLECCION:	8:00
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:	24/3/2022	HORA DE RECEPCION:	12:00
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS	24/3/2022	FECHA DE FIN DE ENSAYOS:	29/3/2022

Análisis	Método de Referencia / Técnica	Unidad	Punto	MUESTRA		
				Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Límite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	P1	0	20 mg/L	0-700 mg/L
		mg/L	P2	0		
		mg/L	P3	82		
		mg/L	P4	0		
		mg/L	P5	58		
Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	P1	14,5	13 mg/L	0,3-30 mg/L
		mg/L	P1	16,6		
		mg/L	P2	0		
		mg/L	P2	0		
		mg/L	P3	0		
		mg/L	P3	0		
		mg/L	P4	2,5		
		mg/L	P4	1,2		
		mg/L	P5	0		
		mg/L	P5	0		

Amonio	Método del Salicilato 10031 Hach	mg/L	P1	5,4	No aplica	0,4-50 mg/L NH3
		mg/L	P2	5,61		
		mg/L	P3	5,82		
		mg/L	P4	2,96		
		mg/L	P5	6,57		
Turbidez	Método 2130-Literal: B	NTU	P1	9,31	No aplica	No aplica
		NTU	P2	19,9		
		NTU	P3	25,3		
		NTU	P4	9,94		
		NTU	P5	19,4		

NOTAS:	
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	1: LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO, SON COMPARADOS CON LIBRO VI ANEXO 1: TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS

Observaciones:

 	
Coordinador de Laboratorio	Técnico Responsable

Campaña 6.

 Universidad Católica de Cuenca	CIITT- LABORATORIO DE CONTAMINACION Y AGUAS RESIDUALES		
	HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE		
CODIGO: UCC-LCAR-F06	ELABORADO: Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	ELABORADO Y REVISADO: Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	Nº INFORME: IN-CAR-045
CODIGO MUESTRA:	CAR-001-005	FECHA DE EMISION DEL INFORME:	7/4/2022
PROYECTO:	Desarrollo de un modelo de calidad de agua de los ríos Sinincay, Chamana, Naranjillo de la Provincia del Azuay	SOLICITANTE:	Diego Arreaga/Frank Puente
UNIDAD ACADEMICA SOLICITANTE:	Ingeniería Civil	RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:	Diego Arreaga/Frank Puente
TIPO DE MUESTRA:	Agua Natural	MODO DE CONSERVACIÓN:	Refrigeración
FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:	7/4/2022	HORA DE RECOLECCION:	8:00
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:	7/4/2022	HORA DE RECEPCION:	10:00
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS	7/4/2022	FECHA DE FIN DE ENSAYOS:	12/4/2022

Análisis	Método de Referencia / Técnica	Unidad	Punto	MUESTRA		
				Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Límite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	P1	34	20 mg/L	0-700 mg/L
		mg/L	P2	45		
		mg/L	P3	70		
		mg/L	P4	0		
		mg/L	P5	82		
Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	P1	0,9	13 mg/L	0,3-30 mg/L
		mg/L	P1	1,8		
		mg/L	P2	0		
		mg/L	P2	0		
		mg/L	P3	0		
		mg/L	P3	0		
		mg/L	P4	2,3		
		mg/L	P4	2,5		
		mg/L	P5	0		
		mg/L	P5	0		

Amonio	Método del Salicilato 10031 Hach	mg/L	P1	4,97	No aplica	0,4-50 mg/L NH ₃
		mg/L	P2	5,29		
		mg/L	P3	6,35		
		mg/L	P4	5,29		
		mg/L	P5	6,67		
Turbidez	Método 2130-Literal: B	NTU	P1	8,21	No aplica	No aplica
		NTU	P2	39,4		
		NTU	P3	37,9		
		NTU	P4	9,19		
		NTU	P5	28,2		

NOTAS:	1: LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO, SON COMPARADOS CON LIBRO VI ANEXO 1: TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	

Observaciones:

 	
Coordinador de Laboratorio	Técnico Responsable

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Frank Alexander Puente Piña** y **Ronald Damian Cabrera Cabrera** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 1400733810 y 0105752455. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Implementación del modelo de calidad de agua Aquatool en la subcuenca del río Sinincay.”**, de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividades e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **01 de diciembre de 2022**

F. 

Frank Alexander Puente Piña

CI: 1400733810

F. 

Diego Fernando Arreaga Guillermo

CI: 0105752455