



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

ESTUDIO DE CASO

Título:

**“ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO SAN PEDRO, UBICADO
DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERÍODO
2013-2019”**

Estudio de caso presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero en Medio Ambiente

Autor:

Pilalumbo Armas Jonathan Javier

Tutora:

M.Sc. Ruiz Depablos Joseline Luisa

LATACUNGA –ECUADOR

Septiembre 2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Jonathan Javier Pilalumbo Armas, con cédula de ciudadanía No. 180472015-7, declaro ser autor del presente Estudio de Caso: **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO SAN PEDRO, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2013-2019”**, siendo la Magister Joseline Luisa Ruiz Depablos, Tutora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 16 de octubre del 2020

Jonathan Javier Pilalumbo Armas

C.I. 180472015-7

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **PILALUMBO ARMAS JONATHAN JAVIER**, identificado con C.C. N°**180472015-7**, de estado civil soltero y con domicilio en la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Av. Víctor Hugo y Ernesto Albán, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de **Ingeniería en Medio Ambiente**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **Estudio de Caso**, la cual se encuentra elaborado según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico.

Fecha de inicio de la carrera.- Abril 2016 – febrero 2020.

Fecha de finalización. –Mayo 2020 – Octubre 2020

Aprobación en Consejo Directivo: 07 de julio del 2020

Tutora. – MSc. Joseline Luisa Ruiz Depablos

Tema: “ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO SAN PEDRO, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2013-2019”

CLÁUSULA SEGUNDA. – LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente **A LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los

siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarlo.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. LA CESIONARIO/A podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que acuerde con el consentimiento **DEL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 16 días del mes de octubre del 2020

Pilalumbo Armas Jonathan Javier
EL CEDENTE

Ing. Cristian Tinajero Jiménez, MBA
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL ESTUDIO DE CASO

En calidad de Tutor del Estudio de Caso con el título:

“ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO SAN PEDRO, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2013-2019”, de Jonathan Javier Pilalumbo Armas, de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, consideró que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 16 octubre de 2020

M.Sc. Joseline Luisa Ruiz Depablos

C.I. 1758739062

AVAL DE LOS LECTORES DEL ESTUDIO DE CASO

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Estudio de Caso de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por La Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Pilalumbo Armas Jonathan Javier con el título de Estudio de Caso: **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO SAN PEDRO, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2013-2019”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del trabajo de titulación

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional

Latacunga, 16 octubre de 2020

M.Sc. Patricio Clavijo Cevallos
LECTOR 1 (PRESIDENTE)
CC. 0501444582

Mg. Jaime Lema Pillalaza
LECTOR 2
CC. 1713759932

Mg. José Agreda Oña
LECTOR 3
CC. 0401332101

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, a los docentes de la Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, a la MSc. Joseline Luisa Ruiz Depablos, Tutora de mi Proyecto de Titulación Análisis de Caso, por sus erudiciones y guía en este proceso del desarrollo del análisis.

A mis padres Marco Pilalumbo y Glenda Armas, quiénes a lo largo de mi vida han velado por mi éxito, siendo mi apoyo espiritual en todo momento, brindándome todo su amor, comprensión, sacrificio, valores que me han inculcado que con sus consejos y ese amor depositado en mí confianza sea un reto de emprendedor sin dudar de mí inteligencia y capacidad, mil gracias una vez más MSc. Joseline Luisa Ruiz Depablos por orientarme en el desarrollo de este Análisis de Caso que con sus erudiciones he alcanzado mi éxito profesional de pregrado.

“El poder está en la mente del ser humano conspirando con sus pensamientos y en contacto con el universo para alcanzar las llaves del éxito”

Jonathan Pilalumbo

DEDICATORIA

A mi familia que es mi confidente y por concederme lo mejor de ellos en cada maravilloso día. Al ser supremo por la fortaleza, la salud y la esperanza para cumplir mis metas, él ha hecho un camino donde no hay, y me ha concedido mis peticiones de mi corazón, despejando cualquier tristeza y preocupación de mi vida y derramando sobre mí, y mi familia una lluvia de bendiciones.

“Señor pongo en tus manos lo que está fuera de mi alcance”

Jonathan Pilalumbo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO SAN PEDRO, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERÍODO 2013-2019”

AUTOR: Pilalumbo Armas Jonathan Javier

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó un estudio de la calidad de agua del río San Pedro, ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito en el Período 2013-2019, con la aplicación del Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISQA). Por otra parte, se planteó determinar la calidad de agua del río San Pedro con el método de descomposición de series de tiempo, con el propósito de efectuar una proyección de la calidad del agua a 4 años futuros, en el período 2020-2024. La situación actual de las aguas residuales generadas en el Distrito Metropolitano de Quito, ha alcanzado niveles preocupantes de contaminación, en el sistema de recolección de aguas servidas que desemboca en caudales naturales sin previo tratamiento. En la última década la cantidad y la calidad de recursos hídricos se han disminuido significativamente, y se prevé al deterioro de las condiciones de las aguas superficiales a mediano y largo plazo. Este escenario ha configurado un importante problema ambiental en todo el tramo de la ciudad de Quito, debido a que las descargas domésticas, industriales y agrícolas, sin tratamiento previo constituyen las principales fuentes de contaminación hídrica y salud pública. En este contexto, el río San Pedro se ha convertido en un receptor de residuos y efluentes domésticos. El panorama descrito justificó la importancia al aplicar el modelo matemático que permitió simular el comportamiento de la calidad del agua en una corriente natural, describiendo el estado ecológico de un sistema fluvial y prediciendo escenarios futuros cuando ciertas condiciones límite o iniciales se alteran. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos fueron analizados en la base de datos de la Secretaria Nacional del Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, desde el período 2013-2019, en donde se detalla que la Temperatura (T) varió de 17,6°C a 13°C, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) oscilo entre 8mg/L a 80 mg/L, los Sólidos Suspendidos Totales (SST) entre 13mg/L a 126 mg/L-1, el oxígeno disuelto (OD) entre 8,76mg/L a - 6,23 mg/L-1 y la conductividad eléctrica (CE) entre 742uS/cm-1 a 466 uS/cm. Por esta razón, los valores del índice indican que la calidad del agua para los años: 2013 es de 58,9; en el año 2016 de 59,7; en el año 2018 de 54,9 y en el año 2019 de 51,5, en el río San Pedro. Resultados similares se obtuvieron en el pronóstico, de los valores del ISQA en el año 2021 es 51,1; en el año 2022 es de 51,4; para el año 2023 es 51,9; se constata que en todos los años del 2020 al 2023 la calidad de agua es regular porque se encuentra en el valor de 50-70, y se concluye que el agua es apta con tratamiento de potabilización para el consumo humano, equivalentemente para el riego y la industria.

Palabras clave: Recursos hídricos, Calidad del agua, contaminación hídrica, salud pública, modelo matemático ISQA, parámetros fisicoquímicos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES.

TOPIC: "STUDY OF THE WATER QUALITY OF THE SAN PEDRO RIVER, LOCATED WITHIN THE METROPOLITAN DISTRICT OF QUITO IN THE 2013-2019 PERIOD"

AUTHOR: Pilalumbo Armas Jonathan Javier

ABSTRACT

This research work, a study of the water quality of the San Pedro River, located within the Metropolitan District of Quito, was carried out since 2013 to 2019 Period, with the application of the Simplified Water Quality Index (ISQA). On the other hand, it was proposed to determine the water quality of the San Pedro River with the time series decomposition method, in order to plan a projection of the water quality to four future years, from 2020 to 2024. The current situation of the wastewater generated in the Metropolitan District of Quito has reached worrying levels of pollution in the sewage collection system that ends in natural flows without prior treatment. In the last decade, the quantity and quality of water resources have decreased significantly, and surface water conditions are expected to deteriorate in the medium and long term. This situation has configured an important environmental problem in the entire stretch in Quito city, because domestic, industrial and agricultural discharges, without prior treatment, constitute the main sources of water pollution and public health. In this context, the San Pedro River has become a receptor for domestic waste and effluent. The described circumstances justified the importance of applying the mathematical model that allowed simulating the behavior of water quality in a natural stream, describing the ecological state of a river system and predicting future situations when certain initial or limit conditions are altered. The results of the physicochemical parameters were analyzed in the database of the National Secretary of the Environment of the Metropolitan District of Quito, from the period 2013-2019, where it is detailed that the Temperature (T) varied from 17.6 ° C at 13 ° C, Chemical Oxygen Demand (COD) ranged from 8mg / L to 80mg / L, Total Suspended Solids (TSS) from 13mg/ Lt 126mg / L-1, dissolved oxygen (DO) from 8.76mg / L to - 6.23 mg / L-1 and the electrical conductivity (EC) between 742uS / cm-1 to 466 uS / cm. For this reason, the index values points out the water quality for the years: 2013 it is 58.9; in 2016 of 59.7; in 2018 it was 54.9 and in 2019 it was 51.5, in the San Pedro River. Similar results were obtained in the forecast, of the ISQA values in the year 2021 is 51.1; in the year 2022 it is 51.4; for the year 2023 it is 51.9; It is found that in all the years from 2020 to 2023 the water quality is regular because it is in the value of 50-70, and it is concluded that the water is suitable with purification treatment for human consumption, equivalently for irrigation and the industry.

Keywords: Water resources, water quality, water pollution, public health, ISQA, mathematical mode, physicochemical parameters.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL ESTUDIO DE CASO	vi
AVAL DE LOS LECTORES DEL ESTUDIO DE CASO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
DEDICATORIA.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
ÍNDICE DE CONTENIDO	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. PROPÓSITO.....	4
4. JUSTIFICACIÓN	4
5. PREGUNTAS DIRECTRICES	9
6. UNIDADES DE ANÁLISIS DE ESTUDIO QUE DELIMITARÁ EL CASO	10
6.1. Descripción de la zona de estudio	11
6.1.1. Río San Pedro	12
7. FUNDAMENTOS TEÓRICOS METODOLÓGICOS	13
7.1 Recurso hídrico.....	13
7.2 Contaminación del Agua.....	14
7.2.1 Fuentes de contaminación hídrica	15
7.2.2 Naturaleza de la contaminación.....	16
7.2.4 Contaminación de aguas superficiales.....	18
7.2.5 Aguas residuales	19
7.3 Calidad del Agua	20
7.4 Parámetro de la Calidad de Agua	20
7.5 Parámetros físico-químicos utilizados para indicar la calidad de agua.....	22
7.6 Parámetros biológicos	25
7.6.1 Los macro invertebrados bentónicos de contaminación de materia.....	26
7.7 Índices de la calidad del agua.....	27
7.7.1 Importancia de los índices de calidad de agua	28

7.7.2	Uso de los índices de calidad del agua	29
7.7.3	Tipos de índices de calidad de agua	29
7.8	Modelo matemático	33
7.8.2	Propiedades deseadas de un modelo matemático.....	34
7.8.3	Procesos para hacer un modelo matemático.....	35
7.8.4	Tipos de modelos matemáticos.....	35
7.8.5	Técnicas de pronóstico para datos estacionales.....	36
7.8.6	Evaluación del desempeño: Medición del error	36
7.8.8	Correlación de datos	38
8.	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	38
8.1	Descripción de la zona de estudio	38
8.2	Selección del caso	41
8.3	Acceso al campo.....	41
8.4	Recolección de los datos.....	42
8.5	Análisis de datos.....	42
8.5.1	Evaluación de la base de datos disponibles	42
8.5.2	Selección del modelo ICA.....	45
8.5.2.1	Cálculo del Índice de Simplificación de Calidad de Agua (ISQA).....	45
8.5.3	Conformación de la base de datos inicial	47
8.5.3.1	Análisis de la base de datos y datos atípicos	47
8.5.5	Resultados.....	50
8.5.5.1	Consolidación de la base de datos	50
8.5.5.1.1	Análisis de datos.....	51
8.5.5.2	Características hidroclimáticas	55
8.5.5.2.1	Precipitación	55
8.5.5.2.2	Temperatura.....	56
8.5.5.3	Evaporación	56
8.5.5.4	Parámetros fisicoquímicos.....	57
8.5.5.4.1	Temperatura.....	57
8.5.5.4.2	Demanda Química de Oxígeno.....	58
8.5.5.4.3	Sólidos Suspendidos Totales	58
8.5.5.4.4	Oxígeno disuelto.....	59
8.5.5.4.5	Conductividad Eléctrica	60
8.5.5.5	Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA).....	60

8.5.5.6 Consolidación de la base de datos de la serie de tiempo	63
8.5.5.6.1 Análisis de los datos de la serie de tiempo	65
8.5.5.6.2 Pronóstico de serie de tiempo	65
8.5.5.6.3 Temperatura.....	65
8.5.5.6.4 Demanda Química de Oxígeno.....	66
8.5.5.6.5 Sólidos Suspendidos Totales	67
8.5.5.6.6 Oxígeno Disuelto.....	67
8.5.5.6.7 Conductividad Eléctrica	68
8.5.5.6.8 Índice Simplificado de calidad de agua para el periodo 2020-2024.....	69
9 LA NARRACIÓN DEL CASO (DISCUSIÓN).....	72
10 LECCIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
10.1 Lecciones.....	77
10.2 Recomendaciones.....	78
11 BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Toma y conservación de muestras de agua	43
Tabla 2. Métodos de parámetros analizados in situ y laboratorio	44
Tabla 3. Ecuaciones de cálculo de los parámetros fisicoquímicos para el ISQA.....	48
Tabla 4. Clasificación de la calidad de agua del ISQA	48
Tabla 5. Base de datos parámetros fisicoquímicos cálculo del ISQA del río San Pedro	51
Tabla 6. Estadísticos descriptivos de la base de datos definitiva período 2013-2019.....	51
Tabla 7. Prueba valores Z base de datos parámetros fisicoquímicos período 2013-2019.....	52
Tabla 8. Estadísticos descriptivos de los parámetros fisicoquímicos	52
Tabla 9. Cálculo de los errores del pronóstico de la calidad de agua del río San Pedro	53
Tabla 10. Calidad del agua río San Pedro, según los resultados del ISQA	62
Tabla 11. Calidad agua río San Pedro, ISQA época lluviosa período 2013-2019.....	63
Tabla 12. Calidad del agua del río San Pedro, ISQA época seca período 2013-2019.....	63
Tabla 13. Serie tiempo parámetros fisicoquímicos río San Pedro periodo 2013-2019	64
Tabla 14. Estadísticos descriptivos de la base de datos de la serie de tiempo.....	65
Tabla 15. Calidad del agua del río San Pedro-ISQA período 2020-2024	69
Tabla 16. Calidad del agua río San Pedro-ISQA período 2020-2024 época lluviosa	70
Tabla 17. Calidad del agua río San Pedro ISQA período 2016-2024 épocas seca.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descargas de aguas residuales	6
Figura 2. Basura en aguas residuales.....	6
Figura 3. Aglomeración de basura cerca del río San Pedro	6
Figura 4. Basura acumulada en la desembocadura de la Quebrada Las Lanzas	7
Figura 5. Aporte tributario con apariencia diferente	7
Figura 6. Tubería de procedencia desconocida	8
Figura 7. Aserradero cerca del río San Pedro.....	8
Figura 8. Empresa de insumos agrícolas	8
Figura 9. Área de estudio del río San Pedro.....	12
Figura 10. Contaminación en el río San Pedro.....	19
Figura 11. Parámetros para evaluar la calidad de aguas.....	21
Figura 12. Ubicación del río San Pedro en el cantón Quito	38
Figura 13. Ubicación del río San Pedro en el Distrito Metropolitano de Quito.....	39
Figura 14. Área de estudio a nivel de la cuenca río San Pedro	39
Figura 15. Boxplot sin valores atípicos cálculo ISQA período 2013-2019.....	53
Figura 16. Histogramas de los Parámetros Fisicoquímicos Periodo 2013 - 2019.....	54
Figura 17. Precipitación media mensual estación “La Tola” en el período 2013-2019.....	55
Figura 18. Temperatura media mensual estación “La Tola” en el período 2013-2019.....	56
Figura 19. Evapotranspiración media mensual estación “La Tola”período 2013-2019.....	56
Figura 20. Variación de la temperatura del río San Pedro del período 2013-2019.....	57
Figura 21. Variación demanda Química de Oxígeno río San Pedro período 2013-2019.....	58
Figura 22. Variación sólidos suspendidos totales río San Pedro período 2013-2019	59
Figura 23. Variación del Oxígeno Disuelto del río San Pedro período 2013-2019	60
Figura 24. Variación conductividad eléctrica del río San Pedro período 2013-2019	60
Figura 25. Variación de temperatura río San Pedro período 2020-2024.....	66
Figura 26. Variación Demanda Química de Oxígeno río San Pedro período 2020-2024.....	66
Figura 27. Variación sólidos suspendidos totales río San Pedro período 2020-2024.....	67
Figura 28. Variación Oxígeno Disuelto río San Pedro período 2020-2024.	68
Figura 29. Variación conductividad eléctrica río San Pedro período 2020-2024	68

1. INFORMACIÓN GENERAL

Número de Estudio de Caso: 1

Título de Estudio de Caso: Estudio de la calidad de agua del río San Pedro, ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito en el periodo 2013-2019.

Fecha de inicio: mayo 2020

Fecha de finalización: septiembre 2020

Lugar de ejecución: Pichincha Distrito Metropolitano de Quito, Río San Pedro.

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia: Ingeniería en Medio Ambiente

Equipo de trabajo

Tutora: MSc. Joseline Luisa Ruíz Depablos.

Autor: Pilalumbo Armas Jonathan Javier

Área de Conocimiento: Servicios (Protección del medio ambiente)

Línea de investigación: Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.

Sub Líneas de investigación de la Carrera: Manejo y conservación del recurso hídrico

Línea de vinculación: Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social.

Sub línea de investigación de la Carrera: Manejo y conservación del recurso hídrico.

Línea de vinculación: Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética para el desarrollo humano y social.

2. INTRODUCCIÓN

El aumento poblacional, la explotación de recursos naturales, las actividades antropogénicas sin conciencia ambiental, la falta de gestión pública y planificación del territorio son los causantes de la contaminación ambiental. “Los problemas más alarmante es la escasez del recurso hídrico y la contaminación que éste sufre, la principal fuente de contaminación son las descargas de aguas contaminadas (domésticas, municipales e industriales) a los ríos, sin previo tratamiento” (Secretaria del Medio Ambiente, 2019).

Según Pauta & Chang (2014):

La estabilidad de los sistemas acuáticos se ve amenazada por las actividades antropogénicas, en el caso de Ecuador los ríos han sido utilizados como receptores de desechos de todas clase; la falta de planificación del territorio y gestión de los municipios, ha provocado que los asentamientos humanos descarguen sus aguas contaminadas a los ríos. Por lo que se han ejecutado estudios que han reconocido la calidad del agua en diferentes cuerpos hídricos. “Ecuador es uno de los países con mayor capacidad de almacenamiento de agua en el mundo, con 740 unidades hidrológicas y una extensión de 256.37 Km^2 ”. (Roca, F., 2017)

En la actualidad los recursos hídricos (océanos, lagos, ríos y aguas subterráneas), a nivel mundial y en nuestro país están contaminados ya sea de forma natural o antrópica.

Según (Ajcabul, J., 2016), aclara que:

En la ciudad de Quito no se ha tomado en cuenta evaluar la calidad del agua utilizada para las actividades agrícolas, por desconocimiento o falta de atención de las autoridades, por ello es importante tener un manejo adecuado de los recursos hídricos, los mismos que deben estar enfocados en el tema de creación de embalses, construcción de canales de riego, drenajes, obras de captación, sistema de agua potable y alcantarillado, que permita realizar una distribución adecuada de los recursos hídrico, (p.123)

Uno de los ríos más importantes de Quito es el Río San Pedro que cubre un área de 432.0 kilómetros cuadrado, porque es un laboratorio natural, especialmente en un ecosistema alto, y es un lugar donde se puede entender el ciclo hidrológico de dicho río que se origina

en las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental, principalmente en las montañas de los Ilinizas declaradas como reserva ecológica. (Camaren, 2015)

El Río San Pedro cubre ocho puestos de muestreo con una extensión de 8,24 Km² aproximadamente desde el Parque Ecológico Cachao hasta la Iglesia Señor de los puentes y atraviesa la ciudad de Quito, presenta diversos contaminantes que causan grave daño especialmente a los seres humanos y a los diferentes recursos naturales (Hinojoza Cordero, 2018). “Los factores contaminantes del agua son: las aguas servidas de la población en general, los efluentes de las industrias, actividad minera, sector Hidrocarburíferas, los plaguicidas utilizados en la agricultura y la amenaza del cambio climático”. (EMBID, Antonio, 2016)

Por otro lado, “aguas arriba del río San Pedro, al sur de Quito, en el sector Chaupi, si cumple con la norma ecuatoriana” (Torres F. , 2017). Sin embargo, río abajo del río San Pedro las aguas se ven afectadas por las descargas de las aguas residuales, ya que por el sector Cumbaya las variaciones no cumplen con la norma ecuatoriana para la preservación de la vida acuática para los parámetros DQI_T ; DBO_5 ; NH_4^+ ; OD. Estudios realizados para comprobar la existencia de K, Mg, Mn, Pb y Fe en el río San Pedro, observó que existe una alta concentración de K los cuales superan la norma ecuatoriana para la vida acuática y uso para riego (Naciph, 2016). Adicionalmente existe, otro estudio para la determinación de elementos mayores en sedimentos provenientes de “zonas afectadas por actividades en la cuenca de los ríos en Esmeraldas, de actividades petroleras en Ecuador, determinándose que en las muestras recogidas se encontró sedimentos, y se determinó que existe una alta concentración de Mg y Na”. (Pérez, y otros, 2015).

En este sentido, el GAD de Rumiñahui mantiene monitoreado del río San Pedro la Temperatura (°C); Demanda Química de Oxígeno mg/L (QO); Sólidos Suspendidos Totales mg/L (SST); Conductividad Eléctrica uS/cm (CE); Oxígeno Disuelto mg/L (OD), y los parámetros físicos-químicos, como: olor, color, materiales en suspensión, turbidez, temperatura, PH, conductividad, contenido de grasas y aceites, demanda biológica del oxígeno, demanda química de oxígeno, sin determinar el estado de la calidad del agua. El presente estudio de caso tiene el objetivo de determinar la calidad del agua del río San Pedro, y la evolución hasta el 2019 utilizando la metodología ISQA, con datos obtenidos de la página oficial de la Secretaria Nacional del Medio Ambiente, sumado a ello, se planteó que se analizará

la variación de calidad mediante un modelo matemático con proyección de 5 años. Los resultados del presente estudio coadyuvará a futuras investigaciones que se interesen sobre la calidad de agua en el río San Pedro, así como brindar información del estado actual de la calidad del agua del río San Pedro en el punto de muestreo, en cuanto a la calidad del agua, a fin de que se tomen las medidas pertinentes para disminuir el deterioro ambiental de los ríos que atraviesa su territorio.

3. PROPÓSITO

La investigación pretende evaluar la calidad del agua en el punto de monitoreo del río San Pedro, ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito en el periodo 2013-2019 mediante la metodología del Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA) que conlleva el análisis de parámetros fisicoquímicos: Temperatura, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendedos Totales, Oxígeno Disuelto y Conductividad. Este índice clasifica en una escala de 0 a 100 la calidad representativa del agua, conforme a su estado como: bueno, moderado, regular y malo, asimismo en el ISQA. Sumado a ello, también se pretende aplicar un modelo matemático para analizar la variabilidad de la calidad del agua en un plazo de tiempo de 5 años. Así, el presente estudio proporcionará información indispensable para conocer el estado de calidad del agua de dicho río, del mismo modo que puede ser de ayuda en la elaboración del plan de calidad del recurso agua, contenido en el plan distrital desarrollado por la Secretaria del Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

4. JUSTIFICACIÓN

La estabilidad de los sistemas acuáticos se ve amenazada por las actividades antropogénicas, en el caso de Ecuador los ríos han sido utilizados como receptores de desechos de toda clase; la falta de planificación del territorio y gestión de los municipios ha provocado que los asentamientos humanos envíen sus aguas contaminadas a los ríos. Por lo que se han realizado estudios que han permitido conocer la calidad del agua en diferentes cuerpos hídricos, como los siguientes: “Índices de calidad del agua de fuentes superficiales y aspectos toxicológicos, evaluación del río Burgay” (Pauta & Chang, 2014), “Análisis de la Calidad del Agua en la sub cuenca del río Coca” (Secretaria Nacional del Agua, 2016), “aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador” (Quiroz, Ozquierdo, & Menéndez

Gutiérrez, 2017), aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay – Ecuador”. (Coello, 2016)

Para el caso del río San Pedro no existen estudios previos de la calidad de sus aguas, por lo que posiblemente y en función a la realidad de la zona tenga un Índice de Calidad del Agua (ICA) bajo considerando de “mala calidad”. Por otro lado, los gobiernos no han implementado plantas de tratamiento para evitar la contaminación y mantener en buen estado los cuerpos hídricos; situación que debe ser resuelta de manera rápida para reducir el deterioro de los cuerpos hídricos.

Según (Rivera , 2017), sostiene que:

Actualmente existe diferentes criterios para evaluar la calidad de agua de los ríos ,tales como métodos fisicoquímicos y biológicos sin embargo existe metodologías más utilizadas a nivel mundial dentro de las cuales se pueden mencionar: el “Índice de Calidad de Agua ” el Índice de Calidad de Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF)de los ESTADOS UNIDOS, Índice de Calidad de Agua planteado por Dinius, Índice Universal de Calidad de Agua (UWQI) y el Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA) que evalúa diferentes parámetros mediante ecuaciones. (111)

Ecuador tiene importantes recursos de agua dulce y los ríos son la principal fuente de suministro del país para este medio. El ecosistema Páramo, al integrar todas sus características (suelo, vegetación, temperatura, altura, precipitación, entre otros), es considerado la mayor fuente hídrica que abastece a la población. Sin embargo, la contaminación afecta la disponibilidad de este recurso hídrico.

En visitas previas a los sitios de muestreo del río San Pedro se ha encontrado varios focos de contaminación, los cuales podrían ser causantes de la variación de la calidad del agua del río. Cerca de los puntos “Puente de Fajardo”, y “Aguas abajo del deportivo del independiente del valle”, se visualizan las descargas de aguas residuales, como se puede ver en las figuras 1 y 2, donde se pueden apreciar los principales focos de contaminación del río San Pedro, por la existencia de escombros y basura en las cercanías del río, por falta de cultura y conciencia ecológica en la población

Figura 1
Descargas de aguas residuales



Fuente. (Secretaría Nacional del Medio Ambiente, 2020)

Nota: El Río San Pedro es una de las principales fuentes de agua para Quito aportando un caudal de 1600 l/s al sector urbano de la ciudad de Quito; por esta razón se necesita generar investigaciones que contribuyan a un conocimiento más profundo la calidad de agua y su uso (Sierra, 2016).

Figura 2
Basura en aguas residuales



Fuente. (Secretaría Nacional del Medio Ambiente, 2020)

Nota: De igual forma en las figura 3 y 4 se pueden apreciar los puntos de acumulación de basura cercanos a conjuntos habitacionales, casa y terrenos baldíos.

Figura 3
Aglomeración de basura cerca del río San Pedro



Fuente. (Secretaría Nacional del Medio Ambiente, 2020)

Nota. La falta de gestión de los residuos en las zonas del río San Pedro, ha hecho de este un problema que se va agravando cada vez más a un problema ambiental.

Figura 4

Basura acumulada en la desembocadura de la Quebrada Las Lanzas



Fuente. (Secretaria Nacional del Medio Ambiente, 2020)

Nota: Igualmente se aprecia en las figuras 5, 6, 7, 8, la presencia de aportes tributarios con diferentes apariencias, tuberías de procedencia desconocida e industrias cercanas al río como se puede notar en las fotografías.

Figura 5

Aporte tributario con apariencia diferente



Fuente. (Secretaria Nacional del Medio Ambiente, 2020)

Figura 6
Tubería de procedencia desconocida



Fuente. (Secretaria Nacional del Medio Ambiente, 2020)

Figura 7
Aserradero cerca del río San Pedro.



Fuente. (Secretaria Nacional del Medio Ambiente, 2020)

Figura 8
Empresa de insumos agrícolas



Fuente. (Secretaria Nacional del Medio Ambiente, 2020)

Bajo este contexto, se decidió Razón por la cual se decidió estudiar el estado de la calidad del agua en el punto de muestreo del río San Pedro, con la aplicación del modelo ISQA, la en el período 2013-2019, utilizando información hidrológica, meteorológica y parámetros fisicoquímicos de la red de monitoreo del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) del periodo mencionado, así como también pronosticar su calidad en un plazo de 4 años mediante la aplicación de un modelo matemático. Esta investigación contribuirá a la zona centro y sur de la población del DMQ, ya que las personas utilizan el agua para riego, además los resultados obtenidos en la presente investigación aportarán en la toma de decisiones acertadas sobre el uso adecuado del recurso hídrico.

5. PREGUNTAS DIRECTRICES

¿Cómo será la variación de los parámetros fisicoquímicos? Temperatura, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y conductividad del río San Pedro en el periodo 2013-2019.

Los parámetros fisicoquímicos del río San Pedro en el periodo 2013-2019 presentan los siguientes valores: la temperatura oscilo entre 19,9 - 24,4°C, la demanda química de oxígeno oscilo entre 9,5 - 198 mg/L, los sólidos suspendidos totales oscilaron entre 50 - 437 mg/L, la conductividad eléctrica oscilo entre 191,78 - 355,18 uS/cm y el oxígeno disuelto oscilo entre 7,15 - 9,56 mg/L.

¿Cómo será la variación del ISQA del río San Pedro en el periodo 2013-2019?

Los valores del ISQA calculados para el río San Pedro variaron de 40,60 para el año 2013; 50,82 para el año 2016; 39,12 para el año 2018 y 43,21 para el año 2019.

¿Cuál será el uso apto para el agua del río San Pedro?

El uso apto del agua del río San Pedro es la de recreación por contacto indirecto, refrigeración y riego para cultivos resistentes.

¿Cuál será la calidad del agua del río San Pedro en un plazo de 4 años?

La calidad del agua para el río San Pedro dentro de 4 años correspondiente al período 2020-2023 según los resultados del pronóstico indica que tendrá una mala calidad. A pesar de que se detalla en el pronóstico de discusión de este archivo, se vuelve a mencionar la justificación sobre la calidad del agua en los valores pronosticados de los parámetros fisicoquímicos que se obtuvo un valor de 10,17% en error absoluto porcentual promedio para el pronóstico del ISQA. Ver (Tabla 14), de este estudio realizado sobre la calidad del agua en el río San Pedro durante los 4 años se alcanzó con precisión el pronóstico de 89,77%. Siendo el valor del ISQA para el año 2020 de 59,6; para el año 2021 de 51,1; para el año 2022 de 51,4; para el año 2023 de 51,9 indican en este estudio realizado que la calidad del agua es regular para los 4 años. Ver (Tabla 15), igualmente se detectó en el estudio efectuado en la época lluviosa se presentó la calidad de agua regular con valores ISQA que varían en el año 2020 de 50; en el 2021 de 55; en el 2022 de 56, y en el 2023 de 56. Ver (Tabla 16), en comparación con la época seca los valores varían en el 2020 de 53; en el 2021 de 51; en el 2022 de 53,2 y en el 2023 de 53 y se constata que en todos los años del 2020 al 2023 la calidad de agua es regular porque se encuentra en el valor de 50-70, y se concluye que el agua es apta con tratamiento de potabilización para el consumo humano, equivalentemente para el riego y la industria.

6. UNIDADES DE ANÁLISIS DE ESTUDIO QUE DELIMITARÁ EL CASO

El eje hidrográfico de la provincia de Pichincha lo constituyen sus dos ríos principales: Guayllabamba, con sus afluentes San Pedro, Pita y Pisque; y el Blanco, con sus afluentes Mindo, Nambilla, Saloya y Yambi. Existen además otros ríos menores como el Toachi y el Peripa, y un gran número de afluentes menores que enriquecen sus tierras habilitándolas para la agricultura y la ganadería.

La economía del Ecuador se centra en Quito, es la ciudad más populosa del centro político de la provincia y junto con Guayaquil, que alberga, organizaciones culturales y comerciales. Guayaquil es la segunda ciudad más grande con la mayor contribución al producto nacional bruto (PIB), después de Cuenca, es la segunda ciudad con el mayor ingreso Per cápita. Según las estadísticas del Servicio de rentas Internas (SRI), la capital es una de las ciudades con la tasa de recaudación de impuestos más alta del Ecuador.

6.1. Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio de caso, es en el río San Pedro que cruza varios centros poblados y zonas agrícolas, recibiendo en sus aguas todo tipo de descargas provenientes del sector urbano, del sector agrícola y del sector industrial: Según la Secretaria del Ambiente (2019), el notable aumento en la población de Sangolqui, Amaguaña, San Rafael, Rumiñahui, entre otros, incrementa la contaminación en el río San Pedro, presentándose graves problemas de salubridad, en sus aguas, degradación genética de su flora y fauna y en el peor de los casos su extinción”.

La cuenca del río San Pedro ha sido objeto de varios estudios, entre ellos:

1. Según Valenzuela Cardenas (2005). El primer estudio de caso, con la aplicación del modelo hídrico SWAT 99.2 para el análisis del impacto de la deforestación y el avance de la frontera agrícola en la producción y almacenamiento del recurso agua en las partes alta y media de la subcuenca del río San Pedro. (p.139)
2. “El segundo estudio de caso efectuado con la aplicación de un modelo de materia orgánica del rio San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y la Armenia.” (Proaño Krivosidová, 2007), la finalidad de conocer el estado del sistema hídrico del río San Pedro en cuanto a su contaminación.

Otro de los estudios enfocados al tema de calidad de agua, son las evaluaciones biológicas utilizando bioindicadores.

1. Estudio de las condiciones de referencia de las cuencas de los ríos Pita, San Pedro y Machángara.

Estos estudios ratifican la contaminación actual de las aguas de la cuenca y la urgente necesidad de realizar nuevos proyectos que permitan alcanzar datos precisos para iniciar un plan de recuperación.

6.1.1. Río San Pedro

El río San Pedro está ubicado en la provincia de Pichincha en el cantón Rumiñahui, nace en los deshielos del volcán Illiniza, al suroeste de la provincia, recibe las aguas de los ríos Pedregal, Pita, Chiche y Guambi, atraviesa el valle de Machachi hacia el Valle los Chillos y Cumbaya; hasta convertirse en el río Guayllabamba (Gestión de Comunicación Medio Ambiente, 2017) En el análisis realizado se observa que este río en mención, divide de manera espacial, “al cantón Rumiñahui en dos grandes bloques: el primero corresponde a los asentamientos humanos de San Rafael, San Pedro de Taboada y Rumiloma, y el otro gran bloque corresponde la ciudad de Sangolquí”. (Secretaría Nacional del Medio Ambiente, 2020)

En la Figura 9 se puede observar el área de estudio, zonas características del área y la ubicación de cada uno de los puntos de muestreos a lo largo del río San Pedro.

Figura 9
Área de estudio del río San Pedro



Fuente. (Secretaría Nacional del Medio Ambiente, 2020)

Nota: En la recolección de datos para el desarrollo del estudio de análisis de caso, se analizó el archivo del informe de las muestras, con las recomendaciones y pautas establecidas en las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN-ISO 5667-1 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015). Calidad del agua. Muestreo. Parte 1: guía para el diseño de los programas y técnicas de muestreo (ISO 5667-1:2006, IDT) y NTE INEN-ISO 5667-3 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015). Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: conservación y

manipulación de las muestras de aguas (ISO 5667-3_2012, IDT). (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015)

Los técnicos llevaron a cabo los muestreos en los cinco puntos bajo los lineamientos de las normas INEN mencionadas en el párrafo anterior, adoptando el siguiente protocolo:

Según Hinojoza Cordero (2018):

- Previo a la toma de muestra, se ha realizado la homogenización de las botellas, es decir, se lavaron las botellas con el agua del cuerpo hídrico, con el fin de evitar la contaminación por factores externos.
- Para la recolección del volumen total de la muestra se utilizó una botella de polietileno de un litro; mientras que, la recolección de las muestras para análisis microbiológico se lo realizó en frascos esterilizados y herméticamente cerrados de 150 ml, que fueron sellados para evitar el contacto con el aire.
- Para la conservación de las muestras de agua se utilizaron un contenedor con hielo hasta su traslado al laboratorio manteniendo una temperatura adecuada de 4°C. (pp.34-56)

Los técnicos del GADM-R, procedieron a realizar un análisis “*ex situ*” de las muestras de aguas del río San Pedro, las mismas que fue realizado en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UCE. Las mediciones “*in situ*”, fue realizado mediante el multiparámetro marca WTW Multi 3410 SET 4, se ha ejecutado la medición de los siguientes parámetros fisicoquímicos: temperatura del agua, oxígeno disuelto (OD), potencial hidrógeno (pH) y sólidos disueltos totales (SDT. Por lo demás, se registró la temperatura ambiente con la ayuda de un termómetro. Cabe mencionar que cada una de las sondas del equipo estuvo calibradas previamente en el laboratorio.

7. FUNDAMENTOS TEÓRICOS METODOLÓGICOS

7.1 Recurso hídrico

“Los recursos hídricos son bienes naturales que forman parte del patrimonio natural del Estado, de dominio público, y de libre acceso para satisfacer esa necesidad vital de la humanidad”. (Benavidez Muñoz, 2019)

7.1.1 El origen etimológico

- Recursos procede del latín, concretamente de “recursus”, que viene a hacer referencia a hacer uso de los medios o bienes de los que dispone alguien para acometer algo en concreto.
- Hídricos, por su parte, emana del griego “hydor” e “ico”. Puede traducirse como “relativo al agua” y es fruto de la suma de dos partes claramente diferenciadas: el sustantivo “*hydor*”, que es sinónimo de “agua”, y el sufijo “-ico”, que se usa para indicar “relativo a”. (Pérez Porto & Merino, 2018)

Un recurso es una materia prima o un bien que dispone de una utilidad en pos de un objetivo. Por lo general se trata de algo que satisface una necesidad o que permite la subsistencia. Hídrico, por su parte, es aquello que está vinculado al agua. Por eso los recursos hídricos son los cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta los ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas. Estos recursos deben preservarse y utilizarse de forma racional, por ser indispensables para la existencia de la vida.

Por otro lado, la sobreexplotación y la contaminación que provocan diversas actividades humanas hacen que los recursos hídricos estén en riesgo. Su capacidad de regeneración muchas veces no resulta suficiente ante el ritmo de uso. Una de las grandes dificultades que enfrenta la Humanidad es la falta de agua dulce. “Más del 97% del agua de la Tierra es agua salada, cuyo aprovechamiento es complejo, por eso el agua dulce, que se utiliza para el consumo humano y un sin fin de actividades, es tan importante”. (Pérez Porto & Merino, 2018)

La construcción de presas y el tratamiento de aguas residuales son algunas de las estrategias que se llevan a cabo para obtener recursos hídricos que puedan aprovecharse. Hay que tomar en cuenta, que el calentamiento global, que deriva en la desaparición de glaciares (depósitos de agua dulce) y en temperaturas más altas que favorecen las sequías también incide en los recursos hídricos.

7.2 Contaminación del Agua

Las cuencas hidrográficas, componentes vitales para el abastecimiento de agua dulce, se encuentran sometidos a agresivos procesos de contaminación de sus aguas por los asentamientos humanos, que han cubierto las zonas montañosas donde se originan las cuencas.

Según, Núñez (2017) sostiene que aproximadamente el 10% de la población mundial vive en las zonas de laderas altas de las montañas y el 40% ocupa las zonas adyacentes de las cuencas bajas y medias. Asimismo, en el Anexo 1 del Libro VI, del TULSMA (2003), se define a la contaminación del agua como: “Introducción de elementos o compuestos objetables o dañinos, en una concentración tal que la hacen no apta para el uso deseado”. (p.56). Esto nos permite comprender que todo cambio provocado sobre un recurso natural genera una alteración que puede ser negativa, es así que cuando “se altera la composición o condición natural del agua podemos considerarla contaminada” (Daros, 2018). Puesto que “el agua está íntimamente ligada al desarrollo de las sociedades y culturas, este progreso genera una presión desmedida sobre los recursos hídricos, generando impactos negativos sobre el uso y la gestión de agua”. (Ortega, 2017)

7.2.1 Fuentes de contaminación hídrica

Las fuentes de contaminación hídrica son antropogénicas y naturales. “La naturaleza de estas puede ser física, química y biológica, en tanto que, el nivel de contaminación depende de la cantidad, concentración, tipo y procedencia de los elementos perjudiciales vertidos al agua”.(Daros, G, 2017)

a. **Fuentes antropogénicas:** Las descargas residuales generadas por las actividades humanas son muchas, sin embargo, con fines didácticos se las puede organizar en dos grupos, cuyo origen puede ser muy variado:

- **Descargas orgánica:** La contaminación por compuestos orgánicos provoca la disminución de oxígeno como resultado de su utilización en el proceso de degradación biológica. “Estas descargas provienen generalmente de la industria, actividades domésticas, hidrocarburos, industria alimenticia, servicios, agricultura entre otros” (Ramos R. , 2018).
- **Descargas inorgánicas:** La contaminación por compuestos inorgánicos genera efectos tóxicos, puesto que demandan oxígeno para su oxidación, como es el caso los sulfitos y nitritos. “Otros contaminantes dentro de este grupo son los iones de metales pesados como: mercurio, arsénico, cobre, zinc, níquel, cromo,

plomo, cadmio. Su presencia, aun en pequeñas cantidades pueden causar serios problemas de salud y la pérdida de la biodiversidad”. (Daros, G, 2017)

b. Fuentes naturales

La calidad del agua superficial y subterránea también puede verse afectada por muchos eventos naturales, por ejemplo Flynn (2017), aclara que las fuerzas naturales tales como precipitaciones, cambios estacionales, condiciones de evaporación, cambios en el flujo de corriente de agua y aire; derrumbes, sismos, deslaves y erupciones volcánicas. P.69)

“Dependiendo de los terrenos que atraviesa el agua puede contener y verse modificada por componentes de origen natural procedentes del contacto con la atmósfera y el suelo, por ejemplo sales minerales, calcio, magnesio, hierro, entre otros” (FAO, 2017).

Por otro lado, elementos que se encuentran de manera natural como el cadmio y el plomo son perjudiciales para la salud de los humanos incluso en concentraciones bajas. “Dos sustancias químicas inorgánicas, arsénico y fluoruro, han provocado problemas particularmente graves en el agua potable” (Flynn, 2017).

7.2.2 Naturaleza de la contaminación

- **Contaminación física:** “es aquella que genera cambios, en las propiedades físicas del agua, tales como: color, olor sabor, temperatura, conductividad, turbidez, densidad, entre otros” (Ramos R. , 2018). Por ejemplo, los licores negros procedentes de las plantas de fabricación de pasta química, alteran el color y olor del agua que los recibe, la presencia de sólidos en suspensión en el agua altera la temperatura, conductividad y turbidez, el aspecto puede alterarse por la presencia de material flotante como espumas provenientes de detergentes, en la mayoría de los casos los contaminantes son de origen doméstico o industrial (Aguirre, 2015).
- **Contaminación química:** “debida a la descarga de carbohidratos, fenoles, tensoactivos, proteínas, compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas, grasas animales, aceites y grasas creados a partir de descargas domésticas y comerciales, vertidos industriales, prácticas agrícolas y agropecuarias”. (Ramos R. , 2018)

La presencia de estos contaminantes en los cuerpos de aguas “altera sus características, pH, contenido de oxígeno, presencia de gases, presencia de iones metálicos tóxicos, entre otros”. (Ramos R. , 2018)

- **Contaminación biológica:** “se produce por la descarga de afluentes ricos en materia orgánica, portadores de una enorme cantidad de microorganismos que son responsables de diversas enfermedades humanas y animales, mediadas por bacterias, hongos, virus y protozoarios”. (Hounslow, 2017)

7.2.3 Impactos de la contaminación hídrica

Los impactos ambientales de la contaminación hídrica son muchos y se evidencian tanto en el componente biótico como abiótico.

- **Eutrofización:** La eutrofización es un proceso a través del cual, cantidades nocivas de nutrientes se acumulan en los cursos de agua, especialmente nitrógeno y fósforo que proceden de los fertilizantes agrícolas, aguas residuales municipales y sedimentos de cuencas erosionadas, incrementando el crecimiento de plantas verdes autótrofas que “bloquean la luz solar y la proliferación excesiva de algas, además, genera temperaturas elevadas dentro del agua, reducción del nivel y vida de peces y animales y deterioro de la calidad del agua, entre otro”. (Manahan, S., 2018).

“Es un grado de contaminación hídrica bajo la cual, “el ecosistema hídrico ha perdido su capacidad para auto depurarse”, en consecuencia requiere la ayuda del hombre para recuperarse”. (Manahan, S., 2018)

- **Contaminación de suelos:** La agricultura es el mayor consumidor de agua representa el 70% del suministro total de agua superficial del mundo y a menudo utiliza aguas residuales no tratadas para el riego. “Dado que menos del 2% de las ciudades del mundo tienen plantas de tratamiento de aguas residuales o plantas de dilución, esto representa una gran amenaza para la salud”. (Núñez, Mario Aguirre, 2017)

- **Propagación de vectores y enfermedades:** Organización mundial de la salud. En el Ecuador, “la diarrea y la gastroenteritis de presunto origen infeccioso son la cuarta causa más común de morbilidad, que representa un 14% del total según datos estadísticos arrojados por el INEC en su último estudio realizado en el año 2013”. (Yungán, 2018)
- **Pérdida de la biodiversidad:** El Sistema Único de Información Ambiental SUIA (2015), define a la biodiversidad como “el conjunto de patrones naturales de los seres vivos que han sido el resultado de la evolución genética de las especies, por lo tanto, la biodiversidad está compuesta por las diferencias genéticas de cada especie y de los ecosistemas”(Ortega, 2015). Por otro lado, las amenazas más fuertes a la biodiversidad mundial del agua dulce son la sobreexplotación; la contaminación; las modificaciones del flujo; la destrucción o degradación del hábitat; y la invasión de especies exóticas.

7.2.4 Contaminación de aguas superficiales

“La polución de aguas es la aspecto en el agua de contaminante en concentraciones y permanencias superiores o inferiores a las establecidas en la legislación vigente capaz de deteriorar la calidad del agua.” (Tulas, 2018)

El concepto de contaminación del agua es poco preciso, porque no dice nada acerca del material contaminante o de su fuente. La contaminación de los recursos hídricos puede ser consecuencia directa de las descargas de aguas negras e industriales, llamadas fuentes puntuales, o consecuencia indirecta de la contaminación del aire y suelo, citadas con fuentes no puntuales.

La calidad del agua ha ido decreciendo en gran parte por las actividades productivas que se desarrollan en las cuencas hidrológicas y por el mal uso que le dan sus habitantes al tratarlas como receptoras de residuos. Ver (Figura 10). Siendo las mayores fuentes contaminantes por las emisiones de agua domésticas e industriales que contienen gran cantidad de materia orgánica, nutrientes y sustancias tóxicas como las del sector agrícola (Abonos, pesticidas, herbicidas y estiércol, entre otros).

“Los sistemas acuáticos poseen medios efectivos de hacerle frente a estos problemas de contaminación, por medio de la dilución y la capacidad de auto purificación”. (Glynn & Gary,

W, 2018). La contaminación es cuestión de concentración, al tener unos cuantos gramos de una sustancia contaminante en un tanque de almacenamiento de pocos metros cúbicos de capacidad, se consigue una gran contaminación mientras que al tener la misma cantidad de contaminante en millones de metros cúbicos no tendría mayor importancia. “Grandes volúmenes de agua pueden convertir en inofensiva una descarga de contaminante”. (Orozco, J, 2017)

Figura 10

Contaminación en el río San Pedro



Fuente. (Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador, 2018)

Desde este punto de vista, se considera que las masas de agua también poseen organismos y microorganismos que metabolizan y reaccionan con las sustancias contaminantes, degradándolas y haciéndolas desaparecer a este proceso se le denomina capacidad de auto purificación. Por ello las sustancias que son arrojadas a los ríos tienen en general dos condiciones, biodegradables y no biodegradables. Las primeras son las que son posibles descomponer por medio de los microorganismos y reacciones químicas, mientras que la segunda no, siendo estas de mayor gravedad debido a que su acción devastadora perdura en el tiempo y se transmite por el transporte de agua e inclusive por la cadena trófica.

7.2.5 Aguas residuales

Calvo (2018), sostiene que el estudio realizado en la fundamentación teórica de libros, revistas, artículos, y más documentos, se menciona que las aguas residuales son aquellas que se han canalizado en los núcleos urbanos, y que se han utilizado en usos domésticos (inodoro,

fregaderos, lavadoras, lavabos y baños), y pueden contener, asimismo residuos de arrastre de las aguas de lluvia, de acciones industriales y agrícolas. (p.98). Que también se las conoce como las llamadas aguas negras que son una mezcla compleja de agua (en un 99% por lo general) con contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto disueltos como en suspensión. “La concentración de los contaminantes se expresa en relación de peso/volumen (mg/lit)”. (Bravo, 2018)

7.3 Calidad del Agua

“El agua es un recurso limitado e insustituible que es clave para el bienestar humano y solo funciona como recurso renovable si está bien gestionado”. (Decenio Internacional para la Acción "E Agua de Vida", 2017). Otro de los autores manifiesta que “la calidad del agua se entiende como la condición del agua con respecto a su naturaleza química, física y biológica del agua, en relación con su calidad natural” (Fernández y Solano, 2005, p 3), “la cual puede verse afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades antropogénicas”. (Torres, 2017)

“La contaminación de los cuerpos de agua ocurre al ser usados como receptores de los vertidos generados en los centros poblados, las zonas industriales y las actividades agropecuarias y escurrientías” (Ramos, Vidal, Vilardey, & Saavedra, 2017). “Mientras que los efectos sobre los cuerpos de agua variarán dependiendo del origen de los vertidos, las concentraciones de las sustancias contaminantes, los volúmenes descargados y las características de los propios cuerpos de agua”. (Ramos, Sepúlveda Marquéz, & Villalobos Moreto, 2017)

La gestión y administración adecuada de los recursos hídricos “ha obligado a conocer su comportamiento y respuesta ante las diferentes intervenciones antrópicas, siendo necesaria la implementación de métodos rápidos y económicos para el diagnóstico de las características de las fuentes de agua”. (Gómez, Naranjo Fernández, Martínez, & Gallego Suárez, 2017), citado en (Hann-vonHessberg, 2017)

7.4 Parámetro de la Calidad de Agua

La calidad del agua es un término relativo que depende del uso final que se le dé al recurso, por lo tanto el concepto de contaminación está referido, desde un punto de vista

práctico, a los usos posteriores del agua, como por ejemplo: Producción de agua potable; consumo y usos domésticos; fines industriales; agrícolas; consumo de los animales; actividades recreativas; preservación de flora y fauna, y transporte.

Para establecer la calidad de las aguas superficiales, se debe medir los parámetros físicos-químicos y biológicos de la situación real y actual de los ríos para compararlos con los parámetros estándares deseados, los cuales son establecidos en la legislación ambiental, y en la Organización Mundial de la Salud. Ver (Figura 11).

Figura 11

Parámetros para evaluar la calidad de aguas



Fuente. (Núñez, La cuenca hidrográfica, 2017)

Nota: La calidad de agua depende de la revisión de parámetros físicos, químicos y biológicos de estándares

- **Métodos físico-químicos:** Se los lleva a cabo mediante toma de muestras y se basan en el estudio de las características físicas del agua con el análisis de sus componentes químicos. “Estos métodos son puntuales ya que indican el estado del agua en el instante en que se obtuvo la muestra”. (Núñez, 2017)
- **Métodos biológicos:** se basan en “el estudio de macro invertebrados bentónicos y de plantas acuáticas, debido a que cada comunidad responde las condiciones fisicoquímicas del medio en que vive, cualquier alteración se refleja en la diversidad o abundancia de las comunidades”. (Núñez, 2017)

7.5 Parámetros físico-químicos utilizados para indicar la calidad de agua

Entre los parámetros, más utilizados para indicar la calidad del agua, según Hinojoza Cordero (2018), se analizaron, y de este estudio se parafrasea los parámetros, como:

- **Olor:** Las aguas residuales poseen un olor característico producto de la degradación de la materia orgánica. (Baños, 2018)
- **Color:** Algunos productos de desecho alteran considerablemente el color de las aguas, ocasionando la contaminación estética y dificultando los procesos de fotosíntesis e intercambio de oxígeno. (Benavidez Muñoz, 2019)
- **Materiales en suspensión:** Es la cantidad de sólidos en un fluido y expresados en porcentaje. Se describen de acuerdo al material remanente luego de la evaporación, secado, filtración y sedimentación. Estos materiales según su densidad y las características del medio receptor son depositados en diferentes zonas. (Baños, 2018)
- **Turbidez:** La turbidez o turbiedad es la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión exista en el líquido (generalmente se hace referencia al agua) más sucia parecerá esta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad. La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de turbidez, o Nephelometric Turbidity Unit (NTU). El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o Turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua. “Los límites de turbidez legalmente establecidos según la OMS (Organización Mundial para la Salud), para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU”. (Aguirre, 2015).
- **Temperatura:** “Es un parámetro básico para los seres vivos, y se mide en grados centígrados T (°C). Influye en la solubilidad de las sales, gases, pH y en la conductividad eléctrica. Existe una estrecha analogía entre la densidad del agua y su temperatura”. (Armitage, Moss, Wright, & Furse, 2017)

- **PH:** Evalúa la concentración de iones hidrógeno en el agua. El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica. “Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica”. (Sánchez, 2017)
- **Conductividad:** Se mide en micro siemens/centímetros uS/cm. “La conductividad se altera en función de la temperatura, y es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, está estrechamente ligada a la concentración de sustancias disueltas y a su naturaleza. Es indicativa de la presencia de iones”. (Alonso Duré, 2018)
- **Demanda biológica de oxígeno:** La DBO se mide en mg/L, y se le define como la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente en el agua mediante la acción de bacterias en condiciones aerobias. “La DBO es ocasionada por la respiración de bacterias y cesará al agotarse totalmente la materia orgánica”. (Sánchez, 2017)

Se altera en función de la temperatura, y es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad, está estrechamente ligada a la concentración de sustancias disueltas y a su naturaleza. Es indicativa de la presencia de iones. Las unidades con la que se mide y se reporta comercialmente la conductividad del agua son los microsiemens por centímetro ($\mu\text{S} / \text{cm}$). Los μS equivalen a siemens (S), y los S a su vez son iguales a un mho (U). Esto es debido a que la conductividad electrolítica es definida como la inversa de la resistencia eléctrica (reportada en ohmios Ω). “Por eso la conductividad se mide con equipos que tienen una sonda electrónica que aplica un voltaje entre dos electrodos. La disminución de voltaje se usa para medir la resistencia del agua que se cambia por conductividad”. (Sánchez, 2017)

- **Aceites y grasas:** En este grupo se incluyen los aceites y las grasas que se encuentren en estado libre, ya sean de origen animal, vegetal o mineral, destacando entre estos últimos por su especial importancia los derivados del petróleo.

Según Bouza (2012):

La mayoría de estos productos son insolubles en el agua, pero pueden existir en forma emulsionada o saponificada. Según su mezcla con los hidrocarburos, dan un aspecto irisado al agua, así como un sabor y un olor particular, es una sustancia de naturaleza

lipídica, que al ser insolubles en el agua, van a persistir en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas las cuales imposibilitan un adecuado tratamiento por lo cual deben removerse primero. (p.123)

De acuerdo a Bojaca, et al (2017), aclara que en “la determinación de grasas y aceites no se mide en una cantidad absoluta de una sustancia específica; se determinan grupos de sustancias con características físicas similares con base en su solubilidad en el solvente” (p.156). Así, el término "grasas y aceites" comprende cualquier material recuperado como una sustancia soluble en el solvente (n-hexano). Esto incluye otros materiales extraídos por el solvente de la muestra acidificada, tales como compuestos azufrados, algunos colorantes orgánicos y clorofila, no volatilizados durante el ensayo.

mg AYG/L = miligramos de grasas y aceites por litro.

LDM = Límite de Detección del Método

s = Desviación estándar

- **Demanda bioquímica de oxígeno:** Permite determinar la materia orgánica biodegradable. Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente, por la acción bioquímica aerobia. Esta transformación biológica precisa un tiempo superior a los 20 días, por lo que se ha aceptado, como “norma, realizar una incubación durante 5 días, a 20°C, en la oscuridad y fuera del contacto del aire, a un pH de 7-7.5 y en presencia de nutrientes y oligoelementos” (Sánchez, 2017). Pero también puede realizarse a diferentes tiempos como la DBO7 y la DBO (DBO última) es la medida hasta el agotamiento de toda la materia orgánica. El ensayo de la DBO es de tipo bioquímico, para ello se debe simular las condiciones en que la demanda ocurre en los medios naturales, con presencia de oxígeno, nutrientes y a una temperatura adecuada. Es el parámetro más usado para determinar la contaminación orgánica tanto en aguas residuales como en aguas superficiales. “Se aplica principalmente en el control de tratamiento primario en las estaciones depuradoras”. (Glynn & Gary, W, 2018)
- **Demanda química de oxígeno:** La DQO es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, oxidables en unas condiciones determinadas. Es la medida del material oxidable, cualquiera sea su origen, biodegradable y no biodegradable. “Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica”. (Hinojoza Cordero, 2018)

7.6 Parámetros biológicos

La evaluación de la calidad del agua por parámetros biológicos es otra alternativa que poco a poco va siendo más utilizada a nivel mundial. Se trata del uso de organismos indicadores o bioindicadores de la calidad ambiental. La meta de la evaluación biológica es detectar y comprender los cambios en los sistemas biológicos que resultan de las actividades antropogénicas.

Bouza (2012)m sostiene que:

El uso de bioindicadores es cada vez más aplicado en los estudios de contaminación de aguas superficiales ya que ofrece numerosas ventajas siendo una evaluación en primer lugar más económica ya que consiste en estudiar una comunidad biológica, debido a que en su estructura se encontrará el efecto de muchos factores ambientales no solamente del momento sino de factores ambientales que sucedieron varios meses atrás, ya que una comunidad biológica necesita de un tiempo prolongado para recuperarse tras sufrir una perturbación. (p.178)

Otra ventaja es que las comunidades biológicas se pueden encontrar en todos los sistemas acuáticos, lo cual permite realizar también estudios comparativos. Tienen una naturaleza sedentaria lo que permite un efectivo análisis espacial de los efectos de las perturbaciones. También los muestreos y análisis de las muestras se los puede realizar con equipos simples y de bajo costo. “Existen varios grupos de bioindicadores utilizados para realizar monitoreo de calidad de aguas, sin embargo los macro invertebrados acuáticos han sido siempre los más recomendados” (Orozco, J, 2017). También son conocidos como macro invertebrados bentónicos, y habitan en el lecho fluvial, entre piedras, plantas acuáticas, etc. Ya sea durante toda su vida o una parte de ella. Alcanzan un tamaño superior a 0.2mm lo cual los hace visibles a la simple vista.

Además se caracterizan por una alta diversidad taxonómica que junto con su escasa capacidad de desplazamiento y el ciclo largo de vida de algunos permite realizar un análisis multi temporal de las perturbaciones ecológicas. A diferencia de las evaluaciones físico químicas que dan resultados del momento en que se toman las muestras, una evaluación biológica nos da resultados de las condiciones del agua en el pasado y en el presente. En otras palabras, un análisis físico-químico puntual equivaldría a una 'foto' del río en un momento

específico, mientras que el análisis de una comunidad biológica sería una 'filmación' de lo que le ha sucedido durante un tiempo determinado hasta la actualidad.

La combinación de las evaluaciones físico-químicas que son la base para realizar los modelos de calidad de aguas junto con las evaluaciones biológicas nos darán datos muy representativos del grado de contaminación de las aguas superficiales. Los resultados obtenidos del modelo y de las evaluaciones nos brindarán como resultado un estudio completo y preciso de la situación real del río, es por ello que ambas técnicas deben ser aplicadas ya que se complementan una a la otra.

7.6.1 Los macro invertebrados bentónicos de contaminación de materia

En el estudio efectuado se analiza que la contaminación por materia orgánica en las aguas superficiales tiene efectos directos sobre las comunidades biológicas, por tal motivo la comunidad de macro invertebrados ha sido estudiada desde el punto de vista científico, y analizado en varios libros virtuales, científicos, revistas indexadas, a través de autores clásicos y modernos, que una vez estudiado se ha efectuado una analogía (correlación), a fin de extraer conocimiento científico fundamentado por los autores y poder parafrasear para que sirva de soporte para el desarrollo del Análisis de Caso, para aclarar que la mayor parte de invertebrados acuáticos son altamente sensibles a la reducción de oxígeno provocada por la contaminación de materia orgánica en el agua, por lo cual existe una considerable reducción en su abundancia o incluso llegan a desaparecer. Sin embargo existe otro grupo que toleran bien las bajas concentraciones de oxígeno disuelto como por ejemplo “las larvas de dípteros de la familia Chironomidae, de tal forma que una gran abundancia de estos macro invertebrados son indicadores del tipo y grado de contaminación presente en el río San Pedro”. (Calvo, 2018)

Por ello, para establecer el valor indicador de los macro invertebrados, algunos autores, como Glynn & Gary (2018), han desarrollado diferentes índices biológicos de calidad de aguas, los cuales se basaron en la tolerancia de las especies ante los factores contaminantes enfocados en la presencia o ausencia así como en la abundancia de los organismos acuáticos, que en la actualidad hay una gran cantidad de índices biológicos de calidad de aguas para sistemas pluviales entre los cuales, según este autor se logra mencionar a los siguientes grupos:

Glynn & Gary 8 (2018)

- **Índices Sapróbicos:** Son los que reflejan los efectos de la contaminación por materia orgánica y su grado de descomposición sobre los organismos.
- **Índices de diversidad:** Están basados en las variaciones de las comunidades de organismo, es decir que a mayor biodiversidad mejor calidad de agua.
- **Índices bióticos:** Actualmente los más usados, por basarse en la clasificación de los organismos por su tolerancia a la contaminación, y se les asigna un número cuyo rango varía según el índice utilizado. (p.237)

Como se ha mencionado, los índices bióticos aprovechan los incomparables tipos de tolerancia de los macro invertebrados para valorar el grado de contaminación orgánica presente en el lecho fluvial. El BMWP (Biological Monitoring Working Party) y el IBMWP (Iberian Biomonitoring Working Party) otorgan valores de 1 a 10 a las diferentes familias de invertebrados. En el caso del índice BMWQ (Biological Monitoring Water Quality) se otorgan valores de 1 a 15 a las diferentes familias de macro invertebrados (Camargo, 2017). Este último índice ha mostrado “una elevada eficacia para valorar el efecto de vertidos de aguas residuales urbanas en los ríos, de descargas de agua con déficit de oxígeno disuelto, o de descargas de agua con elevada concentración de nutrientes”. (Manahan, S., 2018)

7.7 Índices de la calidad del agua

“Para simplificar la interpretación de los datos de un monitoreo, existen índices de calidad del agua, los cuales reducen una gran cantidad de parámetros a una expresión simple de fácil interpretación” (Torres, 2017). “Organizaciones de varias nacionalidades involucradas en el control del recurso hídrico, han usado de manera regular índices fisicoquímicos para la valoración de la calidad del agua” (Fernández & Solano, 2017). En general, todos consideran “parámetros fisicoquímicos similares, pero difieren en la forma en que los valores de los parámetros se integran e interpretan estadísticamente”. (Zagato, 2015), citado en Debels (2017), cada uno representa la realidad del lugar. “En la actualidad los indicadores desarrollados involucran desde “1 a 30 parámetros, y la elección depende del criterio de un experto, información existente, criterios de tiempo, localización y su importancia como estándar de calidad”. (Samboni, Carvajal Escobar, & Escobar, 2017)

Para Sacha & Espinoza (2016), aclaran que un “índice de calidad de agua se define como: Una herramienta que permite reducir información sobre un gran número de determinados

análisis fisicoquímicos y microbiológicos a un solo índice de una forma simple, rápida, objetiva y reproducible” (p.73). Las cualidades del índice se dan porque éste se deriva matemáticamente, evitando así subjetividades y sesgos.

Mientras que, Nasiri, et al (2015), citado en Torres (2017) lo definen como una expresión simple de una “combinación más o menos compleja de un número de parámetros que sirven como expresión de la calidad del agua; el índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color”. (p.189)

Según Guillén (2017), sostiene que el índice de “calidad del agua indica que el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura” (p.61); así, agua altamente contaminada tendrá un valor cercano o igual a 0%, en tanto que el agua en excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100%.

7.7.1 Importancia de los índices de calidad de agua

Es un tema de actualidad que nos afecta a todos por igual, y que cada día cobra más relevancia, porque cada vez exigimos tener un mejor nivel de vida, en el análisis de caso realizado, se halló que la Autoridad Nacional del Agua (2017), menciona que “los índices de calidad del agua constituyen un instrumento fundamental en la gestión de los recursos hídricos”, debido a que permite transmitir información de manera sencilla sobre la calidad a las autoridades competentes y al público en general; e identifica y compara las condiciones de calidad del agua y sus posibles tendencias en el espacio y el tiempo.

Desde ese punto de vista se considera que “los indicadores ambientales nacen como respuesta a la necesidad de obtener información relevante sobre diversos temas ambientales” (Castro, Almeida, Ferrer, & Díaz, 2017); los datos obtenidos se deben presentar en un formato que permita su análisis y que sea favorable para el uso de estadísticas.

Por eso, es importante señalar que “los índices de calidad del agua surgen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico fundamental en los procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos” (Torres *et al.*, 2009, p. 82) y “con esta información se pueden tomar importantes decisiones en materia de legislación,

medidas de mitigación, control y protección del medio ambiente, las cuales están regidas por normas y regulaciones de carácter oficial” (Coello *et al.*, 2013, p. 67).

7.7.2 Uso de los índices de calidad del agua

Los índices permiten conocer el estado de la calidad del agua de los cuerpos hídrico en el espacio y tiempo.

De acuerdo con Ott (2016), citado en Valcarcel (2017) los posibles usos de los índices son:

- **Clasificación de Áreas.** Comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- **Aplicación de normatividad.** Determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- **Análisis de la tendencia.** Analizar los índices en un periodo de tiempo mostrando si la calidad ambiental está empeorando o mejorando.
- **Información pública.** Proveer la información a las autoridades y utilizar los índices en acciones de concientización y educación ambiental.
- **Investigación Científica.** Simplificar una gran cantidad de datos de manera que se pueda analizar fácilmente y proporcionar una visión de los fenómenos medioambientales. (Valcarcel, Alberro Macías, & Frías Fonseca, 2017)

7.7.3 Tipos de índices de calidad de agua

- **El índice de calidad de agua Horton**

Horton (1983) para medir el pH del agua, propone parámetros de infiltración con ICA para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática, es pionero en la generación de una metodología unificada para su cálculo. El índice se utiliza, en primer lugar, con el propósito de revelar los cambios físicos y químicos ocurridos a nivel de la calidad de las corrientes de agua. “Su nivel de calidad va de 0 a 100, interpretado como ecosistema fuertemente contaminado y calidad aceptable. Se define a través de la siguiente ecuación”. (Torres, 2015)

$$\text{Ecuación: } ICA = \frac{K \sum C_i P_i}{\sum P_i} \quad (1)$$

Donde:

C_i = Valor porcentual asignado a los parámetros.

P_i = Peso asignado a cada parámetro.

K = Constante que toma los siguientes valores:

1.00 Para aguas claras sin aparente contaminación.

0.75 Para aguas con ligero color, espumas, ligera turbiedad aparente.

0.50 Para aguas con apariencia de estar contaminada y fuerte olor.

1.25 Para aguas que presenten fermentaciones y olores.

0.50.1 El índice de calidad de agua “Biological Monitoring Working Party” (BMWP)

Consiste en evaluar la calidad del agua usando los macro invertebrados como bioindicadores. Se asigna a las familias de macro invertebrados acuáticos, valores de tolerancia a la contaminación comprendida entre: (1) familias muy tolerantes y (10) familias intolerantes.

La suma de los valores obtenidos para cada familia detectada en un punto nos dará el grado de contaminación del punto estudiado, el índice biológico BMWP debido a su versatilidad es muy útil para la gestión de la Calidad del agua que permite una evaluación rápida y acertada, esto basado en ponderaciones de sensibilidad a los rangos de tolerancia ambiental de los macro invertebrados acuáticos, la interpretación del BMWP modificado y adaptado para determinado cuerpo de agua es clara y sencilla.

Este índice particularmente no está sesgado por el gradiente altitudinal, debido a que se produce “la evaluación según el patrón de ponderaciones de sensibilidad de los grupos poblacionales característicos en diferentes zonas de vida y no en la composición taxonómica de la estructura de las comunidades”. (Hernán Cruz, 2015)

0.50.2 El índice de calidad de agua (ICA) Dinius

Fue desarrollado en Estados Unidos para ríos de Latinoamérica. Dinius planteó un ICA conformado por nueve parámetros fisicoquímicas y dos microbiológicas; permitió establecer

que los parámetros que presentan un mayor ER son: Coliformes Fecales y Totales, Oxígeno Disuelto, DBO5, Turbiedad, pH, Sólidos Totales, Nitrógeno Total, Fósforo Total y Color. es un índice multiplicativo de calidad del agua, diseñado específicamente para la toma de decisiones, fue desarrollado utilizando el método de índice presentado por Delphi. “A diferencia del ICA-NSF (National Sanitation Foundation), cuya clasificación está orientada a aguas destinadas a ser empleadas como fuente de captación para consumo humano, considera 5 usos del recurso: consumo humano, agricultura, pesca y vida acuática, industrial y recreación”. (Patiño, 2015)

Dinius, examinó la calidad del agua descrita por diversas autoridades y diferentes niveles de variables contaminantes, y a partir de esta información genera 11 ecuaciones subíndice. “El índice se calcula como la suma ponderada de los subíndices, como el índice de Horton, y la versión de aditivo de la (NSF)”. (Patiño, 2015)

0.50.3 El índice de calidad de agua adaptado al Río Cauca (ICAUCA)

Es un índice de calidad de agua desarrollado en Colombia en el 2004. Este indicador fue desarrollado a partir de estudios fisicoquímicos, microbiológicos y limnológicos realizados en la industria petrolera por las condiciones de los ríos de Colombia. Utiliza 10 variables fisicoquímico y biológicos tales como el DBO5, coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno: las dos primeras reflejan fuentes diversas de contaminación orgánica y la tercera expresa la respuesta ambiental del cuerpo a este tipo de polución el índice se basó en el “comportamiento de la calidad del agua del río en este tramo y en la revisión de diferentes ICA desarrollados a nivel mundial a partir de los cuales se definieron los parámetros, subíndices y ecuaciones para ser considerados”. (Nemerow, 2015)

Fórmula

$$ICA_a = \prod_{i=1}^9 (Sub_i * W_i) \quad (2)$$

Dónde:

Promedio geométrico ponderado

Wi: peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro

Ii: subíndice de i-ésimo parámetro

0.50.4 El índice simplificado de calidad de agua (ISQA)

“La calidad de las aguas superficiales puede ser determinada empleando el ISQA, que es un número dimensional que permite operar con muy pocos parámetros analíticos y a la vez ofrece garantías en los resultados”. (Bustamante, Sanz, González-Hernández, Encabo, & Mateos, 2017). Fue desarrollado por Queralt en el año 1982 el ISQA para las cuencas de Cataluña (España), el cual se basó en 5 parámetros fisicoquímicos y planteó una clasificación de la calidad del agua para usos específicos del recurso, entre las cuales se destaca el abastecimiento para consumo humano.

La clasificación de la calidad del agua es para 6 usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento para consumo humano. Tiene la ventaja de ser fácil de usar y proporcionan una idea rápida e intuitiva de la calidad de agua, los cinco parámetros necesarios para el cálculo de la calidad del agua son los siguientes:

Según Boyd (2016):

Temperatura (T), expresada en °C, Demanda química de oxígeno (DQO), expresada en mg/l, Sólidos suspendidos totales (SST), expresado en mg/l, Oxígeno disuelto (OD), expresado en mg/l y Conductividad (C.E.), expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Determina los criterios de calidad para diferentes usos, agrícola, consumo humano, riego, recreación. (p.92)

El ISQA emplea el producto de la temperatura por la sumatoria de los valores obtenidos mediante ecuaciones que transforman las concentraciones de DQO, sólidos suspendidos, oxígeno disuelto y conductividad en un número adimensional, tal como lo hacen otros ICA.

Fórmula:
$$ISQA = T (A + B + C + D) \quad (3)$$

Donde:

T = Temperatura (T), expresada en °C

A = Demanda química de oxígeno (DQO), expresada en mg-1

B = Sólidos suspendidos totales (SST), expresado en mg/l

C = Oxígeno disuelto (OD), expresado en mg/l

D = Conductividad (C.E.), expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$

Según Bustamante, et al (2017), el uso de este “índice es de gran interés, porque permite conseguir resultados fiables y rápidos, y económicos muy adecuados para su aplicación, tanto en las áreas rurales de escasos recursos como en la gestión de espacios protegidos” (p.218). Es por tanto, una herramienta útil para conocer el estado de la calidad de las aguas e identificar fuentes de contaminación, que facilita dirigir los posteriores estudios de casos específicos de identificación de problemas y las actuaciones que conlleven.

7.8 Modelo matemático

Un modelo matemático es una representación simplificada, a través de ecuaciones, funciones o fórmulas matemáticas, de un fenómeno o de la relación entre dos o más variables. “La rama de las matemáticas que se encarga de estudiar las cualidades y estructura de los modelos es la llamada teoría de los modelos”. (Bouza, 2012)

Los modelos matemáticos son manejados para analizar la relación entre dos o más variables. Pueden ser utilizados para entender fenómenos naturales, sociales, físicos, entre otros. “Dependiendo del objetivo buscado y del diseño del mismo modelo pueden servir para predecir el valor de las variables en el futuro, hacer hipótesis, evaluar los efectos de una determinada política o actividad, entre otros objetivos” (Roldán, 2018). Aunque parezca un concepto teórico, en realidad hay muchos aspectos de la vida cotidiana regidos por modelos matemáticos. Lo que ocurre es que no son modelos matemáticos enfocados a teorizar. Al contrario, son modelos matemáticos formulados para que algo funcione.

7.8.1 Elementos básicos de un modelo matemático

Los modelos matemáticos según Roldán (2018), pueden variar en cuanto a su complejidad, pero todos ellos tienen un conjunto de características básicas:

- **Variables:** Son los conceptos u objetos que se busca entender o analizar. Sobre todo con respecto a su relación con otras variables. Así por ejemplo, una variable puede ser el salario de los trabajadores y lo que queremos analizar son sus principales determinantes (por ejemplo: años de estudio, educación de los padres, lugar de nacimientos, entre otros.) (Roldán, 2018)

- **Parámetros:** Se trata de valores conocidos o controlables del modelo. (Roldán, 2018)
- **Restricciones:** Son determinados límites que nos indican que los resultados del análisis son razonables. Así por ejemplo, si una de las variables es el número de hijos de una familia, una restricción natural es que este valor no puede ser negativo. (Roldán, 2018)
- **Relaciones entre las variables:** El modelo establece una determinada relación entre las variables apoyándose en teorías económicas, físicas, químicas, entre otros. (Roldán, 2018)
- **Representaciones simplificadas:** Una de las características esenciales de un modelo matemáticos es la representación de las relaciones entre las variables estudiadas a través de elementos de las matemáticas tales como: funciones, ecuaciones, fórmulas, entre otros. (Roldán, 2018)

7.8.2 Propiedades deseadas de un modelo matemático

Según Bouza (2012), cuando se diseña un modelo matemático, se busca que este tenga un conjunto de propiedades que ayude a asegurar su robustez y efectividad. Entre estas propiedades se encuentran:

- **Simplicidad:** Uno de los objetivos principales de un modelo matemático es simplificar la realidad para poder entenderla mejor (Bouza, 2012).
- **Objetividad:** Que no tenga sesgos ni teóricos ni de los prejuicios o ideas de sus diseñadores (Bouza, 2012).
- **Sensibilidad:** Que sea capaz de reflejar los efectos de pequeñas variaciones. (Bouza, 2012)
- **Estabilidad:** Que el modelo matemático no se altere significativamente cuando hay cambios pequeños en las variables (Bouza, 2012).
- **Universalidad:** Que sea aplicable a varios contextos y no sólo a un caso particular (Bouza, 2012).

7.8.3 Procesos para hacer un modelo matemático

De acuerdo a Roldán (2018), en términos generales para hacer un modelo matemático, el proceso es el siguiente:

1. Encontrar un fenómeno o problema.
 2. Formular un modelo con elementos de matemáticas representando el problema elegido identificando las variables relevantes (dependientes e independientes).
 3. Establecer hipótesis y un método de prueba de su veracidad.
 4. Aplicar los conocimientos matemáticos para resolver el modelo y hacer predicciones si es necesario.
 5. Hacer comparaciones de los datos obtenidos con datos reales.
 6. Si los resultados no se ajustan a lo esperado, ir ajustando el modelo matemático.
- (Roldán, 2018)

7.8.4 Tipos de modelos matemáticos

De acuerdo a Roldán (2018), existen diversos tipos de modelos matemáticos. A continuación, vemos algunos de los tipos de modelos más relevantes:

De acuerdo a la información utilizada

Heurístico: Basado en posibles explicaciones sobre las causas de los fenómenos observados.

Empírico: “Utiliza la información de la experimentación real”. (Roldán, 2018)

Según tipo de representación

Cualitativos o conceptuales: Se refieren a un análisis de la calidad o la tendencia de un fenómeno sin calcular un valor exacto.

Cuantitativos o numérico: “Los resultados obtenidos tienen un valor concreto que tiene un cierto significado (puede ser exacto o relativo)”. (Roldán, 2018)

Según la aleatoriedad

Determinista: No tiene incertidumbre, los valores son conocidos.

Estocástico: “No se conoce con exactitud el valor de las variables en todo momento. Existe incertidumbre y por ende una distribución de probabilidad de los resultados”. (Roldán, 2018)

Según su aplicación u objetivo

Simulación o descriptivo: Simula o describe un fenómeno. Los resultados se enfocan a predecir qué sucederá una determinada situación.

Optimización: Se utilizan para encontrar una solución óptima a un problema.

De control: “Para mantener el control de una organización o sistema y determinar las variables que deben ajustarse para obtener los resultados buscados”. (Roldán, 2018)

7.8.5 Técnicas de pronóstico para datos estacionales

Según (Hamaker, 2010), implica la selección de un método de descomposición multiplicativo o aditivo (estimación de índices estacionales a partir de la historia de la serie).

La técnica de pronósticos para datos estacionales se usa siempre que:

- El clima influya en las variables de interés (moda)
- El calendario anual influya en la variable de interés (días festivos, calendarios escolares). Las técnicas que se recomiendan son: Métodos de descomposición o Suavización; Exponencial Winter; Regresión múltiple. (Hamaker, 2010)

7.8.6 Evaluación del desempeño: Medición del error

Un método para evaluar las técnicas de pronósticos utiliza la suma de los errores absolutos. La desviación media absoluta MAD (Mean Absolute Deviation) por sus siglas en inglés mide la precisión del pronóstico promediando las magnitudes de los errores de pronóstico (valores absolutos de cada error). “MAD es más útil cuando el analista quiere

medir el error de pronóstico en las mismas unidades que la serie original”. (Wagenet & Hutson, 2009)

Para la evaluación del desempeño predictivo se emplean diferentes indicadores que cuantifican qué tan cerca está la variable pronosticada de su serie de datos correspondiente. Una de las medidas más utilizadas es el Promedio del Error Porcentual Absoluto (MAPE)

Fórmula:

$$MAPE = \sum_{i=1}^n \left| \frac{(y_t - \hat{y}_t)}{y_t} \right| \times \frac{1}{n} \quad y_t \neq 0 \quad (4)$$

Dónde:

MAPE: Es el porcentaje promedio absoluto de error, calcula la exactitud de los valores estimados de la serie de tiempo. La exactitud se expresa en valor absoluto como un porcentaje y_t igual al valor observado, \hat{y}_t es el valor estimado y n el número de observaciones (SENATUR, 2017).

7.8.7 Descomposición estacional

La descomposición se utiliza para identificar los componentes de tendencia, cíclicos y estacionales, de una serie de datos.

El proceso supone que un dato está conformado así:

$$datos = patron + error \quad (5)$$

Y que el patrón se compone de tendencia (T), ciclo (C) y estacionalidad (S). El método más usado de descomposición es el multiplicativo. “La presentación matemática es para aplicar la técnica se realiza un promedio móvil centrado con una longitud igual a la longitud del ciclo estacional luego se divide el promedio móvil entre los datos para obtener el valor estacional”. (Paula Andrea Ortiz Valencia, José Leonardo Ramíre, 2011)

7.8.8 Correlación de datos

La fortaleza de la relación lineal que existe entre dos variables se miden entre la correlación que existe entre ellas. “El coeficiente de correlación mide la fuerza de la siguiente forma: Dos variables con una relación negativa perfecta tienen un coeficiente de correlación igual a -1”. (González Astudillo, 2014)

En el otro extremo dos variables con una relación positiva perfecta tienen un coeficiente de correlación igual a +1. “Así el coeficiente de correlación varía entre -1 y +1, incluyéndolos, dependiendo de la cantidad de asociación entre las dos variables que se miden”. (González Astudillo, 2014). Para que un modelo pueda representar con fidelidad la realidad estudiada, es necesario someterlo a un proceso de calibración y verificación. La calibración de un modelo de calidad del agua es un “proceso complejo que procura la obtención de un conjunto de valores de los parámetros de calibración que minimicen la diferencia (error) entre los datos medidos en campo y los calculados por el modelo” (American Public Health Association, 2012).

Durante este proceso, se emplea una base de datos en las fronteras del modelo, la cual permite realizar simulaciones hasta lograr reproducir con cierta precisión las series de datos observados en campo, en las diferentes estaciones.

8. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

8.1 Descripción de la zona de estudio

El estudio se realizó en la cuenca del Río San Pedro ubicado en la provincia de Pichincha el cual nace de los deshielos de los Ilinizas atravesando todo el Valle de los Chillos, sector localizado al oriente de Quito, desde Machachi hasta bordear el Cerro Ilaló por el Oriente. Sus aguas atraviesan tres cantones: Cantón Mejía, Cantón Rumiñahui y Cantón Quito. Ver (Figura 12-14). En todo su recorrido, recibe las aguas de diferentes ríos y quebradas, entre los principales se encuentran el Río Pita, Río Santa Clara, Río Cachaco y Río Capelo. Atraviesa varios centros poblados, como Tambillo, Uyumbicho, Amaguaña, Sangolqui, San Rafael, Guangopolo, Tumbaco y Cumbaya.

Figura 12
Ubicación del río San Pedro en el cantón Quito



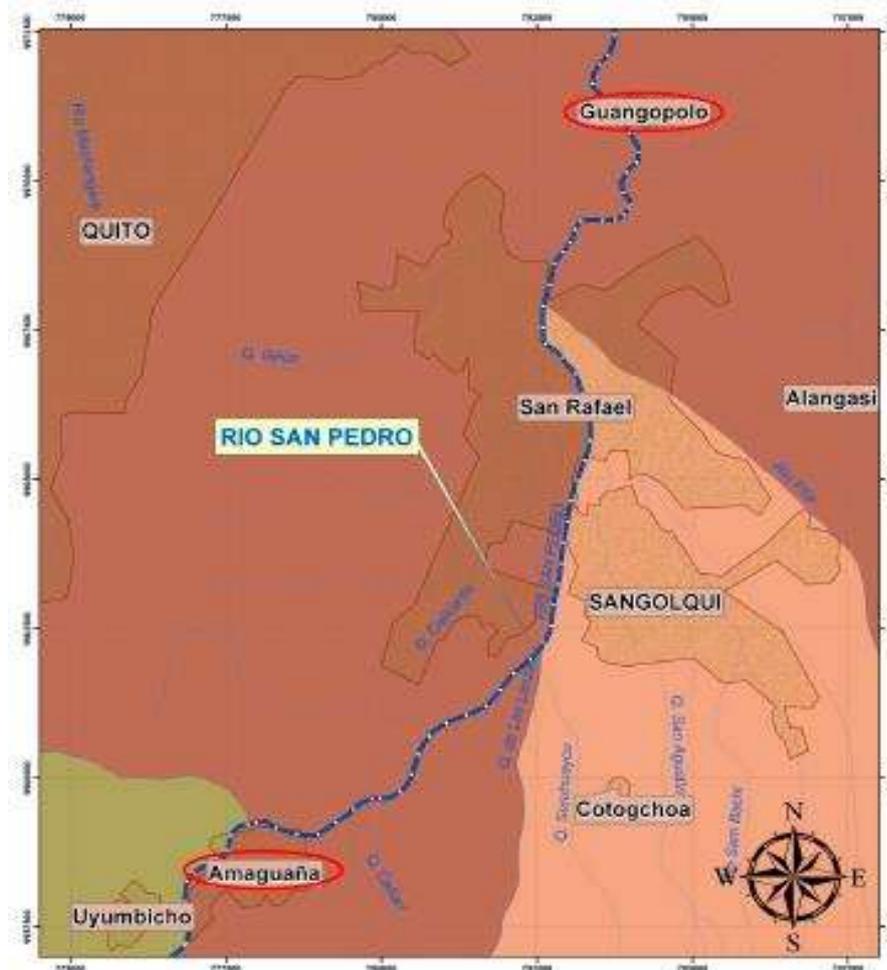
Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador, 2018)

Figura 13
Ubicación del río San Pedro en el Distrito Metropolitano de Quito



Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador, 2018)

Figura 14
Área de estudio a nivel de la cuenca río San Pedro



Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador, 2018)

La micro cuenca del río San Pedro ocupa una superficie de $750,89 \text{ Km}^2$ y su rango altitudinal oscila entre 2480 y 5200 msnm con un desnivel de 2729 m, las pendientes en la mayor parte de la micro cuenca están entre 0 y 5%, mientras que las pendientes cercanas a los sistemas montañosos como el Illiniza y el Corazón oscilan entre 15% y 50% en las partes bajas, llegando hasta valores por encima de 100% cerca de la cumbre (González, 2014).

Esta micro cuenca pertenece a la provincia de Pichincha y comprende tres cantones: Rumiñahui (parroquias de Sangolqui y Cotogchoa), Mejía (parroquias de Aloag, Uyumbicho, Tambillo, Machachi, Cutuglahua y El Chaupi) y Quito (Pintag en mínima proporción, Alangasi y Amaguaña), y una pequeña porción en la parte sur corresponde a la Provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga (parroquias Mulaló y San Juan de Pastocalle), (FONAG, 2010).

8.2 Selección del caso

En la Secretaría Nacional del Medio Ambiente (2020), los técnicos de la unidad de gestión de la calidad del agua realizaron un estudio y monitoreo, en el río San Pedro, y observaron descargas directas de aguas residuales domésticas al cauce del río, además, personas que habitan en sitios cercanos a estos puntos de muestreo, en el informe archivado, mencionan que existen industrias que descargan las aguas contaminadas sin el tratamiento previo, deteriorando la calidad del agua del río San Pedro. Sus aguas atraviesan tres cantones: Cantón Mejía, Rumiñahui y Quito, que en todo su recorrido, recibe las aguas de diferentes ríos y quebradas, entre los principales se encuentran el río Pita, río Santa Clara, río Cachaco y río Capelo. Atraviesa varios centros poblados, como Tambillo, Uyumbicho, Amaguaña, Sangolqui, San Rafael, Guangopolo, Tumbaco y Cumbaya.

Al llegar al sector de San Rafael a nivel de la Bocatoma, el caudal del río es regado aproximadamente a 4 kilómetros, las aguas se trasladan a la represa de Guangopolo para producir energía eléctrica, luego son liberadas las aguas a la altura de Tumbaco, recibiendo las aguas el Río Machángara y el Río Chiche, para luego transformarse en el Río Guayllabamba. Inclusión: Indagaciones que se centren en índices de calidad de agua y calidad del agua del río San Pedro.

Exclusión: Indagaciones que no tengan los términos calidad de agua o índices de calidad de agua.

8.3 Acceso al campo

Se eligió como escenario para la realización de este estudio en la microcuenca del río San Pedro, “la cual nace al Sur Oriente de la hoya de Quito en los Illinizas” (FONAG, 2017), ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito, en donde se accedió progresivamente a la información primordial mediante fuentes de información primarias, no se requirió realizar ningún tipo de permiso para acceder a los datos requeridos para el análisis ya que los datos de monitoreo en la secretaria del ambiente se encuentran como información pública, la cual posteriormente podría ser utilizada por otros proyectos para planes de manejo, conservación, entre otros.

8.4 Recolección de los datos

La recolección de datos se ejecutó a través de la técnica de investigación documental en la cual se agrupó toda la información trascendental sobre los parámetros fisicoquímicos medidos en el punto de muestreo del Río San Pedro del período 2013-2019, los mismos fueron compilados de la página oficial de la secretaria del ambiente del Distrito Metropolitano de Quito en su sección políticas y planeación ambiental - Red de Monitoreo, la selección de la metodología se realizó a través de revisiones exhaustiva de artículos científicos sobre índices de calidad de agua y se seleccionó aquella que se ajustó a nuestra base de datos, además para obtener información de las características hidroclimáticas de la zona de estudio se procedió a la revisión de anuarios meteorológicos y a solicitar datos mensuales de precipitación, temperatura y evaporación del periodo 2013-2019 de la estación meteorológica Tola, al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) por medio del portal único de tramites ciudadanos para la emisión de información estadística meteorológica e hidrológica para el sector público y académico, se seleccionó dicha estación meteorológica por ser la más cercana al río San Pedro.

Para este estudio se utilizó el método descriptivo de acuerdo con el anuario meteorológico se elaboró los histogramas de las variables como precipitación (mm), temperatura (°C), Evaporación (%), Evapotranspiración y Nubosidad de los valores medios mensuales para el análisis de método estadístico descriptivo.

8.5 Análisis de datos

8.5.1 Evaluación de la base de datos disponibles

En el río San Pedro fueron tomadas muestras en intervalos mensuales durante el periodo 2013-2019 en el punto de monitoreo del cuerpo hídrico establecido en la Red Metropolitana de Monitoreo del Recurso Hídrico (RMMRH), por la dirección de Políticas y Planeamiento Ambiental de la Secretaría del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. En el punto de muestreo, fueron medidos 25 parámetros fisicoquímicos, siguiendo el procedimiento del laboratorio de Investigación, Análisis y Monitoreo – IAM-Q de la Secretaría del Ambiente. Ver (Tabla 1 y 2).

Tabla 1
Toma y conservación de muestras de agua

Tipo de envase	Preservación	Parámetros para Análisis
Polietileno (2 L)	4-5 ° C	DBO ₅ , detergentes, sulfatos, sulfuros, cianuros, color, sólidos disueltos, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales.
Vidrio ámbar (500 ml)	4-5 ° C, acidificada con ácido sulfúrico	DQO, aceites y grasas, TPH, fenoles, fósforo.
Vidrio ámbar (500 ml)	4-5 ° C, acidificada con ácido nítrico	Metales

Fuente. Tomado de <https://sites.google.com/site/redaguadmq/tecnicas-de-muestreo-y-metodos>

Según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (2015):

La recolección de datos para el desarrollo del estudio de análisis de caso, se consideró el archivo del informe de las muestras, con las recomendaciones y pautas establecidas en las Normas Técnicas Ecuatorianas NTE INEN-ISO 5667-1 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015). Calidad del agua. Muestreo. Parte 1: guía para el diseño de los programas y técnicas de muestreo (ISO 5667-1:2006, IDT) y NTE INEN-ISO 5667-3 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2015). Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: conservación y manipulación de las muestras de aguas (ISO 5667-3-2012, IDT). (p. 87)

Los técnicos llevaron a cabo los muestreos en ISQA cinco puntos bajo los lineamientos de las normas INEN mencionadas en el párrafo anterior, adoptando el siguiente protocolo:

Según (Hinojoza Cordero, 2018)

- Previo a la toma de muestra, los técnicos de la Secretaria del Medio Ambiente han realizado la homogenización de las botellas, es decir, se lavaron las botellas con el agua del cuerpo hídrico, con el fin de evitar la contaminación por factores externos.
- Para la recolección del volumen total de la muestra se utilizó una botella de polietileno de un litro; mientras que, la recolección de las muestras para análisis microbiológico se lo realizó en frascos esterilizados y herméticamente cerrados de 150 ml, que fueron sellados para evitar el contacto con el aire.
- Para la conservación de las muestras de agua se utilizaron un contenedor con hielo hasta su traslado al laboratorio manteniendo una temperatura adecuada de 4°C. (p.278)

Los técnicos del GADM-R, procedieron a realizar un análisis “*ex situ*” de las muestras de aguas del río San Pedro, las mismas que fue realizado en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UCE. Las mediciones “*in situ*”, fue realizado mediante el multiparámetro

marca WTW Multi 3410 SET 4, se ha ejecutado la medición de los siguientes parámetros fisicoquímicos: temperatura del agua, oxígeno disuelto (OD), potencial hidrógeno (pH) y sólidos disueltos totales (SDT. Por lo demás, se registró la temperatura ambiente con la ayuda de un termómetro. Cabe mencionar que cada una de las sondas del equipo estuvo calibradas previamente en el laboratorio. El protocolo para la medición “insitu”, fue el siguiente, según el informe que se realizó por los técnicos del GADM-R: Las sondas de pH, oxígeno disuelto, conductividad han sido lavados con agua destilada para evitar contaminación de la muestra no alteraciones en las mediciones.

- Para realizar las mediciones tomaron agua del cuerpo hídrico en un recipiente de plástico previamente homogenizado.
- En dónde se ha introducido la sonda, durante los valores de cada uno de los parámetros. (Secretaria Nacional del Medio Ambiente, 2020)

Para realizar los análisis de los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio, emplearon metodologías de la American Public Health Association (American Public Health Association, 2012), y los procedimientos descritos en el manual del equipo HACH del laboratorio de Ingeniería Ambiental. Ver (Tabla 2), en el que se describe los métodos de análisis de parámetros analizados in situ y laboratorio (evidencias dejadas en archivo del GADM-R, por Secretaria del Medio Ambiente)

Tabla 2
Métodos de parámetros analizados in situ y laboratorio

Parámetros	Método de análisis
pH	APHA 4500-H B
Conductividad	APHA 2510 A
Temperatura	APHA 5550 B
Oxígeno disuelto	SM 4500-O
DQO	APHA 5220 D
DBO5	APHA 5210 B
Sólidos suspendidos totales	APHA 2540 D
Aluminio	APHA 3111 D-A
Tensoactivos	APHA 5540-C
Sulfatos	APHA 4500-SO4
Aceites y grasas	EPA 1664
TPH	EPA 1664
Cadmio	APHA 3113 B -Cd
Cobre	APHA 3111 B-Cu
Cromo	APHA 3111 B-Cr
Cinc	APHA 3111 B-Zn
Manganeso	APHA 3111 B-Mn
Níquel	APHA 3111 B-Ni
Plomo	APHA 3113 B-Pb
Mercurio	APHA 3112 B-Hg
Arsénico	APHA 3113 B-As

Fuente. Tomado de <https://sites.google.com/site/redaguadmq/tecnicas-de-muestreo-y-metodos>

Nota: ***APHA:** Asociación para la Salud Pública de los Estados Unidos, **EPA:** Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos **SM:** Método Estándar.

8.5.2 Selección del modelo ICA

Se realizó un análisis bibliográfico y documental sobre los índices de calidad de los cuerpos hídricos existentes, retomando el índice más conocido que se opera nivel mundial como lo es el ICA - NSF (1970), igualmente se estudió el proceso del ICA Dinius (1972), avanzado a partir del ICA-NSF, el índice de Rojas (1991) desarrollado en Colombia, ICAUCA (2004) a partir de parámetros relevantes para la evaluación de la calidad del recurso hídrico, UWQI (2007), que es el índice universal para valorar la calidad del agua diseñado para fuentes de agua superficial para consumo humano previo tratamiento, por la incorporación de metales pesados, en el cual se consideró el ISQA (1982), índice simplificado de calidad de agua diseñado en España. Para este fin se ejecutó una tabla de comparación. Ver (Anexo1) con los parámetros fisicoquímicos del río San Pedro y los que conforman los índices de calidad de agua mencionados.

En donde se efectuó un análisis comparativo y se seleccionó el índice simplificado de calidad de agua (ISQA) por cumplir con el 100% de la disponibilidad de los parámetros del río San Pedro los demás índices fueron descartados principalmente porque no se dispone el parámetro de coliformes fecales en los parámetros del río San Pedro. Una vez seleccionado el modelo del ICA se procede a la conformación de la base de datos. Ver (Anexo 2)

8.5.2.1 Cálculo del Índice de Simplificación de Calidad de Agua (ISQA)

Se obtiene a partir de los parámetros fisicoquímicos como la Temperatura, Sólidos Suspendidos Totales, Oxígeno Disuelto, Demanda Química de Oxígeno y Conductividad Eléctrica. El ISQA, es un número adimensional, que permite operar con pocos parámetros fisicoquímicos y a la vez ofrece garantías en los resultados obtenidos. Este índice está definido por 5 parámetros que se expresan a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación de cálculo} \quad \text{ISQA} = T(A + B + C + D) \quad (6)$$

Los índices de calidad son combinaciones de diferentes indicadores, que mediante una fórmula o tablas, dan un parámetro muy útil para estimar la calidad de las aguas. El índice simplificado de calidad del agua (ISQA) para el Río San Pedro, se basó en 5 parámetros

fisicoquímicos y planteó una clasificación de la calidad del agua para 6 usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento para Riego Agrícola.

T: temperatura del agua (T) en °C.

Puede tomar valores comprendidos entre 0,8 y 1 según:

$$T = 1 \text{ si } T \leq 20 \text{ °C} \quad (7)$$

$$T = 1 - (T - 20) \cdot 0,0125 \text{ si } T > 20 \text{ °C}$$

8.5.2.2 Demanda Química de Oxígeno (a = DQO-Mn) expresada en mg/l

Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:

$$A = 30 - a \text{ si } a \leq 10 \text{ mg/l} \quad (8)$$

$$A = 21 - (0,35 \cdot a) \text{ si } 60 \text{ mg/l} \geq a > 10 \text{ mg/l}$$

$$A = 0 \text{ si } a > 60 \text{ mg/l}$$

B: sólidos en suspensión totales (SST en mg/l).

Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:

$$B = 25 - (0,15 \cdot SST) \text{ si } SST \leq 100 \text{ mg/l} \quad (9)$$

$$B = 17 - (0,07 \cdot SST) \text{ si } 250 \text{ mg/l} \geq SST > 100 \text{ mg/l}$$

$$B = 0 \text{ si } SST > 250 \text{ mg/l}$$

C: oxígeno disuelto OD en mg/l.

Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:

$$C = 2,5 \cdot OD \text{ si } OD < 10 \text{ mg/l} \quad (10)$$

$$C = 25 \text{ si } OD \geq 10 \text{ mg/l}$$

D: conductividad (CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18 °C)

Si la conductividad se mide a 25 °C, para obtener la conversión a 18 °C se multiplicará por 0,86.

Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 20 según:

$$D = (3,6 - \log CE) \cdot 15,4 \text{ si } CE \leq 4000 \mu\text{S}/\text{cm} \quad (11)$$

$$D = 0 \text{ si } CE > 4000 \mu\text{S}/\text{cm}$$

8.5.3 Conformación de la base de datos inicial

La base de datos inicial fue conformada con cinco parámetros fisicoquímicos: temperatura (T), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), y conductividad eléctrica (CE) del periodo 2013 – 2019 (Anexo 2), la misma que fue sometida a un proceso de clasificación, ordenación y depuración. Para la depuración de los datos se realizó graficas de control de los 5 parámetros (Anexo 3) en donde se excluyó datos que eran infrecuentes y se obtuvo una nueva base de datos para el análisis de la calidad del agua del río San Pedro. Ver (Anexo 4).

8.5.3.1 Análisis de la base de datos y datos atípicos

Considerando la base de datos se procedió a efectuar el análisis estadístico. Ver (Tabla 7, p 53), además con estos valores calculados y la ecuación de la prueba Z se obtienen los valores atípicos.

$$Z = \frac{x-\mu}{\sigma}$$

Donde:

x: valor de la variable

μ : Media de la distribución original

σ : Desviación estándar de la distribución original

8.5.4 Herramientas Estadísticas

8.5.4.1 Índice Simplificado de calidad de Agua

La ecuación utilizada para definir el ISQA es la siguiente

$$ISQA = T \cdot (A + B + C + D) \quad (12)$$

Donde:

T = Temperatura (T), expresada en °C

A = Demanda química de oxígeno (DQO), expresada en mg/L

B = Sólidos suspendidos totales (SST), expresado en mg/L

C = Oxígeno disuelto (OD), expresado en mg/L

D = Conductividad (CE), expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 18 °C.

Si la conductividad se mide a 25 °C para la obtener la conversión a 18 °C se multiplicará el valor de C.E por 0,86.

Los valores de T, A, B, C y D a partir de ecuaciones, se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 3

Ecuaciones de cálculo de los parámetros fisicoquímicos para el ISQA

Parámetro	Condiciones	Cálculo	Valores
T	$T \leq 20\text{ °C}$	$T = 1$	Entre 0,8 y 1
	$T > 20\text{ °C}$	$T = 1 - (t - 20) \times 0,0125$	
A	$\text{DQO} \leq 10\text{ mg/l}$	$A = 30 - \text{DQO}$	Entre 0 y 30
	$60\text{ mg/L} \geq \text{DQO} > 10\text{ mg/L}$	$A = 21 - (0,35 \times \text{DQO})$	
	$\text{DQO} > 60\text{ mg/L}$	$A = 0$	
B	$\text{SST} \leq 100\text{ mg/L}$	$B = 25 - (0,15 \times \text{SST})$	Entre 0 y 25
	$250\text{ mg/L} \geq \text{SST} > 100\text{mg/L}$	$B = 17 - (0,07 \times \text{SST})$	
	$> 250\text{ mg/L}$	$B = 0$	
C	$\text{OD} < 10\text{ mg/L}$	$C = 2,5 \times \text{OD}$	Entre 0 y 25
	$\text{OD} \geq 10\text{ mg/L}$	$C = 25$	
D	$\leq 4000\ \mu\text{S}/\text{cm}$	$D = (3,6 - \log \text{CE}) \times 15,4$	Entre 0 y 20
	$\text{CE} > 4000\ \mu\text{S}/\text{cm}$	$D = 0$	

Fuente. Tomado de (Pacheco *et al.*, 2019)

Nota: Finalmente, el resultado del ISQA arroja valores entre 0 y 100, que corresponden a valores pésimos y óptimos, respectivamente (ver Tabla 4).

Tabla 4

Clasificación de la calidad de agua del ISQA

Valor ISQA	Calidad	Color	Observaciones
90 - 100	Muy buena		Todos los usos
70 - 90	Buena		Agua potable (tratamiento convencional), Piscicultura, Uso recreativo por contacto directo.
50 - 70	Regular		Riego, Agua industrial, Agua potable (tratamiento especial)
25 - 50	Mala		Uso de recreación por contacto indirecto, refrigeración, dudosa para tratamiento con fines de consumo y solo para cultivos muy resistentes
0 - 25	Pésima		Inaceptable para consumo y riego

Fuente. Adaptado a partir de (Torres *et al.*, 2009), (Alonso, 2013) y (Pacheco *et al.*, 2019)

8.5.4.2 Modelo matemático de descomposición de series de tiempo

El modelo relaciona los componentes de una serie de tiempo a través de la siguiente fórmula:

$$F = T \times I \quad (13)$$

Donde:

F = Valor de pronóstico

T = Nivel de tendencia

I = Índice de estacionalidad.

La expresión matemática para el índice de estacionalidad:

$$I = \frac{\bar{X}_i}{\bar{X}_g} \quad (14)$$

Donde:

I = Índice de estacionalidad

\bar{X}_i : Media o promedio de los valores del periodo i

i: periodos

\bar{X}_g : Media o promedio general de los valores de la variable

Para obtener el nivel de tendencia.

Primero desestacionalizar los valores de la serie.

$$\frac{X}{I} \quad (15)$$

Donde:

X: valores de la variable

I: índice de estacionalidad

De los valores desestacionalizados se realiza un análisis de regresión o se realiza la gráfica de dispersión se inserta la línea de tendencia y la ecuación, con la cual se obtiene el nivel de tendencia.

Según el método de regresión, el objetivo será encontrar el valor de a (intersección con el eje x) y el valor de b (pendiente).

La expresión matemática para una línea de tendencia lineal es:

$$T = a + bt \quad (16)$$

Donde:

t = es el tiempo (o periodo).

T = es el nivel de demanda promedio o tendencia.

a y b = coeficientes que se evaluarán para la serie de tiempo en particular.

$$b = \frac{\sum D_t(t) - N(\bar{D})(\bar{t})}{\sum t^2 - N\bar{t}^2} \quad (17)$$

$$a = \bar{D} - b\bar{t} \quad (18)$$

Donde:

N = el número de observaciones utilizadas en el desarrollo de la línea de tendencias.

Dt = la demanda real en el tiempo t.

\bar{D} = demanda promedio para N periodos.

\bar{t} = promedio de t durante N periodos.

8.5.5 Resultados

8.5.5.1 Consolidación de la base de datos

La consolidación de la base de datos definitiva de parámetros físicoquímicos del río San Pedro, se encuentra en los archivos existentes de la Secretaria Nacional del Medio Ambiente (2020) del periodo 2013-2019, con los valores de cada parámetro analizado por los técnicos con la aplicación al previo tratamiento de datos atípicos.

“El parámetro de conductividad eléctrica, se multiplicó por el factor de corrección (Fc) 0,86 para obtener la conversión de conductividad eléctrica de 25°C a 18°C” como lo menciona Alonso (2013) es necesario la conversión para realizar el cálculo del índice simplificado de calidad de agua. Ver (Tabla 5)

Tabla 5
Base de datos parámetros fisicoquímicos cálculo del ISQA del río San Pedro

Año	Meses	T °C	DQO (mg /L)	SST(mg/ L)	OD(mg/L)	Fc	CE (uS/cm)
2013	junio	14,3	35	44	7,22	0,86	602
	julio	15,7	16	39	7,65	0,86	656
	agosto	15,3	50	106	7,14	0,86	650
	septiembre	16,9	8	13	8,76	0,86	647
2016	junio	14,6	20	50	7,64	0,86	619
	julio	16,6	13	50	7,8	0,86	779
	agosto	16,3	14	50	7,86	0,86	692
	septiembre	18,1	50	105	6,23	0,86	613
2018	junio	18,4	80	96	7,4	0,86	466
	julio	16,3	46	50	7,78	0,86	704
	agosto	15,4	31	56	8,06	0,86	676
	septiembre	16,1	41	49	7,33	0,86	720
2019	junio	17,1	39	77	7,4	0,86	480
	julio	14,9	35	43	7,14	0,86	686
	agosto	17	46	57	6,32	0,86	724
	septiembre	17,3	32	61	6,4	0,86	706

Fuente: Secretaria del ambiente del Distrito metropolitano de Quito

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

8.5.5.1.1 Análisis de datos

Se calculó y analizó descriptores estadísticos. Ver (Tabla 6 y 7), para conocer el grado de dispersión de los datos, así como también se realizó diagrama de cajas e histogramas de frecuencia.

Tabla 6
Estadísticos descriptivos de la base de datos definitiva periodo 2013-2019

Parámetros	Media	Mediana	Moda	Desviación E,	Mínimo	Máximo	
fisicoquímicos				estándar	Estándar		
T (°C)	16,26875	16,3	16,3	1,19092051	0,29773013	14,3	18,4
DQO (mg/L)	34,75	35	35	18,317569	4,57939224	8	80
SST (mg/L)	59,125	50	50	25,1074358	6,27685895	13	106
OD (mg/L)	7,383125	7,4	7,14	0,66455718	0,1661393	6,23	8,76
CE a 18°C (uS/cm)	651,25	666	666	83,3526644	20,8381661	466	779

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

Tabla 7
Prueba de valores Z base de datos parámetros fisicoquímicos período 2013-2019

Año	Mes	Temperatura		Demanda Química de Oxígeno		Sólidos Suspendedos Totales		Conductividad		Oxígeno Disuelto	
		°C	Z	(mg/L)	Z	(mg/L)	Z	(uS/cm)	Z	(mg/L)	Z
2013	junio	14,3	-3	35	1	44	0	602	0	7,22	-0,1
	julio	15,7	-,3	16	-1	39	0	656	0	7,65	0,5
	agosto	15,3	-,6	50	1	106	2	650	0	7,14	-0,3
	septiembre	16,9	0,6	8	-1	13	-1	647	0	8,76	2,1
	octubre	13,0	2,2	51	1	70	1	582	-1	7,09	-0,3
2016	junio	14,6	1,1	20	0	50	0	619	0	7,64	0,5
	julio	16,6	0,4	13	-1	50	0	779	2	7,8	0,7
	agosto	16,3	0,2	14	-1	50	0	692	1	7,86	0,8
	septiembre	18,1	1,5	50	1	105	2	613	0	6,23	-1,6
2018	junio	18,4	1,7	80	3	96	2	466	-2	7,4	0,1
	julio	16,3	0,2	46	1	50	0	704	1	7,78	0,7
	agosto	15,4	0,5	31	0	56	0	676	0	8,06	1,1
	septiembre	16,1	0,0	41	1	49	0	720	1	7,33	0,0
	octubre	16,7	0,5	19	0	30	-1	742	1	8,38	1,6
2019	junio	17,1	0,7	39	1	77	1	480	-2	7,4	0,1
	julio	14,9	-,9	35	1	43	0	686	1	7,14	-0,3
	agosto	17	0,7	46	1	57	0	724	1	6,32	-1,5
	septiembre	17,3	0,9	32	0	61	0	706	1	6,4	-1,4
	octubre	17,6	1,1	46	1	126	3	579	-1	6,61	-1,0
Media		16,1		25,5		47,7		637,3		7,3	
Desviación Estándar		1,4		17,7		28,6		82,4		0,7	

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

Nota: De la tabla anterior se obtienen los siguientes valores estadísticos

Tabla 8
Estadísticos descriptivos de los parámetros fisicoquímicos

Parámetros	Media	Mediana	Moda	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
T °C	16,1	16,3	16,3	1,37	13,0	18,4
DQO (mg /L)	25,5	35	46	17,74	8	80
SST (mg/ L)	47,7	50	50	28,65	13	126
CE (uS/cm)	637,3	656	466	82,44	466	779
OD disuelto (mg/L)	7,3	7,4	7,14	0,68	6,23	9

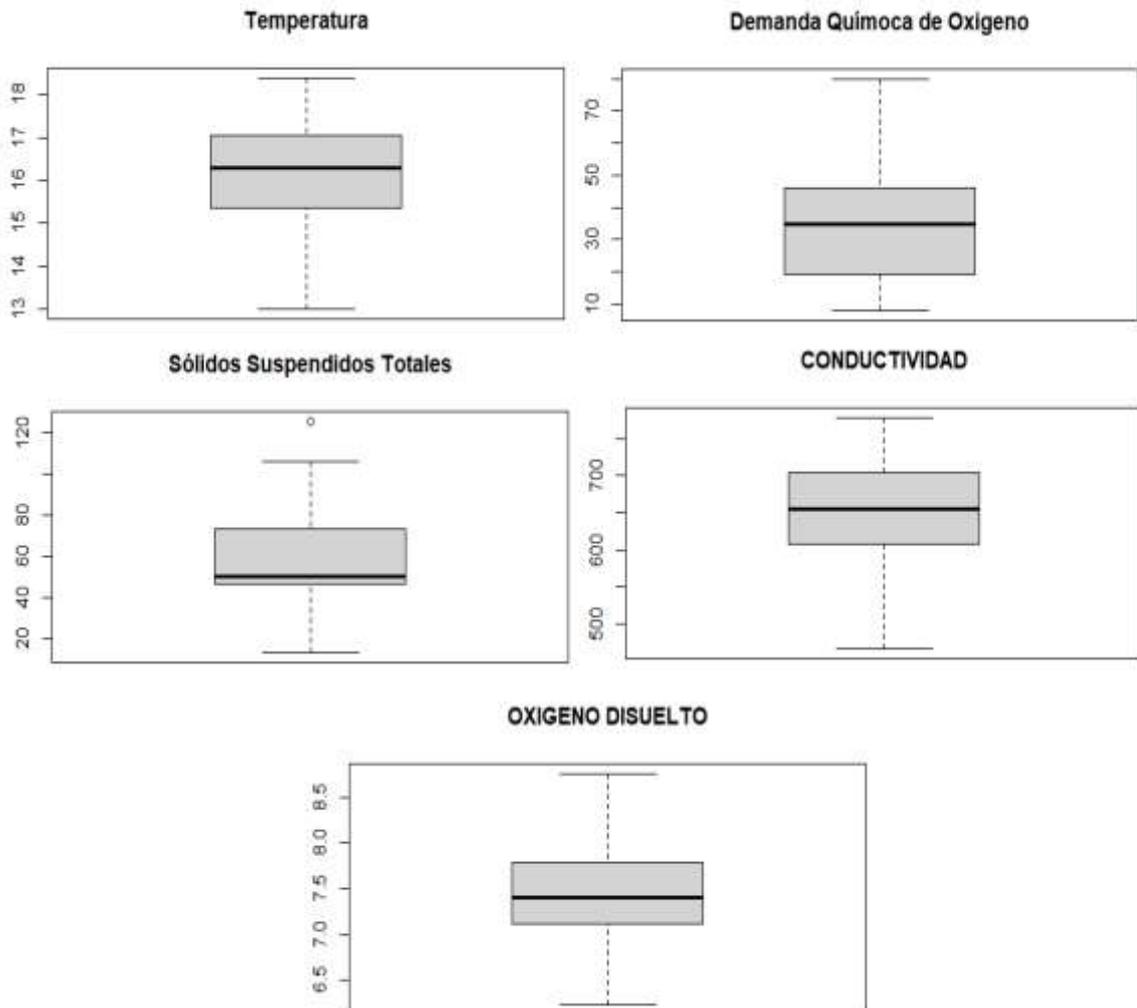
Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

Análisis

Los datos fisicoquímicos fueron procesados utilizando el software Rstudio con el cual se obtuvo los resultados de la prueba Z, donde se evidencio que no existen datos atípicos en ninguno de los parámetros fisicoquímicos, debido a que los valores de Z estaban dentro de los límites permisibles, por ello no se necesita realizar ningún proceso adicional.

Tabla 9.*Cálculo de los errores del pronóstico de la calidad de agua del río San Pedro*

AÑOS	MESES	ISQA	AJUSTE	MAPE	MAD	MSD
2013	junio	58,8	58,825	0,00043	0,02500	1,4181148
	julio	66,7	63,01875	0,05519	-3,68125	2,4318954
	agosto	43,6	64,4875	0,47907	20,88750	1,4646791
	septiembre	76,3	56,54375	0,25893	-19,75625	0,2320547
2016	junio	64,1	56,1	2,23200	-8,00000	22,380649
	julio	65,4	60,29375	0,07808	-5,10625	0,0701106
	agosto	66,0	61,7625	0,06420	-4,23750	0,0062183
	septiembre	41,9	53,81875	0,28446	11,91875	6,880891
2018	junio	37,5	53,375	3,45000	15,87500	3,322349
	julio	54,5	57,56875	0,05631	3,06875	28,17365
	agosto	59,8	59,0375	1,54670	0,76250	1,3963489
	septiembre	55,1	51,09375	0,07271	4,00625	5,2320547
2019	junio	54,5	50,65	0,07064	-3,85000	0,0242255
	julio	58,0	54,84375	0,05442	-3,15625	5,059959
	agosto	49,6	56,3125	0,13533	6,71250	5,2168633
	septiembre	54,3	48,36875	1,33500	-5,93125	6,4646791
				10,17346	9,53750	89,77474

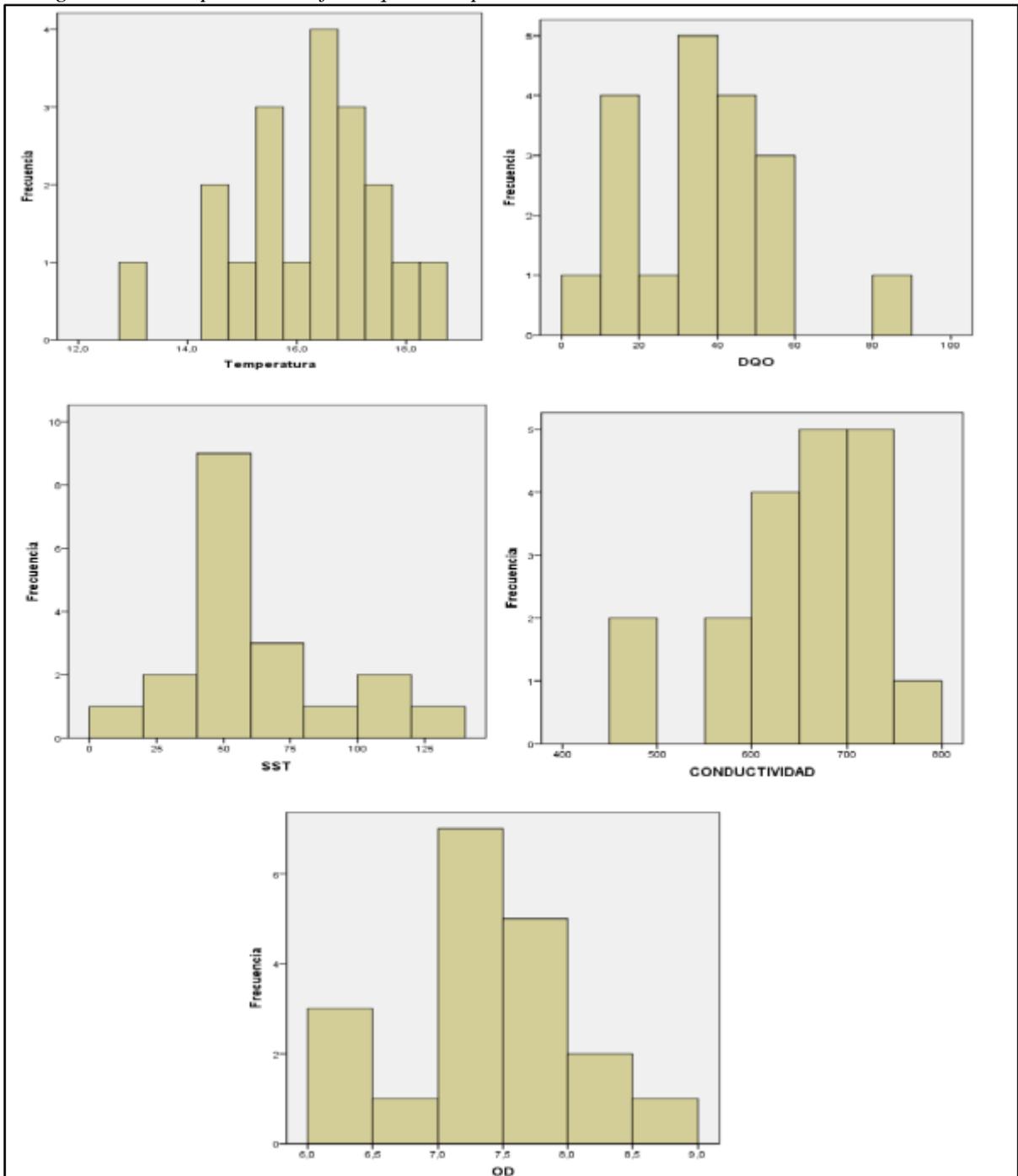
Figura 15*Boxplot sin valores atípicos cálculo ISQA período 2013-2019***Elaboración:** Jonathan Pilalumbo

Para tener un mejor criterio de los resultados se efectuó el diagrama de cajas, se puede observar que valores de medianas similares a la media en todos los casos.

Para identificar de mejor manera la distribución de los datos se utiliza los histogramas de frecuencias, donde se pudo apreciar que existe distribución simétrica de los parámetros fisicoquímicos.

Figura 16

Histogramas de los parámetros fisicoquímicos periodo 2013 - 2019



Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

Análisis: Debido a que se verificó que no se tienen datos atípicos en la prueba Z, durante el período 2013-2019, se utilizó los valores de la Tabla 5 de la base de datos de los parámetros fisicoquímicos con valores históricos sucesivos de un periodo de tiempo determinado, por ello no se necesita realizar ningún procedimiento adicional en el software Rstudio.

8.5.5.2 Características hidroclimáticas

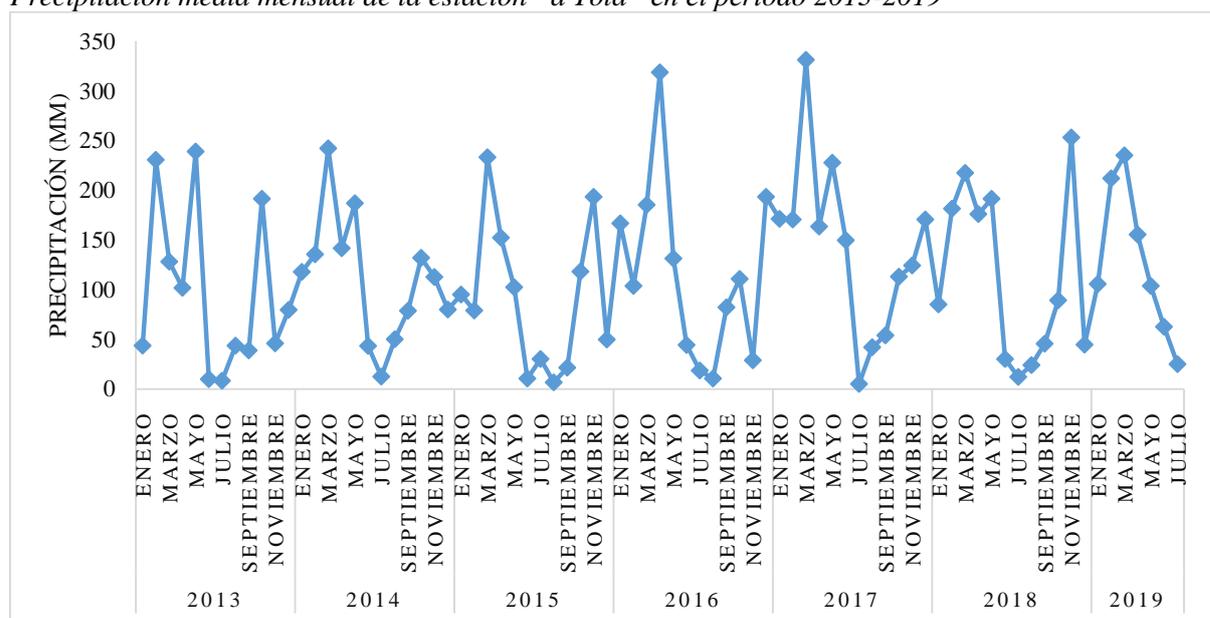
La información de precipitación, temperatura y evaporación fue tomada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de la estación meteorológica “La Tola” (M002) ubicada en el cantón Mejía a 10 km del río San Pedro, del cual se analizaron los datos del periodo 2013-2019.

8.5.5.2.1 Precipitación

La zona de estudio se caracteriza por presentar una distribución de precipitaciones bimodal, siendo las épocas de lluvia en los meses de enero a mayo; octubre a diciembre y época seca en los meses de junio a septiembre. El valor promedio multianual de precipitaciones es de 65,75 mm, su valor máximo corresponde al mes de marzo del 2017 con 230,7 mm mientras que el valor mínimo se presenta el en mes de agosto del 2019 con 0,1 mm. Ver (Figura 17).

Figura 17

Precipitación media mensual de la estación “a Tola” en el periodo 2013-2019

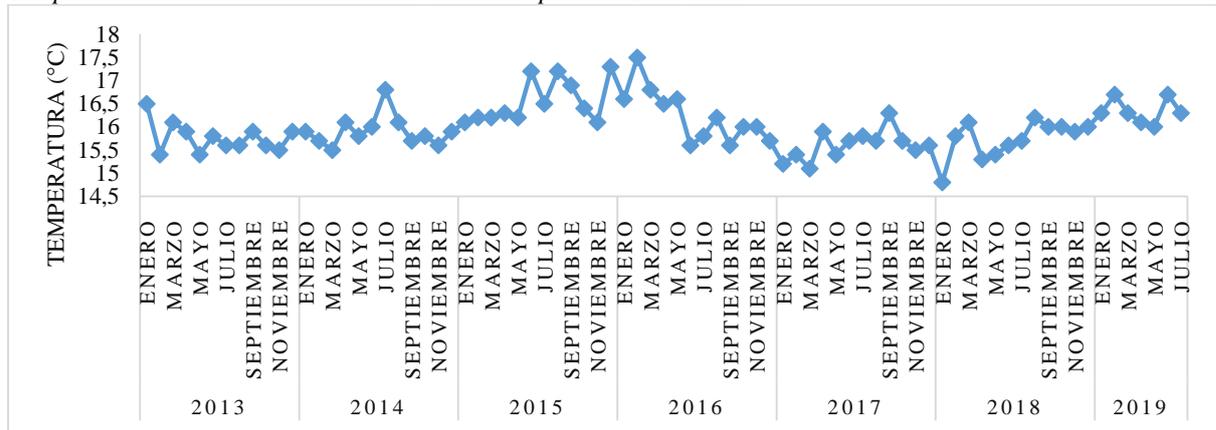


Fuente: tomado de INAMHI

8.5.5.2 Temperatura

El valor medio multianual de temperatura para la estación La Tola es de 16,01 °C, el valor máximo corresponde al mes de febrero del 2016 con 17,5 °C y el registro mínimo se presenta en enero del 2018 con 14,8°C. Ver (Figura 18)

Figura 18
Temperatura media mensual estación “La Tola” período 2013-2019

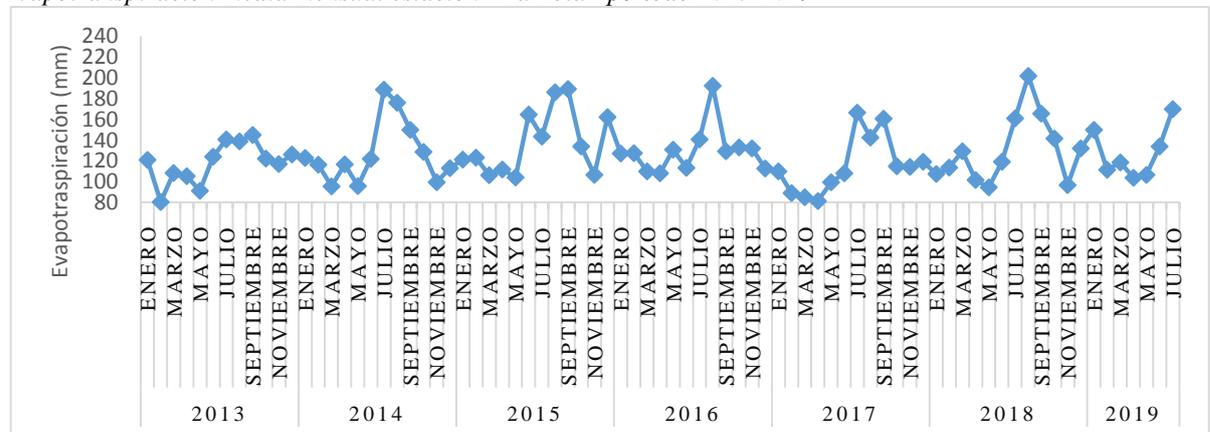


Fuente: tomado de INAMHI

8.5.5.3 Evaporación

El valor medio multianual de evaporación para la estación La Tola es de 128,07 mm, el valor máximo corresponde al mes de agosto del 2019 con 238,5 mm y el valor mínimo se presenta en marzo del 2017 con 80,5 mm. Ver (Figura 19)

Figura 19
Evapotranspiración media mensual estación “La Tola” período 2013-2019



Fuente: tomado de INAMHI

8.5.5.4 Parámetros fisicoquímicos

A continuación, se muestra el análisis de variación de los parámetros fisicoquímicos durante los años 2013, 2016, 2018 y 2019 de los meses junio hasta septiembre.

8.5.5.4.1 Temperatura

El valor promedio multianual de la temperatura fue de 16,3 °C, el valor máximo de temperatura se presentó en el mes de junio del año 2018 con 18,4 °C y el valor mínimo fue en el mes de junio del año 2013 con 14,3 °C. En los archivos de la Secretaria Nacional del Medio Ambiente (2020), existen estudios técnicos de la valoración de la calidad de agua del río San Pedro que fueron realizados por los Técnicos del cantón Rumiñahui.

En el segundo estudio efectuado por los Técnicos de la Secretaria Nacional del Medio Ambiente, en su investigación detallan que el aumento de la Temperatura que reflejó el estudio ejecutado por los Técnicos del GAD Rumiñahui no se relaciona con el aumento de la temperatura alta del año 2018 que tiene 18,4°C, que al comparar las Temperaturas en el mismo mes en mención, con el estudio que ejecutaron los Técnicos del GAD en el año 2013 fue de 14,3°C; a pesar de que en el mes de junio su estación siempre esta seca, tomando en cuenta que en el año 2018 aumentó la temperatura; la turbiedad; la DQO; los sólidos sedimentables, sin embargo existe un buen nivel general de oxigenación y un bajo nivel de DQO (<100) que según versión de los técnicos de la Secretaria Nacional del Medio Ambiente, se debe posiblemente a los días de medición, en el que se presentaron lluvias que crearon un efecto de dilución en las aguas del río San Pedro. Ver (Figura 20)

Figura 20

Variación de la temperatura del río San Pedro del periodo 2013-2019



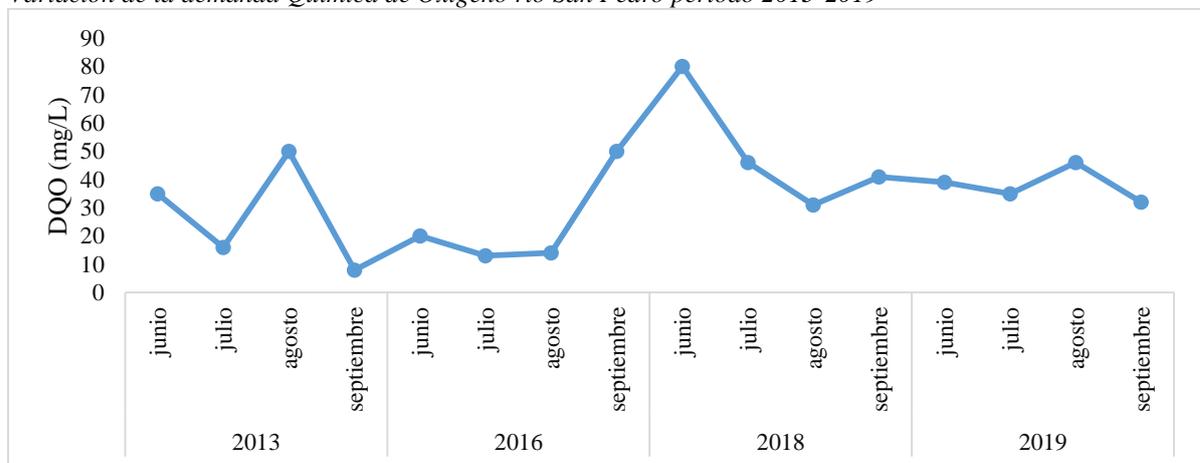
Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

8.5.5.4.2 Demanda Química de Oxígeno

El valor promedio multianual de la demanda química de oxígeno fue de 34,8 mg/L, el valor máximo se presentó en el mes de junio del año 2018 con 80 mg/l y el valor mínimo en el mes de septiembre del año 2013 con 8mg/L. Se evidencia que las concentraciones más altas de la demanda química de oxígeno se presentó en el mismo año del valor máximo de temperatura por lo que puede deberse a vertidos de agua residual. Ver (Figura 21)

Figura 21

Variación de la demanda Química de Oxígeno río San Pedro período 2013-2019



Elaborado por: Javier Pilalumbo

8.5.5.4.3 Sólidos Suspendidos Totales

El valor promedio multianual de sólidos suspendidos totales fue de 59,1 mg/L, el valor máximo se presentó en el mes de agosto del año 2013 con 106mg/L y el valor mínimo en los meses de septiembre del año 2013 con 13 mg/L.

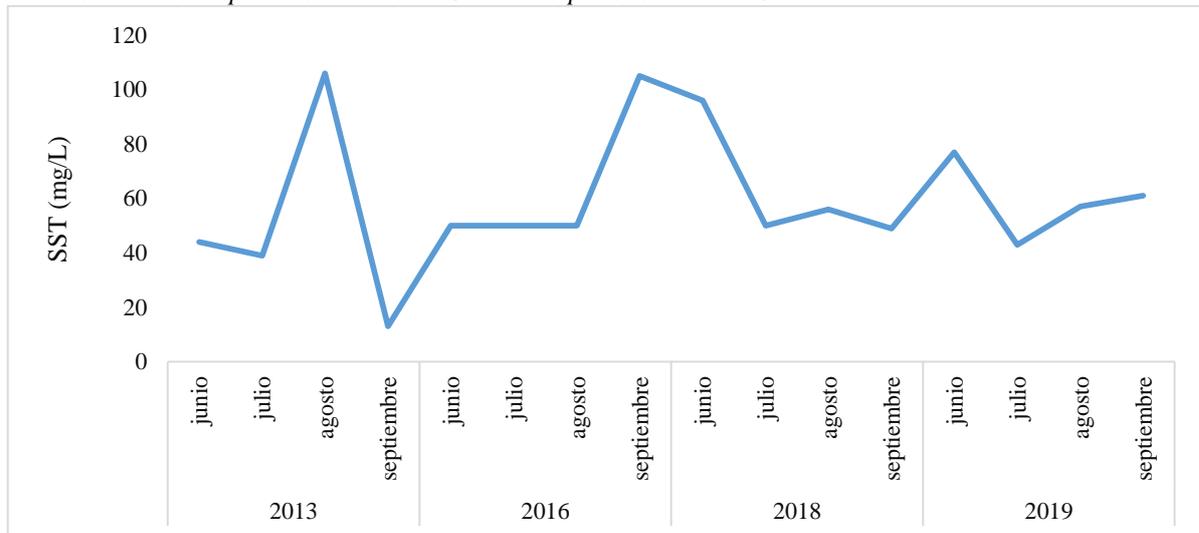
En el estudio de caso ejecutado se detectó que el mayor problema en el río San Pedro, son los sólidos en suspensión y dilución por su desagradable apariencia. La materia flotante es aún más desagradable cuando es de origen residual porque da al agua una turbidez que restringe el paso de la luz, que a su vez reduce la variedad de plantas acuáticas que dependen de la luz, así como también reduce la población de todos los organismos vivos que viven en el agua. La sedimentación de sólidos suspendidos han formado bancos de sedimentos en el río San Pedro, sofocando a los organismos del fondo (especialmente si los sólidos son inertes) o cambiando el nivel de OD en las capas profundas del agua, especialmente si son orgánicos y se biodegradan. Los sólidos disueltos en altas concentraciones reducen la solubilidad de oxígeno en el agua. Por

lo tanto, en concentraciones mucho menores, éstos pueden afectar los usos del agua para consumo humano y la provisión de agua para irrigación.

Se conjetura que las altas concentraciones de sólidos suspendidos totales en el río San Pedro se deben a los arrastres de sedimentos por precipitaciones, por las lluvias ocasionadas durante el mes de septiembre. Ver (Figura 22)

Figura 22

Variación sólidos suspendidos totales río San Pedro período 2013-2019



Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

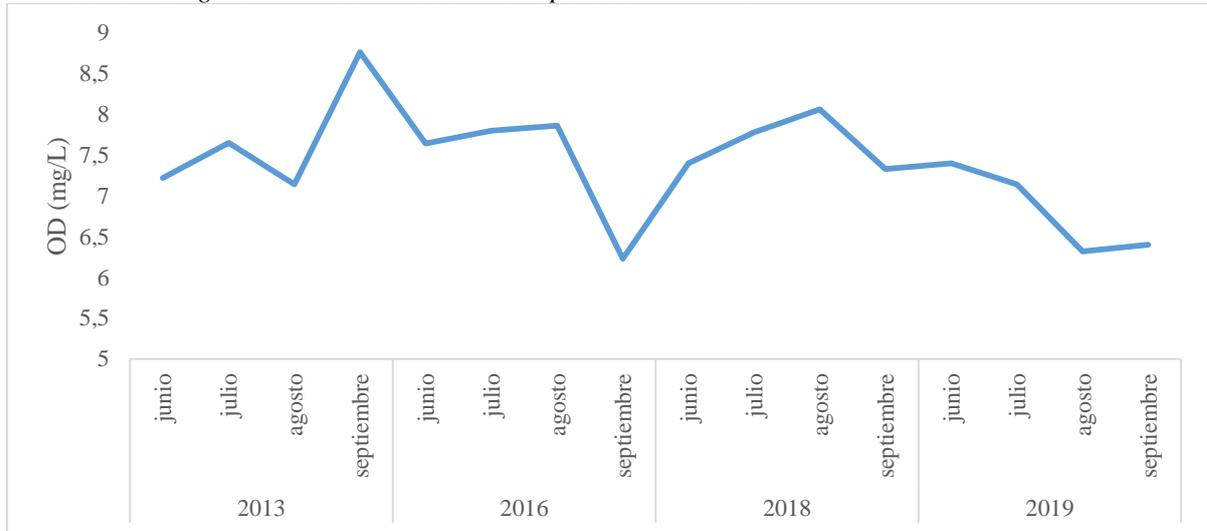
8.5.5.4.4 Oxígeno disuelto

Es necesario para la vida de los peces y otros organismos acuáticos. El oxígeno es moderadamente soluble en agua, dependiendo su solubilidad de la temperatura, la salinidad, la turbulencia del agua y la presión atmosférica: disminuye cuando aumenta la temperatura y la salinidad, y cuando disminuye la presión atmosférica. La solubilidad del oxígeno atmosférico en aguas dulces, a saturación y a nivel del mar, oscila aproximadamente entre 15 mg/L a 0°C y 8 mg/L a 25°C.

En este estudio de caso realizado se analizó, que el valor promedio multianual del oxígeno disuelto fue de 7,4 mg/L, el valor máximo se presentó en el mes de septiembre del año 2013 con 8,74 mg/L y el valor mínimo en el mes de septiembre del año 2016 con 6,23 mg/L (ver figura 23).

Figura 23

Variación del Oxígeno Disuelto del río San Pedro periodo 2013-2019



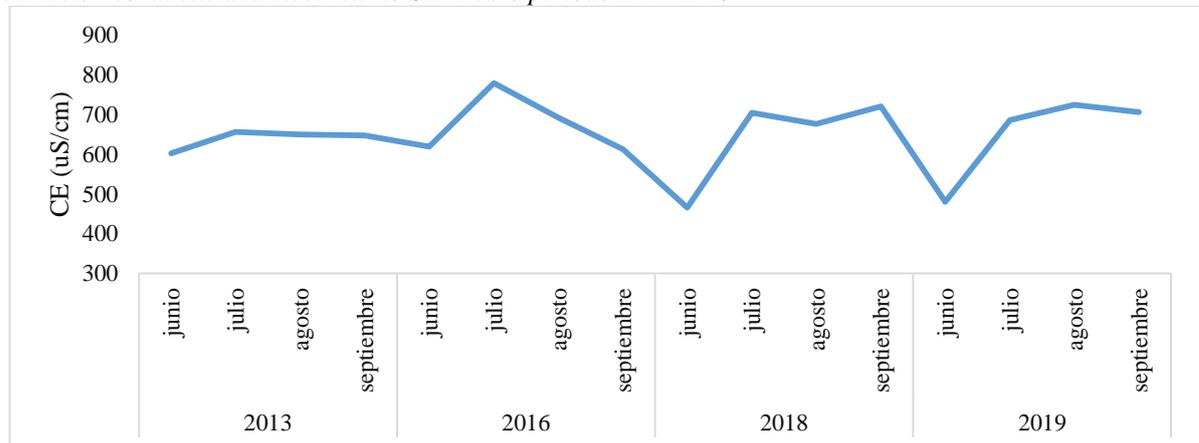
Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

8.5.5.4.5 Conductividad Eléctrica

El promedio multianual de conductividad eléctrica fue de 651,3 uS/cm, el valor máximo se presentó en el mes de julio del año 2016 con 779 uS/cm y el valor mínimo en el mes de junio del año 2016 con 446 uS/cm. Ver (Figura 24).

Figura 24

Variación conductividad eléctrica río San Pedro periodo 2013-2019



Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

8.5.5.5 Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA)

El cálculo del ISQA se realizó mediante la aplicación de las ecuaciones. Ver (Tabla 3, p.49), resultados obtenidos que fueron analizados. Ver (Tabla 4, p.50), en el que se demostró el cálculo y el análisis de los descriptores estadísticos, estos datos de los parámetros

Fisicoquímicos en el cálculo del ISQA en el río San Pedro en el período 2013-2019. Ver (Tabla 5), se analizó que presenta menores concentraciones de demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales. De los resultados obtenidos del análisis ISQA en el período 2013-2019. Ver (Tabla 10), de estos datos (resultados) retomados de la base de datos, se analizó y se describió que la calidad del agua es regular en casi todos los años, por encontrarse dentro de los valores de 50 a 70, y que su uso solo le correspondería para aguas de riego, industrial, y potable siempre que tenga tratamiento especial

El cálculo del ISQA se realizó mediante la aplicación de las ecuaciones de la Tabla 3 y los resultados fueron analizados con la tabla 4, en el cual se calculó y analizó descriptores estadísticos que se retomó de la base de Datos de Parámetros Fisicoquímicos Para el Cálculo del ISQA del Río San Pedro Ver (Tabla 5). Los resultados obtenidos del análisis ISQA se muestran en la tabla 10, donde se observa que su calidad es regular en casi todos los años, debido a que se encuentra dentro de los valores 50 a 70, su uso corresponde para agua de riego; agua industrial, y agua potable con tratamiento especial, se encuentra en dicha categoría ya que es en el período 2013-2019 que presenta menor concentraciones de demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales, el cálculo del ISQA.

Tabla 10
Calidad del agua del río San Pedro, según los resultados del ISQA.

Año	Meses	T °C	DQO (mg /1)	SST (mg/ 1)	CE (uS/cm)	OD(mg/1)	
2013	Junio	14,3	35	44	602	7,22	
	Julio	15,7	16	39	656	7,65	
	Agosto	15,3	50	106	650	7,14	
	Septiembre	16,9	8	13	647	8,76	
	PROMEDIO	15	32	54,4	627,4	8	
	ISQA	1	10	16,8	12,4	19	58,9
2016	Junio	14,6	20	50	619	7,64	
	Julio	16,6	13	50	779	7,8	
	Agosto	16,3	14	50	692	7,86	
	Septiembre	18,1	50	105	613	6,23	
	PROMEDIO	16,18	23,8	61	668,2	7,274	
	ISQA	1	13	15,9	11,9	18	59,7
2018	Junio	18,4	80	96	466	7,4	
	Julio	16,3	46	50	704	7,78	
	Agosto	15,4	31	56	676	8,06	
	Septiembre	16,1	41	49	720	7,33	
	PROMEDIO	16,58	43,4	56,2	661,6	7,79	
	ISQA	1	6	16,6	12	19	54,9
	Julio	14,9	35	43	686	7,14	
	Agosto	17	46	57	724	6,32	
	Septiembre	17,3	32	61	706	6,4	
	Octubre	17,6	46	126	579	6,61	
	PROMEDIO	16,78	39,6	72,8	635	6,774	
	ISQA	1	7	14,1	12,3	17	51,5

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

Análisis: En la tabla 11 según el ISQA para la época lluviosa comprendida entre los meses agosto y septiembre, el agua del río San Pedro presentó una calidad regular en todos los años analizados, el cálculo del ISQA se puede visualizar en el Anexo 5.

Tabla 11

Calidad agua río San Pedro, ISQA época lluviosa período 2013-2019

Año	Temperatura (°C)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	ISQA	Calidad
2013	15	29	60	649	8	60	Regular
2016	17	32	78	653	7	54	Regular
2018	16	36	53	698	7,7	57	Regular
2019	17	39	59	715	6,4	52	Regular

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

Análisis: En la Tabla 12 según el ISQA para la época seca comprendida entre los meses de junio y julio, arrojó como resultado una mala calidad de agua para el año 2018 mientras que los años 2013, 2016 y 2019 presentó una calidad Regular, el cálculo del ISQA. Se esperaba que la calidad de agua para la época lluviosa sea mejor que la época seca ya que se conoce que a mayor caudal los contaminantes se diluyen y mejora la calidad del agua.

Tabla 12

Calidad del agua del río San Pedro, ISQA época seca periodo 2013-2019

Año	Temperatura (°C)	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	ISQA	Calidad
2013	15	26	42	629	7,4	63	Regular
2016	16	17	50	699	7,72	65	Regular
2018	17	63	73	585	7,59	46,9	Mala
2019	16	37	60	583	7,27	56	Regular

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

8.5.5.6 Consolidación de la base de datos de la serie de tiempo

A continuación, en la tabla 13 se tiene la base de datos de la serie de tiempo completa y sin valores atípicos correspondientes al periodo 2013-2019 ver (Anexo 4) para efectuar el respectivo pronóstico.

Tabla 13*Serie tiempo parámetros fisicoquímicos río San Pedro periodo 2013-2019*

Año	Meses	T °C	DQO (mg /L)	SST (mg/ L)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)
2016	enero	16,8	95	365,665	422	7,07
	febrero	15,9	119	88	312	6,90
	marzo	19,1	107	94	486	7,11
	abril	15,9	33	57	548	6,54
	mayo	16,8	44	50	598	7,11
	junio	14,6	20	50	619	7,64
	julio	16,6	13	50	779	7,80
	agosto	16,3	14	50	692	7,86
	septiembre	18,1	50	105	613	6,23
	octubre	15,3	22	50	638	6,84
	noviembre	16,9	17	50	697	7,05
	diciembre	16,3	49	50	775	7,12
2017	enero	14,6	8	50	574	7,52
	febrero	15,9	13	59	540	7,46
	marzo	14,7	16	244	390	7,51
	abril	14,5	62	81	367	7,49
	mayo	15,4	67	213	413	7,08
	junio	15,6	38	98	560	7,49
	julio	15,9	41	92	585	7,50
	agosto	16,5	33	42	664	7,77
	septiembre	16,3	33	50	716	7,48
	octubre	16,5	50	75	661	7,54
	noviembre	16,7	53	69	687	7,55
	diciembre	16,9	56	64	712	7,56
2018	enero	16,9	33	50	609	6,93
	febrero	16,7	46	67	552	6,87
	marzo	15,1	32	43	494	6,88
	abril	17,3	47	88	575	6,41
	mayo	16,6	43	59	598	7,20
	junio	18,4	80	96	466	7,40
	julio	16,3	46	50	704	7,78
	agosto	15,4	41	56	676	8,06
	septiembre	16,1	41	49	720	7,33
	octubre	16,7	19	30	742	8,38
	noviembre	16,5	43	30	658	7,67
	diciembre	16,2	25	38	653	7,51
2019	enero	15,4	26	131	479	7,73
	febrero	15,6	30	125	496	7,59
	marzo	16,3	40	194	463	7,16
	abril	15,7	50	108	545	7,61
	mayo	16,0	38	67	497	7,05
	junio	17,1	39	77	480	7,40
	julio	14,9	35	43	686	7,14
	agosto	17,0	46	57	724	6,32
	septiembre	17,3	32	61	706	6,40
	octubre	17,6	46	126	579	6,61
	noviembre	17,3	95	88	517	6,42
	diciembre	17,6	64	58	659	6,20

*Fuente: tomado de la Secretaria del ambiente del Distrito metropolitano de Quito**Elaborado por: Jonathan Pilalumbo*

8.5.5.6.1 Análisis de los datos de la serie de tiempo

En la tabla 14 se encuentra el análisis estadístico de la base de datos de la serie de tiempo del periodo 2013-2019.

Tabla 14

Estadísticos descriptivos de la base de datos de la serie de tiempo

Parámetros Físicoquímicos	Media	Mediana	Moda	Error típico	D .Estándar	Mínimo	Máximo
T (°C)	16,33	16,3	15,9	0,14	0,99	14,45	19,1
DQO(mg/L)	43,49	40,6	46	3,45	23,90	8	119
SST (mg/L)	83,07	60,0	50	8,78	60,83	30	365,665
CE (uS/cm)	590,10	597,9	613	16,25	112,57	312	779
OD (mg/L)	7,23	7,4	7,11	0,07	0,50	6,2	8,38

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

8.5.5.6.2 Pronóstico de serie de tiempo

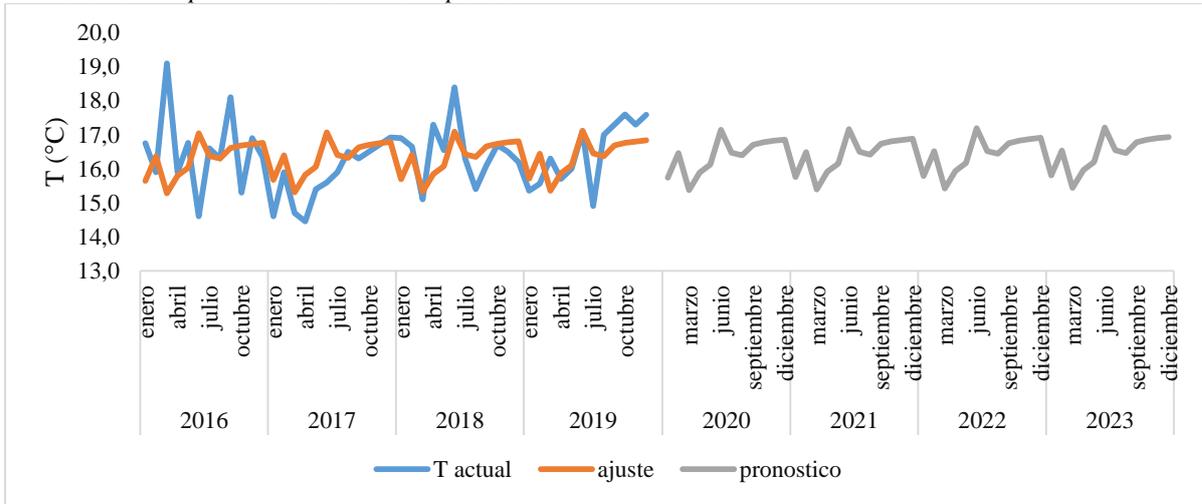
Los cálculos del pronóstico se pueden visualizar en el **Anexo 6, 7, 8, 9 y 10** del método matemático de descomposición de series de tiempo y se obtuvo los siguientes resultados de para cada parámetro físicoquímico.

8.5.5.6.3 Temperatura

Con el método de descomposición se obtuvo el pronóstico de temperatura para el periodo 2020-2023 un total de 48 datos pronosticados con un 4,36% de error absoluto, según el pronóstico el valor promedio interanual de temperatura será de 16,39 °C y su valor máximo será de 17,21 °C en el mes de junio del año 2023 y el valor mínimo será de 15,37°C en el mes de marzo del año 2021 (ver Figura 25). El aumento de temperatura se atribuye a que el DMQ es vulnerable a los impactos ambientales climáticos como lo menciona Purkey *et al* (2014) en su estudio “Análisis de Vulnerabilidad Climática para los sectores prioritarios del Distrito Metropolitano de Quito”:

En el Departamento Metropolitano de la ciudad de Quito, los técnicos realizaron un estudio de la vulnerabilidad climática del cambio mensual en temperaturas mínimas-máximas para las estaciones meteorológicas de Cotopaxi, Papallacta, Tabacundo, en el cual se recolectó datos históricos sobre la temperatura en el período 1960 al 2006, obteniendo resultados específicos en que la Temperatura fluctúa de 4°C a 5°C hasta finales de tiempo.

Figura 25
Variación de temperatura río San Pedro período 2020-2024

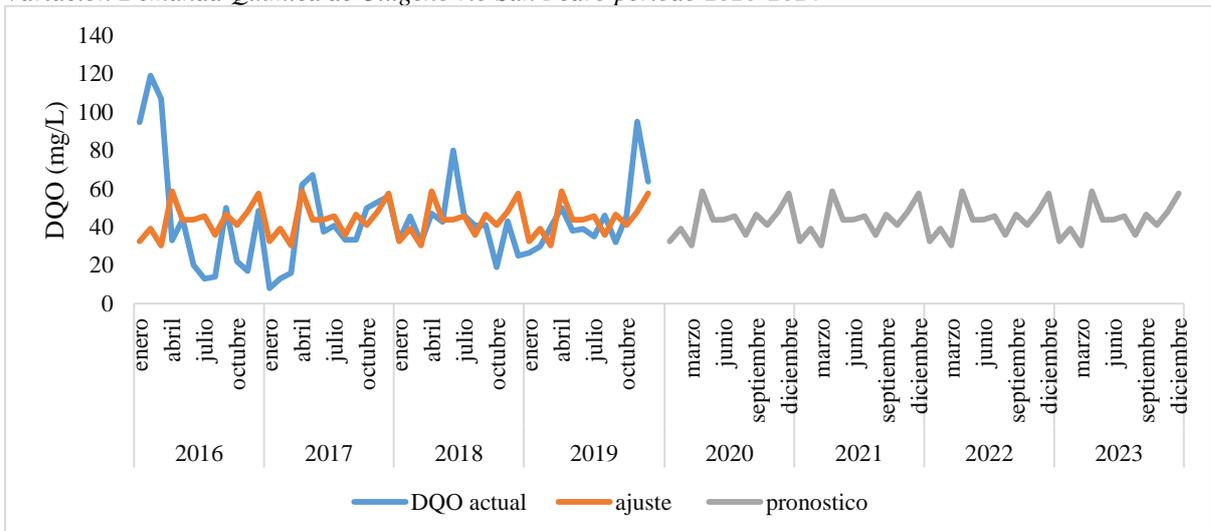


Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

8.5.5.6.4 Demanda Química de Oxígeno

Con el método de descomposición se obtuvo el pronóstico de demanda química de oxígeno para el periodo 2020-2023 un total de 48 datos pronosticados con un 52,24% de error absoluto, según el pronóstico el valor promedio interanual de demanda química de oxígeno será de 43,49mg/L y su valor máximo será de 58,70 mg/L en el mes de abril del año 2023 y el valor mínimo será de 30,20mg/L en el mes de marzo del año 2020 (ver Figura 25)

Figura 26
Variación Demanda Química de Oxígeno río San Pedro período 2020-2024



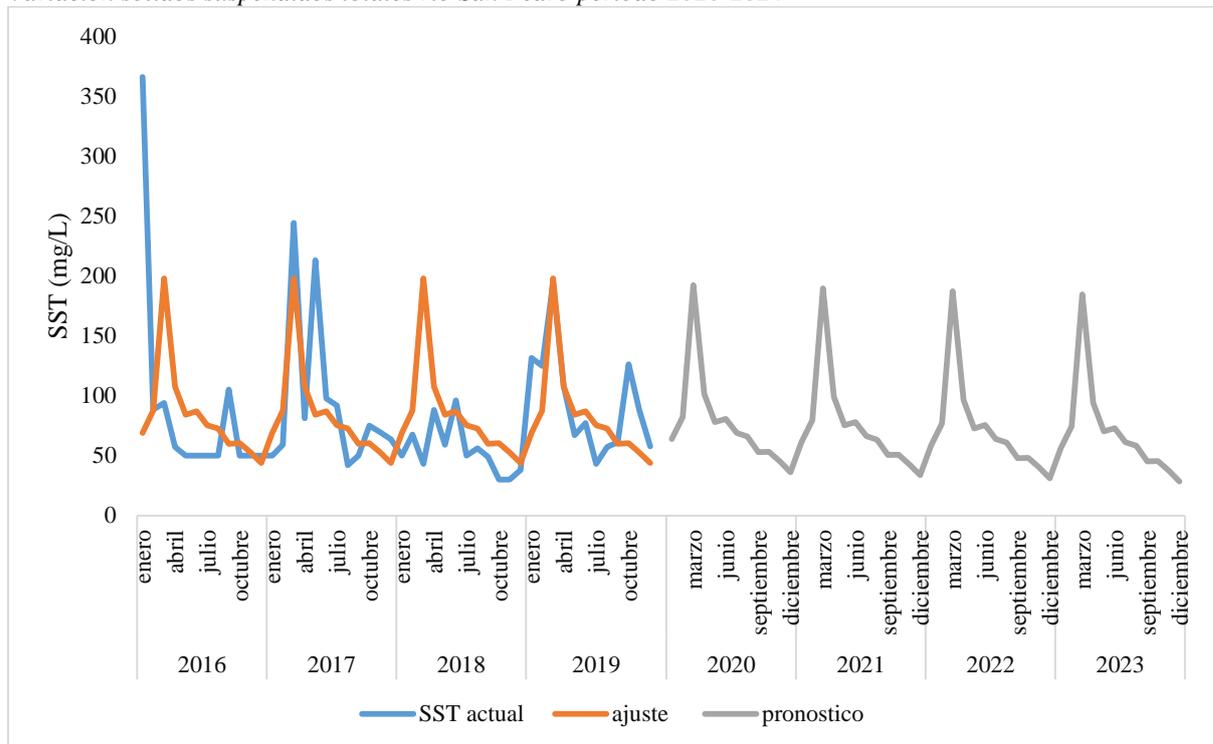
Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

8.5.5.6.5 Sólidos Suspendidos Totales

Con el método de descomposición se obtuvo el pronóstico de sólidos suspendidos totales para el periodo 2020-2023 un total de 48 datos pronosticados con un 44,35 % de error absoluto, según el pronóstico el valor promedio interanual de sólidos suspendidos totales será de 83,67 mg/L y su valor máximo será de 192,16 mg/L en el mes de marzo del año 2020 y el valor mínimo será de 28,48 mg/L en el mes de diciembre del año 2023 (ver Figura 26).

Figura 27

Variación sólidos suspendidos totales río San Pedro período 2020-2024

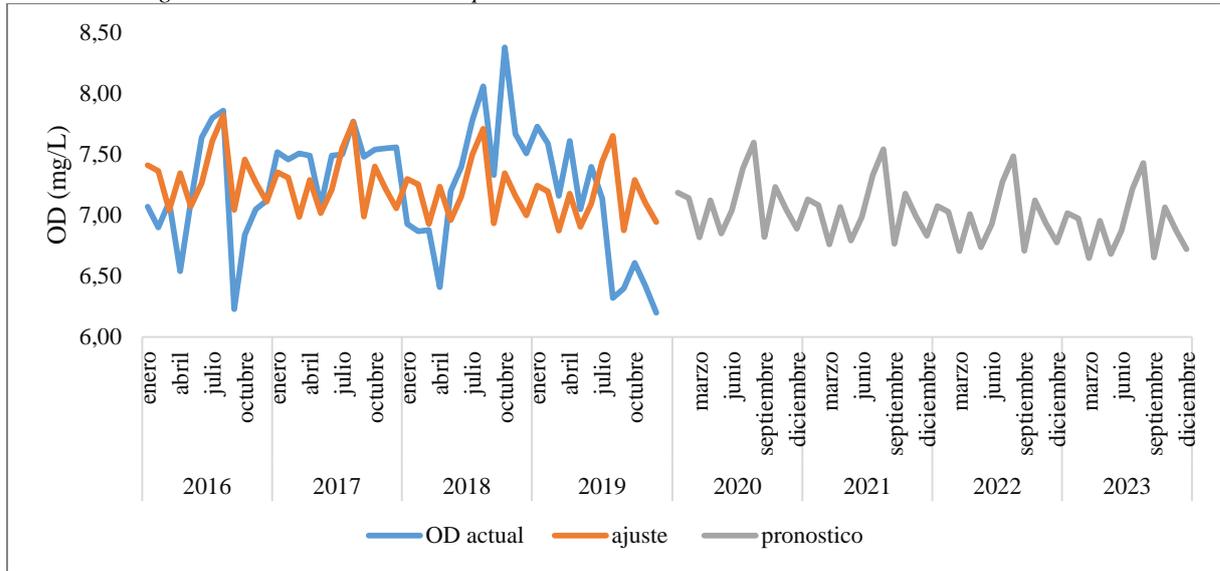


Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

8.5.5.6.6 Oxígeno Disuelto

Con el método de descomposición se obtuvo el pronóstico de oxígeno disuelto para el período 2020-2023 un total de 48 datos pronosticados con un 5,42 % de error absoluto, según el pronóstico el valor promedio interanual de oxígeno disuelto será de 6,92 mg/L y su valor máximo será de 7,59 mg/L en el mes de agosto del año 2020 y el valor mínimo será de 6,65 mg/L en el mes de marzo del año 2023 (ver Figura 28).

Figura 28
Variación Oxígeno Disuelto río San Pedro período 2020-2024.

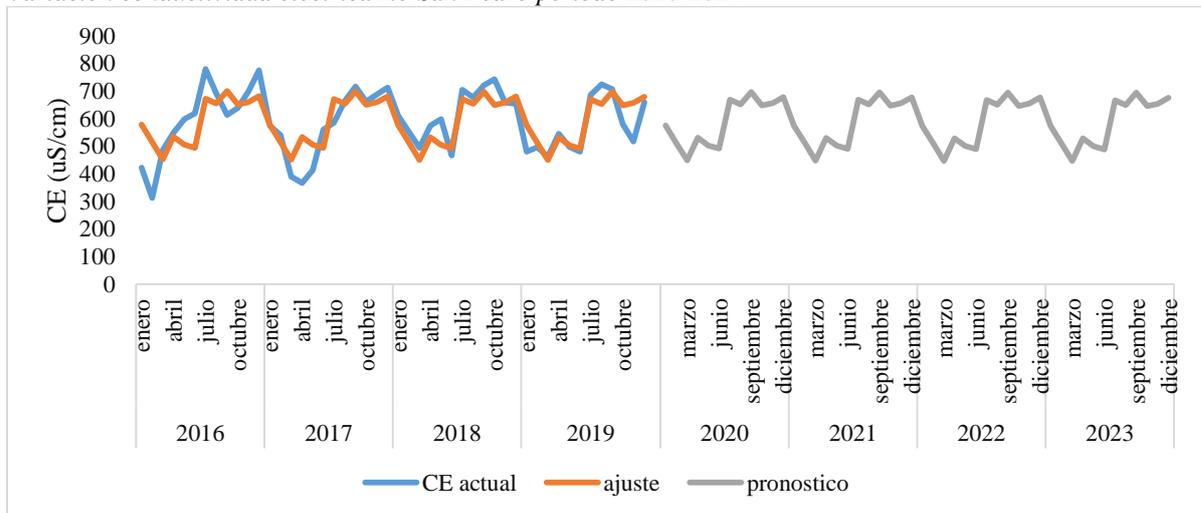


Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

8.5.5.6.7 Conductividad Eléctrica

Con el método de descomposición se obtuvo el pronóstico de conductividad eléctrica para el periodo 2020-2023 un total de 48 datos pronosticados con un 10,32 % de error absoluto, según el pronóstico el valor promedio interanual de conductividad eléctrica será de 585,49 uS/cm y su valor máximo será de 695,97 uS/cm en el mes de septiembre del año 2020 y el valor mínimo será de 445,97 uS/cm en el mes de marzo del año 2023 (ver Figura 28).

Figura 29
Variación conductividad eléctrica río San Pedro período 2020-2024



Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

8.5.5.6.8 Índice Simplificado de calidad de agua para el periodo 2020-2024

Los valores mensuales del ISQA se reportan, en la Tabla 15 se encuentra el cálculo de los errores del pronóstico. En donde se tiene 10,17% del error absoluto porcentual promedio, un valor de 9,53 de error absoluto promedio y un valor de 89,77 error cuadrático medio.

Tabla 15

Calidad del agua del río San Pedro- ISQA período 2020-2024

Año	Meses	Temperatura °C	Demanda química de oxígeno (mg /L)	Sólidos suspensos totales (mg/ L)	Conductividad (uS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	
2020	enero	15,7	32,3714	63,677	574,514	7,18681	
	febrero	16,5	39,1603	82,063	511,669	7,14132	
	marzo	15,4	30,205	192,161	448,484	6,8179	
	abril	15,9	58,7031	101,447	530,649	7,12366	
	mayo	16,1	43,5475	77,8	502,386	6,84983	
	junio	17,1	43,8202	80,503	490,937	7,04225	
	julio	16,5	45,5456	68,811	668,767	7,38633	
	agosto	16,4	35,7689	65,882	651,407	7,59833	
	septiembre	16,7	46,3825	52,924	695,976	6,822	
	octubre	16,8	41,0306	53,176	647,283	7,23401	
	noviembre	16,8	47,9942	45,171	656,236	7,04726	
	diciembre	16,9	57,3847	36,186	677,76	6,88885	
	PROMEDIO		16,4	43,5	76,7	588,0	7,1
ISQA		1,0	14	13,5	12,8	18	59,6
2021	enero	15,761	32,3714	61,108	573,677	7,13085	
	febrero	16,4905	39,1603	79,495	510,832	7,08535	
	marzo	15,3947	30,205	189,593	447,647	6,76194	
	abril	15,9154	58,7031	98,879	529,813	7,06769	
	mayo	16,1511	43,5475	75,232	501,549	6,79386	
	junio	17,1676	43,8202	77,935	490,1	6,98628	
	julio	16,4969	45,5456	66,243	667,93	7,33037	
	agosto	16,4188	35,7689	63,314	650,57	7,54237	
	septiembre	16,7317	46,3825	50,355	695,14	6,76604	
	octubre	16,8077	41,0306	50,608	646,447	7,17804	
	noviembre	16,8501	47,9942	42,602	655,4	6,9913	
	diciembre	16,8839	57,3847	33,618	676,923	6,83288	
	PROMEDIO		16,42245	43,4928333	74,0818333	587,169	7,03891417
ISQA		1,0	6	13,9	12,8	18	51,1
2022	enero	15,7838	32,3714	58,54	572,841	7,07488	
	febrero	16,5144	39,1603	76,926	509,995	7,02939	
	marzo	15,417	30,205	187,025	446,811	6,70597	
	abril	15,9385	58,7031	96,311	528,976	7,01173	
	mayo	16,1745	43,5475	72,664	500,713	6,7379	
	junio	17,1925	43,8202	75,367	489,264	6,93032	
	julio	16,5209	45,5456	63,674	667,093	7,2744	
	agosto	16,4426	35,7689	60,746	649,734	7,4864	
	septiembre	16,756	46,3825	47,787	694,303	6,71007	
	octubre	16,832	41,0306	48,04	645,61	7,12208	
	noviembre	16,8745	47,9942	40,034	654,563	6,93533	
	diciembre	16,9084	57,3847	31,049	676,087	6,77692	

	PROMEDIO	16,4462583	43,4928333	71,5135833	586,3325	6,98294917	
	ISQA	1,0	6	14,3	12,8	17	51,4
2023	enero	15,8067	32,3714	55,971	572,004	7,01892	
	febrero	16,5384	39,1603	74,358	509,159	6,97342	
	marzo	15,4394	30,205	184,456	445,974	6,65001	
	abril	15,9616	58,7031	93,742	528,139	6,95576	
	mayo	16,1979	43,5475	70,095	499,876	6,68193	
	junio	17,2174	43,8202	72,798	488,427	6,87435	
	julio	16,5448	45,5456	61,106	666,257	7,21844	
	agosto	16,4664	35,7689	58,177	648,897	7,43044	
	septiembre	16,7803	46,3825	45,219	693,467	6,65411	
	octubre	16,8564	41,0306	45,471	644,774	7,06611	
	noviembre	16,899	47,9942	37,466	653,727	6,87937	
	diciembre	16,9329	57,3847	28,481	675,25	6,72095	
		PROMEDIO	16,4701	43,4928333	68,945	585,495917	6,92698417
	ISQA	1,0	6	14,7	12,8	17	51,6

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

Tabla 16
Calidad del agua del río San Pedro ISQA período 2020-2024 época lluviosa

Año	Meses	T °C	DQO(mg/ l)	SST (mg/ l)	CE (uS/cm)	OD (mg/l)	
MESES DE EPOCA LLUVIOSA							
2020	enero	15,7381	32,3714	63,677	574,514	7,18681	
	febrero	16,4666	39,1603	82,063	511,669	7,14132	
	marzo	15,3724	30,205	192,161	448,484	6,8179	
	abril	15,8923	58,7031	101,447	530,649	7,12366	
	mayo	16,1276	43,5475	77,8	502,386	6,84983	
	septiembre	16,7075	46,3825	52,924	695,976	6,822	
	octubre	16,7833	41,0306	53,176	647,283	7,23401	
	noviembre	16,8257	47,9942	45,171	656,236	7,04726	
	diciembre	16,8595	57,3847	36,186	677,76	6,88885	
		PROMEDIO	16	44	78	583	7
	ISQA	1	6	13	13	18	50
MESES DE EPOCA LLUVIOSA							
2021	enero	15,761	32,3714	61,108	573,677	7,13085	
	febrero	16,4905	39,1603	79,495	510,832	7,08535	
	marzo	15,3947	30,205	189,593	447,647	6,76194	
	abril	15,9154	58,7031	98,879	529,813	7,06769	
	mayo	16,1511	43,5475	75,232	501,549	6,79386	
	septiembre	16,7317	46,3825	50,355	695,14	6,76604	
	octubre	16,8077	41,0306	50,608	646,447	7,17804	
	noviembre	16,8501	47,9942	42,602	655,4	6,9913	
	diciembre	16,8839	57,3847	33,618	676,923	6,83288	
		PROMEDIO	15	41	69	543	7,8
	ISQA	1	7	15	13	20	55
MESES DE EPOCA LLUVIOSA							
2022	enero	15,7838	32,3714	58,54	572,841	7,07488	
	febrero	16,5144	39,1603	76,926	509,995	7,02939	

marzo	15,417	30,205	187,025	446,811	6,70597		
abril	15,9385	58,7031	96,311	528,976	7,01173		
mayo	16,1745	43,5475	72,664	500,713	6,7379		
septiembre	16,756	46,3825	47,787	694,303	6,71007		
octubre	16,832	41,0306	48,04	645,61	7,12208		
noviembre	16,8745	47,9942	40,034	654,563	6,93533		
diciembre	16,9084	57,3847	31,049	676,087	6,77692		
PROMEDIO	15	41	67	546	7,79		
ISQA	1	7	15	13	19	56	
MESES DE EPOCA LLUVIOSA							
2023	enero	15,8067	32,3714	55,971	572,004	7,01892	
	febrero	16,5384	39,1603	74,358	509,159	6,97342	
	marzo	15,4394	30,205	184,456	445,974	6,65001	
	abril	15,9616	58,7031	93,742	528,139	6,95576	
	mayo	16,1979	43,5475	70,095	499,876	6,68193	
	septiembre	16,7803	46,3825	45,219	693,467	6,65411	
	octubre	16,8564	41,0306	45,471	644,774	7,06611	
	noviembre	16,899	47,9942	37,466	653,727	6,87937	
	diciembre	16,9329	57,3847	28,481	675,25	6,72095	
	PROMEDIO	15	41	65	545,7	7,7	
	ISQA	1	7	15	13	19	56

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

Tabla 17

Calidad del agua del río San Pedro-ISQA período 2016-2024 épocas seca

Año	Meses	T °C	DQO(mg/l)	SST (mg/l)	CE (uS/cm)	OD (mg/l)	
MESES DE EPOCA SECA							
2020	junio	17,1427	43,8202	80,503	490,937	7,04225	
	julio	16,473	45,5456	68,811	668,767	7,38633	
	agosto	16,395	35,7689	65,882	651,407	7,59833	
	PROMEDIO	17	42	72	604	7	
	ISQA	1	6	14	13	18	53
MESES DE EPOCA SECA							
2021	junio	17,1676	43,8202	77,935	490,1	6,98628	
	julio	16,4969	45,5456	66,243	667,93	7,33037	
	agosto	16,4188	35,7689	63,314	650,57	7,54237	
	PROMEDIO	17	44	78	490	6,98628	
	ISQA	1	6	13	14	17	51
MESES DE EPOCA SECA							
2022	julio	16,5209	45,5456	63,674	667,093	7,2744	
	agosto	16,4426	35,7689	60,746	649,734	7,4864	
	junio	17,1925	43,8202	75,367	489,264	6,93032	
	PROMEDIO	17	42	67	602	7,23037333	
	ISQA	1	6	15	13	18	53,2
MESES DE EPOCA SECA							
2023	julio	16,5448	45,5456	61,106	666,257	7,21844	
	agosto	16,4664	35,7689	58,177	648,897	7,43044	
	junio	17,2174	43,8202	72,798	488,427	6,87435	
	PROMEDIO	16,74286667	41,7115667	64,027	601,193667	7,17441	
	ISQA	1	6	15	13	18	53

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

Se determinó el ISQA de acuerdo a los valores de pronóstico obtenidos del resultado del método de descomposición de series de tiempo, los cálculos del ISQA Los valores del ISQA

del periodo 2020 - 2024 indican una calidad de agua regular por encontrarse dentro de los valores de 60 a 70. Ver (Tabla 15). Para la época lluviosa los valores del ISQA indican una calidad regular. Ver (Tabla 16), mientras que para la época seca una calidad regular para los años 2020 – 2023. Ver (Tabla 17).

9 LA NARRACIÓN DEL CASO (DISCUSIÓN)

La consolidación de la base de datos definitiva de parámetros fisicoquímicos del río San Pedro, se encuentra en los archivos existentes de la Secretaria Nacional del Medio Ambiente (2020) del período 2013-2019 en el cuál se encontraron valores de cada parámetro analizados y que luego fueron analizados con estadísticos descriptivos. Se tomó como referencia el trabajo de Alonso Duré (2018) para analizar el parámetro de Temperatura °C, se lo multiplicó por el factor de corrección (Fc) 0,86 para obtener la conversión de Temperatura de 25°C a 18°C” como lo menciona Alonso (2013) es necesario la conversión para realizar el cálculo del índice simplificado de la calidad de agua, ver (Tabla 5); por lo que, se calculó y se analizó descriptores estadísticos. Ver (Tabla 6 y 7), para conocer el grado de dispersión de los datos, así como también se realizó el diagrama de cajas e histogramas de frecuencia.

Los datos fisicoquímicos fueron procesados utilizando el software Rstudio con el cual se obtuvo los resultados de la prueba Z, donde se evidenció que no existen datos atípicos en ninguno de los parámetros fisicoquímicos, debido a que los valores de Z estaban dentro de los límites permisibles; por ello, no se requirió realizar ningún proceso adicional. Para tener un mejor criterio de los resultados se efectuó el diagrama de cajas, en donde se puede observar que los valores de medianas son similares a la media en todos los casos. Para identificar de mejor manera la distribución de los datos se utilizó los histogramas de frecuencias, donde se pudo apreciar que existe distribución simétrica de los parámetros fisicoquímicos, debido a que se verificó que no se tienen datos atípicos con la prueba Z, en el período 2013-2019, se empleó los valores de la Tabla 7. Evidenciando, de que no existen datos atípicos en ninguno de los parámetros fisicoquímicos, debido a que los valores de Z están dentro de los límites permisibles, por ello no se necesita realizar ningún proceso adicional.

La información de precipitación, temperatura y evaporación fue tomada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de la estación meteorológica La Tola (M002) ubicada en el cantón Mejía a 10 km del río San Pedro, del cual se analizaron los datos

del periodo 2013-2019. La zona de estudio se caracteriza por presentar una distribución de precipitaciones bimodal, siendo las épocas de lluvia en los meses de enero a mayo, octubre a diciembre y época seca en los meses de junio a septiembre. El valor promedio multianual de precipitaciones es de 65,75 mm, su valor máximo corresponde al mes de marzo del 2017 con 230,7 mm mientras que el valor mínimo se presenta en el mes de agosto del 2019 con 0,1 mm. Ver (Figura 17).

El valor medio multianual de temperatura para la estación La Tola es de 16,01 °C, el valor máximo corresponde al mes de febrero del 2016 con 17,5 °C y el registro mínimo se presenta en enero del 2018 con 14,8°C. Ver (Figura 18). El valor medio multianual de evaporación para la estación La Tola es de 128,07 mm, el valor máximo corresponde al mes de agosto del 2019 con 238,5 mm y el valor mínimo se presenta en marzo del 2017 con 80,5 mm. Ver (Figura 19)

A continuación, se muestra el análisis de variación de los parámetros fisicoquímicos durante los años 2013, 2016, 2018 y 2019 de los meses junio hasta septiembre. El valor promedio multianual de la temperatura fue de 16,3 °C, el valor máximo de temperatura se presentó en el mes de junio del año 2018 con 18,4 °C y el valor mínimo fue en el mes de junio del año 2013 con 14,3 °C.

En los archivos de la Secretaria Nacional del Medio Ambiente (2020), existen estudios técnicos de la valoración de la calidad de agua del río San Pedro que fueron realizados por los Técnicos del cantón Rumiñahui. En el segundo estudio efectuado por los Técnicos de la Secretaria Nacional del Medio Ambiente, en su investigación detallan que el aumento de la Temperatura que reflejó en el estudio ejecutado por los Técnicos del GAD Rumiñahui no se relaciona con el aumento de la temperatura alta del año 2018 que tiene 18,4°C, que al comparar las Temperaturas en el mismo mes en mención, con el estudio que ejecutaron los Técnicos del GAD en el año 2013 fue de 14,3°C; a pesar de que en el mes de junio su estación siempre esta seca, tomando en cuenta que en el año 2018 aumentó la temperatura; la turbiedad; la DQO; los sólidos sedimentables, sin embargo existe un buen nivel general de oxigenación y un bajo nivel de DQO (<100) que según versión de los técnicos de la Secretaria Nacional del Medio Ambiente, se debe posiblemente a los días de medición, en el que se presentaron lluvias que crearon un efecto de dilución en las aguas del río San Pedro. Ver (Figura 20)

El valor promedio multianual de la demanda química de oxígeno fue de 34,8 mg/L, el valor máximo se presentó en el mes de junio del año 2018 con 80 mg/l y el valor mínimo en el mes de septiembre del año 2013 con 8mg/L. Se evidencia que las concentraciones más altas de la demanda química de oxígeno se presentó en el mismo año del valor máximo de temperatura por lo que puede deberse a vertidos de agua residual. Ver (Figura 21). El valor promedio multianual de sólidos suspendidos totales fue de 59,1 mg/L, el valor máximo se presentó en el mes de agosto del año 2013 con 106mg/L y el valor mínimo en los meses de septiembre del año 2013 con 13 mg/L.

En el estudio de caso ejecutado se detectó que el mayor problema en el río San Pedro, son los sólidos en suspensión y dilución por su desagradable apariencia. La materia flotante es aún más desagradable cuando es de origen residual porque se presenta en el agua una turbidez que restringe el paso de la luz, que a su vez reduce la variedad de plantas acuáticas que dependen de la luz, así como también reduce la población de todos los organismos vivos que viven en el agua. La sedimentación de sólidos suspendidos han formado bancos de sedimentos en el río San Pedro, sofocando a los organismos del fondo (especialmente si los sólidos son inertes) o cambiando el nivel de OD en las capas profundas del agua, especialmente si son orgánicos y se biodegradan. Los sólidos disueltos en altas concentraciones reducen la solubilidad de oxígeno en el agua. Por lo tanto, en concentraciones mucho menores, éstos pueden afectar los usos del agua para consumo humano y la provisión de agua para irrigación. Se conjetura que las altas concentraciones de sólidos suspendidos totales en el río San Pedro se deben a los arrastres de sedimentos por precipitaciones, por las lluvias ocasionadas durante el mes de septiembre. Ver (Figura 22). En consecuencia, es necesario para la vida de los peces y otros organismos acuáticos.

El oxígeno es moderadamente soluble en agua, dependiendo la solubilidad, de la temperatura, la salinidad, la turbulencia del agua y la presión atmosférica: disminuye cuando aumenta la temperatura y la salinidad, y cuando disminuye la presión atmosférica. La solubilidad de oxígeno atmosférico en aguas dulces, a saturación y a nivel del mar, oscila aproximadamente entre 15m/L a 0°C y 8 mg/L a 25°C.

En este estudio de caso realizado se analizó, que el valor promedio multianual del oxígeno disuelto fue de 7,4 mg/L, el valor máximo se presentó en el mes de septiembre del año 2013 con 8,74 mg/L y el valor mínimo en el mes de septiembre del año 2016 con 6,23 mg/L. El promedio multianual de conductividad eléctrica fue de 651,3 uS/cm, el valor máximo se

presentó en el mes de julio del año 2016 con 779 uS/cm y el valor mínimo en el mes de junio del año 2016 con 446 uS/cm. Ver (Figura 24).

El cálculo del ISQA se realizó mediante la aplicación de las ecuaciones. Ver (Tabla 3, p.49), clasificación de la calidad del agua del ISQA que fue analizado. Ver (Tabla 4, p.50), en el que se demostró el cálculo y el análisis de los descriptores estadísticos, estos datos de los parámetros Fisicoquímicos en el cálculo del ISQA en el río San Pedro en el período 2013-2019. Ver (Tabla 5), se analizó que presenta menores concentraciones de demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales. De los resultados obtenidos del análisis ISQA en el período 2013-2019. Ver (Tabla 10), de estos datos (resultados) retomados de la base de datos, se analizó y se describió que la calidad del agua es regular en casi todos los años, por encontrarse dentro de los valores de 50 a 70, y que su uso solo le correspondería para aguas de riego, industrial, y potable siempre que tenga tratamiento especial.

En la tabla 10 según el ISQA para la época lluviosa comprendida entre los meses agosto y septiembre, el agua del río San Pedro presentó una calidad regular en todos los años analizados, el cálculo del ISQA se puede visualizar en el Anexo 4.

En la tabla 11 según el cálculo del ISQA para la época seca comprendida entre los meses de junio y julio, arroja como resultado una mala calidad de agua para el año 2018 mientras que los años 2013, 2016 y 2019 presentan una calidad regular. Cabe recalcar que se espera que la calidad de agua para la época lluviosa sea mejor que la época seca ya que se conoce que a mayor caudal los contaminantes se diluyen y mejora la calidad del agua.

DISCUSIÓN DEL PRONÓSTICO

El pronóstico conseguido en esta investigación con la aplicación del modelo matemático del Software Minitab seleccionado, demostró mínimos errores en los siguientes parámetros: Oxígeno Disuelto 5,42%; Conductividad Eléctrica 10,32% y Temperatura 4,36%; que al aplicar el Software en los parámetros DQO 52,29% y SST 44,95%. Ver (Anexos 6, 7, 8, 9, 10) por la distribución de sus datos. Daros (2018), sostiene que el procedimiento de la no normalidad, no es muy habitual en los datos ambientales. Según Boyd (2016), aclara que el método de descomposición es rápido y efectivo para interpretar pronósticos de mediano y largo plazo de dos o tres años en su aplicación. De los valores pronosticados de los parámetros fisicoquímicos

se obtuvo un valor de 10,17% en error absoluto porcentual promedio para el pronóstico del ISQA. Ver (Tabla 14), de este estudio realizado sobre la calidad del agua en el río San Pedro durante los 4 años se alcanzó con precisión el pronóstico de 89,77%. Siendo el valor del ISQA para el año 2020 de 59,6; para el año 2021 de 51,1; para el año 2022 de 51,4; para el año 2023 de 51,9 indican en este estudio realizado que la calidad del agua es regular para los 4 años. Ver (Tabla 15), igualmente se detectó en el estudio efectuado en la época lluviosa se presentó la calidad de agua regular con valores ISQA que varían en el año 2020 de 50; en el 2021 de 55; en el 2022 de 56, y en el 2023 de 56. Ver (Tabla 16), en comparación con la época seca los valores varían en el 2020 de 53; en el 2021 de 51; en el 2022 de 53,2 y en el 2023 de 53 y se constata que en todos los años del 2020 al 2023 la calidad de agua es regular porque se encuentra en el valor de 50-70, y se concluye que el agua es apta con tratamiento de potabilización para el consumo humano, equivalentemente para el riego y la industria.

10 LECCIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Lecciones

- El Índice de Calidad del Agua es una herramienta importante que permite conocer el estado actual del agua en un lugar específico y tomar decisiones en función de los resultados obtenidos, en caso de compromisos se pueden tomar medidas para mejorar la calidad del agua, mediante la implementación de filtros o tratamientos de agua previos.
- El río San Pedro presenta el problema de la contaminación por desechos ácidos y aguas residuales (aguas negras), sobre todo el sobrepasar el valor máximo permisible en los "Estándares Ecológicos de Calidad del Agua", es notorio reconocer que por la contaminación de la industria se ha afectado la calidad de vida del río San Pedro en los parámetros fisicoquímicos que son los más afectados el pH y el OD en el agua.
- Los resultados generados por el modelo matemático del programa Minitab son precisos y la validez alcanza el 90%. Esto se refleja en el análisis del índice de simplificación de la calidad del agua, se compara con la comparación de la calidad del agua de 2013 a 2019.
- De los resultados obtenidos del análisis ISQA en el período 2013-2019. Ver (Tabla 10), de estos datos (resultados) retomados de la base de datos, se analizó y se describió que la calidad del agua es regular en casi todos los años, por encontrarse dentro de los valores de 50 a 70, y que su uso solo le correspondería para aguas de riego, industrial, y potable siempre que tenga tratamiento especial, por lo que se concluye, que la calidad del agua se utilizará habitualmente como trabajo, sino es tratada a tiempo con base en la previsión de cuatro años de 2020 a 2023, lo que indica que una vez que se someta a un tratamiento convencional, el agua puede ser apto para consumo humano.

De los resultados obtenidos del análisis ISQA en el período 2013-2019, se analizó y se describió que la calidad del agua es regular en casi todos los años, por encontrarse dentro de los valores de 50 a 70, y que su uso solo le correspondería para aguas de riego, industrial, y potable siempre que tenga tratamiento especial.

10.2 Recomendaciones

- El derecho de todo ciudadano es vivir en un ambiente sano y libre de contaminación, por eso se recomienda efectuar un nuevo estudio de valoración de la cuenca del río San Pedro. ¿Cómo?, con la aplicación de la valoración de modelos de calidad de agua y el monitoreo permanente, que permita simular condiciones físico-químicas actuales y futuras, de tal manera, que sea posible obtener escenarios, en donde se pueda anticipar las variaciones que sufren los diversos índices de calidad de aguas, por lo que es necesario se reduzca la descarga directa de aguas residuales de los municipios, estableciendo plantas de tratamiento a fin de mejorar los sistemas de aguas residuales.
- Mantener un monitoreo continuo que permita determinar los sitios de mala calidad del agua en el río San Pedro con la realización de evaluaciones físicas, químicas y biológicas para obtener datos en diferentes épocas del año, y poder detectar y controlar los puntos contaminados en el río, para introducir plantas de tratamiento donde sea requerido en la restauración hídrica, con el análisis de los parámetros microbiológicos a fin de obtener mayor precisión en la valoración de la calidad del agua.
- Para un estudio completo del río San Pedro se debe estudiar de manera integral la contaminación, a la vez incluir más parámetros, como metales, coliformes fecales, detergentes, plaguicidas, entre otros.
- Ejecutar proyectos de reforestación a lo largo del río San Pedro, con el objetivo de recuperar la cobertura vegetal y disminuir los efectos de erosión del suelo y a la vez los problemas de contaminación por sedimentos sobre el recurso.

11 BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, M. (2015). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual REDESMA*, 26.
- Alonso Duré, J. A. (17 de Noviembre de 2018). *ÍNDICE MULTIMÉTRICO BASADO EN MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN ARROYOS DEL SUR DEL DEPARTAMENTO DE ITAPÚA*. DOCTORADO EN GESTIÓN AMBIENTAL, Universidad Nacional de Itapúa , Programa de Posgrado , Encarnación-Paraguay. Recuperado el 9 de Septiembre de 2020
- American Public Health Association. (2012). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. (Vol. Vol.22). Washington: Editorial Washington: American Public Health Association. Recuperado el 24 de Agosto de 2020
- Armitage, P., Moss, J., Wright, J., & Furse, M. (2 de August de 2017). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Revista Water Res*(No.17), pp.333-347. Recuperado el 27 de Agosto de 2020
- Autoridad Nacional del Agua. (16 de Mayo de 2017). *Normativa para la Autoridad Nacional del Agua*. Recuperado el 23 de Agosto de 2020, de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/propuesta_metodologia_icaca-pe.pdf
- Baños, A. (2018). *Product Manager de Fotometría-Turbidez de HANNA INSTRUMENTS*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2020, de ¿Que nos dice la turbidez sobre la calidad del agua potable?: <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/que-nos-dice-la-turbidez-sobre-la-calidad-del-agua-potable>
- Benavidez Muñoz, H. (6 de Mayo de 2019). *¿Qué son los recursos hídricos y cuales son los principales de Ecuador*. Recuperado el 6 de Septiembre de 2020, de Dialiguemos: La Academia en la comunidad: <https://dialoguemos.ec/2019/05/que-son-los-recursos-hidricos-y-cuales-son-los-principales-del-ecuador/>
- Bojaca B, R., Hernández, A. M., & Duque Solano, M. E. (2017). *DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN AGUAS*. (V. y.-R. Ministerio de Ambiente, Ed.) Bogota-Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado el 10 de Septiembre de 2020, de <http://www.ideam.gov.com>
- Bouza, C. N. (12 de Mayo de 2012). *Modelos Matemáticos para el Estudio de Medio Ambiente, Salud y Desarrollo Humano*. (d. e. Editor: c. bouza. j.f.garcia, Editor) Recuperado el 22

- de Agosto de 2020, de La Salud y El Medio Ambiente: https://www.researchgate.net/publication/287214815_MODELACION_MATEMATIC_A_DE_FENOMENOS_DEL_MEDIO_AMBIENTE_Y_LA_SALUD
- Boyd, C. (2016). *Water Quality: An Introduction*. New York. *Springer Science*, 15.
- Bravo, L. (18 de Julio de 2018). *ResearchGate*. Recuperado el 15 de Agosto de 2020, de Efecto de Aguas Contaminadas: https://www.researchgate.net/publication/272418893_Efecto_de_aguas_contaminadas_en_ecosistemas_continental_y_manejo_de_cuencas
- Brown, R., McClelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). *A Water Quality Index - Do We Dare* (Vol. Vol.10). New York: Water and Sewage,. Recuperado el 8 de Agosto de 2020
- Bustamante, I., Sanz, J., González-Hernández, F., Encabo, J., & Mateos, J. (2017). *Estudio de la Calidad de las Aguas Superficiales en los Espacios Naturales del Sur de las provincias de Salamanca y Ávila: Índice ISQA* (Segunda ed.). Salamanca y Ávila: Editorial Geogaceta. Recuperado el 26 de Agosto de 2020
- Calvo, M. (2018). *Depuración de las Aguas Residuales por Tecnologías Ecológicas* (Vol. III). México D.F.: McGraw-Paraninfo. Recuperado el 24 de Agosto de 2020
- Camargo, M. (2017). *indices Bióticos* (Segunda ed., Vol. III). (M. Cornejo, Ed.) Medellín-Colombia: Versalles S.A. Recuperado el 23 de Agosto de 2020
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (20 de Marzo de 2017). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Revista Ingeniería Solidaria*, X(No.17), pp.111-124. Recuperado el 23 de Agosto de 2020
- Coello, J. e. (2016). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Revista de Investigación del Instituto de Investigaciones*, pp-6671. Recuperado el 12 de Agosto de 2020
- Daros, G. (2017). La contaminación de agua en el Ecuador: Una aproximación económica, Quito, Ecuador. *Abya Yala*, p.243.
- Daros, G. (2018). La contaminación de agua en el Ecuador: Una aproximación económica, Quito, Ecuador. *Abya Yala*, 243.
- Debels, P. (18 de June de 2017). Evaluation of Water Quality in the Chillán River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified Water Quality Index. *Environmental Monitoring and Assessment*, pp.301-322. Recuperado el 29 de August de 2020

- Decenio Internacional para la Acción "E Agua de Vida". (22 de Mayo de 2017). *Organización de las Naciones Unidas*. Recuperado el 25 de Agosto de 2020, de http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml
- FAO. (2017). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *FAO*.
- Fernández, N., & Solano, F. (2017). *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua*. Universidad de Pamplona, Pamplona. Recuperado el 28 de Agosto de 2020
- Flynn, D. (2017). The Nalco Water Handbook Ney York, USA. *Nalco Company*, p.222.
- FONAG. (2010). *Requerimientos científicos para caudales ecológicos en ríos del sistema Papallacta, Ecuador*. Quito, Ecuador.
- FONAG. (29 de Abril de 2017). *Gestión integrda de lso Recursos Hidrícicos en la cuenca alta del río San Pedro*. Obtenido de Fondo para la protección del agua: <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10337>
- GADM cantón Rumiñahui. (23 de Enero de 2015). *GAD Municipal del cantón Rumiñahui: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial años 2013-2025*. Rumiñahui-Ecuador: GDM-Rumiñahui. Recuperado el 20 de Agosto de 2020, de http://www.ruminahui.gob.ec/index.php?option=com_phocadownload&view=category&iid=2&Itemid=159&lang=es
- Gestión de Comunicación Medio Ambiente. (2017). *Prefectura de Pichincha*. Quito-Ecuador: Prefectura de Pichincha. Recuperado el 24 de Agosto de 2020, de <http://www.pichincha.gob.ec/pichincha/datos-de-la-provincia/100-rios>
- Glynn, H., & Gary, W, H. (2018). *Ingenieria Ambiental*. New York: Brandusht S.A. Recuperado el 14 de Agosto de 2020
- Gómez, A. M., Naranjo Fernández, D., Martínez, A. A., & Gallego Suárez, D. (2017). Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y El Salado (Girardota - Antioquia, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, LX*(No.1), pp.3735-3749.
- González Astudillo, M. T. (2014). *sistema simbolico de analisis matematico*. España: universidad de salamanga.
- González, Z. (2014). *Índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia*. Colombia.
- Guillén, V., Teck, H., Kohlmann, B., & Yeomans, J. (2017). *Microorganismos como bioindicadores de calidad de aguas. Tierra tropical: sostenibilidad, ambiente y sociedad* (Vol. VIII). México D.F.: McGrw-Hill. Recuperado el 29 de Agosto de 2020

- Hamaker, J. (2010). Organicchemical in the soil environment. *scielo*, p.253-340.
- Hann-vonHessberg, C. (10 de Junio de 2017). Contaminación Hídrica. *Revista SCieLO*, pp.145-189. Recuperado el 26 de Agosto de 2020, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30682009000200007
- Hernán Cruz, C. (2015). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16.
- Hinojoza Cordero, N. B. (2018). *Evaluacion de la Calidad del Agua del rio San Pedro, sector Valle de Iso Cillos, mediante el índice de Calidad de Agua (ICA-NSF)*. Pregrado Ingeniería Ambiental, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Quito-Ecuador. Recuperado el 24 de Agosto de 2020, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16821>
- Hounslow, A. (2017). *Water Quality Data: Analysis and Interpretation. United States: CRC Press., 79.*
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). *NTE INEN-ISO 5667-1 CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. PARTE 1: GUÍA PARA EL DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO Y TÉCNICAS DE MUESTREO (ISO 5667-1:2006, IDT)*. Quito-Ecuador: Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado el 22 de Agosto de 2020
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2015). *NTE INEN-ISO 5667-3 CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. PARTE 3: CONSERVACIÓN Y MANIPULACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA (ISO 5667-3:2012, IDT)*. Quito-Ecuador: GDM-Rumiñahui. Recuperado el 23 de Agosto de 2020
- Manahan, S. (2018). *Introducción a la Química Ambiental.España. Reverté, pp.50-102.*
- Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador. (2018). *Contaminación del caudal río San Pedro*. Quito-Ecuador: Secretaria del Ministerio del Medio Ambiente del Ecuador. Recuperado el 25 de Agosto de 2020
- Naciph, K. A. (2016). *Water Quality Analysis of the San Pedro River and Proposal of a Water Treatment Design for its Use as a Water Source for a Communitarian Irrigation Project*. Universidad San Francisco de Quito., Quito-Ecuador. Recuperado el 10 de Agosto de 2020, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/7047>
- Nasiri, F., Maqsood, I., Huang, G., & Fuller, N. (16 de August de 2015). Water Quality Index: A Fuzzy River-Pollution Decision Support Expert System. *ournal of Water Resources Planning and Management*, V(No.2), pp.95-105. Recuperado el 30 de Agosto de 2020

- Nemerow, N. (2015). Nemerow, N. (2009). Environmental Engineering: water, wastewater, soil and groundwater treatment and remediation. New Jersey. *New Jersey: John Wiley & Sons*, 126.
- Núñez, M. A. (2017). La cuenca hidrográfica. *Revista Virtual REDESMA*, 12.
- Núñez, M. A. (2017). La cuenca hidrográfica. *Revista Virtual REDESMA*, 12.
- Núñez, Mario Aguirre. (2017). La cuenca hidrográfica. *Revista Virtual REDESMA*, 12.
- Núñez, Mario Aguirre. (2017). La cuenca hidrográfica. *Revista Virtual REDESMA*, 12.
- Orozco, J, Á. (2017). *Bioingeniería de Agua Residuales* (Tercera ed., Vol. IV). México D.F.: McGraw-Hill. Recuperado el 24 de Agosto de 2020
- Ortega, J. (2017). Water Ecosystem Services. United Kingdom. *UNESCO*, 81.
- Oscos, J., Galicia, D., & Miranda, R. (2018). *Macroinvertebrados de la Cuenca del Ebro: descripción de taxones guía de identificación*. Universidad de Navarra, Facultad Ciencias. Navarra-España: Edit Navarra. Recuperado el 28 de Agosto de 2020
- Ott, W. (15 de Junio de 2016). Environmental Indices: Theory and Practice. *Revista Ann Arbor Science*, pp.56-67. Recuperado el 23 de Agosto de 2020
- Patiño, J. (2015). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16.
- Paula Andrea Ortiz Valencia, José Leonardo Ramíre. (2011). *Modelo matemático y control de un sistema de fluidos*. Colombia : Silvia Ines .
- Pauta, G., & Chang, J. (2014). *Índices de calidad del agua de fuentes superficiales y aspectos toxicológicos, evaluación del río Burgay*. (Vol. Vol.V). Cañar-Ecuador: Maskana S.A. Recuperado el 12 de Agosto de 2020, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16821>
- Pérez Porto, J., & Merino, M. (2018). *Recursos Hídricos* (Vol. III). México D.F.: McGraw-Hill. Recuperado el 23 de Agosto de 2020, de <https://definicion.de/recursos-hidricos/>
- Pérez, C., Maurice, L., Ochoa, V., López, F., Egas, D., Lagane, C., & Besson, P. (23 de Junio de 2015). Determinación de elementos mayores en sedimentos provenientes de zonas afectadas por actividades petroleras en Ecuador. *Revista Avances en Ciencias e Ingenierías*, Vol. 7(No.2), pp.C95-C115. Recuperado el 10 de Agosto de 2020
- Proaño Krivosidová, C. (2007). *Aplicación de un modelo de materia orgánica para la determinación de la contaminación por materia orgánica del río San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y la Armenia*. Estuddio de Caso río San Pedro, Escuela Politécnica de las Fuerzas Armadas, Sangolquí. Recuperado el 10 de Agosto de 2020, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2330>

- Quiroz, L., Ozquierdo, K. E., & Menéndez Gutierréz, C. (2017). *Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo*. Manta-Ecuador: Ingeniería Hidráulica Ambiental. Recuperado el 10 de Agosto de 2020
- Ramos, L., Vidal, L., Vilaridy, S., & Saavedra, L. (2017). *Análisis de la contaminación microbiológica (Coliformes Totales y Fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano*. (Vol. III). Santa Martha-Colombia: Editorial Acta Biológica Colombiana. Recuperado el 27 de Agosto de 2020
- Ramos, R. (2018). El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis México. *Plaza y Valdés*, 210.
- Ramos, R., Sepúlveda Marquéz, R., & Villalobos Moreto, F. (2017). *El agua en el medio ambiente: Muestreo y análisis*. (Primera edición ed.). Baja California: Editorial Mixicali: Plaza y Valdés S.A. Recuperado el 26 de Agosto de 2020
- Roldán, P. N. (18 de Marzo de 2018). Modelo matemático. *Revista Economedia haciendo Fácil la Economía*, 50-66. Recuperado el 31 de Agosto de 2020, de <https://economipedia.com/definiciones/modelo-matematico.html>
- Sacha, A. M., & Espinoza, C. (13 de Julio de 2016). Determinación de contenido natural e Índices de calidad: ¿Presente y futuro de calidad de aguas?. *AIDIS*, pp-238-359. Recuperado el 30 de Agosto de 2020
- Samboni, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (14 de Mayo de 2017). Revisión de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investugacion Ambiental*, XXVII(No.3), pp.172-181. Recuperado el 29 de Agosto de 2020
- Sánchez, Ó. (2017). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. *México: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, 98.
- Secretaria del Ambiente. (2019). *Red Metropolitana de Monitoreo Recurso Hídrico -DMQ*. Obtenido de Red Metropolitana de Monitoreo Recurso Hídrico -DMQ: <https://sites.google.com/site/redaguadmq/home>
- Secretaria del Medio Ambiente. (2019). *Descargas de aguas residuales río San pedro*. Quito-Ecuador: Secretaria de Medio Ambiente. Recuperado el 12 de Agosto de 2020, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16821>
- Secretaria Nacional del Agua. (2016). *Estudio Técnico: Análisis de la Calidad del Agua en la subcuenca del río Coca*,. Coca-Ecuador: Secretaria Nacional del Agua. Recuperado el 14 de Agosto de 2020

- Secretaría Nacional del Medio Ambiente. (2020). *Estudio de la Calidad del Agua del río San Pedro*. Ministerio del Medio Ambiente, Secretaría Nacional del Agua, Quito-Ecuador. Recuperado el 23 de Febrero de 2020
- Torres, F. (2017). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico*. Tesis de Posgrado Maestro en Ciencia en Ingeniería Civil, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Mayagüez. Recuperado el 26 de Agosto de 2020
- Torres, P. (2015). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16.
- Tulas. (2018). *Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua*. Quito-Ecuador: Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado el 25 de Agosto de 2020, de <http://www.ambiente.gob.ec>
- Valcarcel, L., Alberro Macías, N., & Frías Fonseca, D. (2017). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los Recursos Hídricos. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, IX(No.16), pp.1-5. Recuperado el 30 de Agosto de 2020
- Valenzuela Cardenas, P. K. (2005). *Aplicación del Modelo Hídrico Swat 99.2 para el análisis del impacto de la deforestación y del avance de la frontera agrícola en la producción y almacenamiento del recurso agua en las partes alta y media de la Subcuenca del Río San Pedro*. INVESTIGACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA GEÓGRAFA Y DEL MEDIO AMBIENTE, Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Sangolquí-Ecuador. Recuperado el 10 de Agosto de 2020, de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/777>
- Wagenet, R., & Hutson, J. (2009). Eachingestimation and chemistry model: a process basedmodel of water and solute movement, transformation,plant uptake and chemical reaction in the unsaturatedzone. *SCIELO*, 72p.
- Yungán, J. (2018). Estudio de la calidad de agua en los afluentes de la microcuenca del río Blanco para determinar las causas de la degradación y alternativas de manejo.Ecuador. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.*, 148.
- Zagato, P. (10 de May de 2015). Proposal for a new water quality index. Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie. *Verhandlungen*, XXVI(No.5), pp.2449-2451. Recuperado el 28 de Agust de 2020

ANEXOS

ANEXO 1
AVAL DE INGLÉS



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor egresado de la Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales: **Pilalumbo Armas Jonathan Javier** cuyo título versa “**ESTUDIO DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO SAN PEDRO, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERÍODO 2013-2019**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Latacunga, octubre del 2020

Atentamente,

MCs. Emma Jackeline Herera Lasluisa
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0502277031



ANEXO 2

TABLA DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL RÍO SAN PEDRO COMPARADOS CON PARÁMETROS DE DIFERENTES ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA

Parámetros del río Guayllabamba	Unidad	ICA NSF 1970	ICA Dinius 1987	ICA ROJAS 1991	ICAUCA 2004	UWQI 2007	ISQA 1982
DQO	mg/L						X
DBO	mg/L	X	X	X	X	X	X
SST	mg/L				X		
SDT	mg/L	X		X	X		
CE	uS/cm		X				X
pH		X	X	X	X	X	
Color	UnitPt-Co		X		X		
Temperatura	°C	X	X				X
Al	mg/L						
Tensoactivos	mg/L						
Sulfatos	mg/L						
Aceites y Grasas	mg/L						
TPH	mg/L						
Cn	mg/L					X	
Cd	mg/L					X	
Cu	mg/L						
Cr	mg/L						
Zn	mg/L						
Mn	mg/L						
Ni	mg/L						
Pb	mg/L						
Hg	mg/L					X	
As	mg/L					X	
Turbidez	NTU	X		X	X		
OD	% y mg/L	X	X	X	X	X	
Parámetros no disponibles							
Nitratos		---	---			---	
Coliformes fecales		---	---	---			
Coliformes totales			---		---	---	
Parámetros no disponibles							
Fosfatos		---					
Cloruros			---				
Alcalinidad			---				
Dureza			---				
Nitrógeno Total					---		
Fosforo Total					---	---	
Fluoruro						---	
Selenio						---	
Cumple		6	6	5	7	7	5
No Cumple		3	6	1	3	5	0
Total Parámetros		9	12	6	10	12	5

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

ANEXO 3

BASE DE DATOS INICIAL

Año	Meses	T °C	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)
2013	junio	14,3	35	44	602	7,22
	julio	15,7	16	39	656	7,65
	agosto	15,3	50	106	650	7,14
	septiembre	16,9	8	13	647	8,76
	octubre	13,0	51	70	582	7,09
	noviembre	17,0	27	28	642	7,19
	diciembre	15,8	44	48	638	7,13
2014	enero	17,0	23	40	642	7,19
	febrero	16,6	24	41	690	7,15
	marzo	15,4	52	81	434	7,31
	abril	15,4	42	37	545	
	mayo	15,3	28	66	385	
	junio	15,4	7	31	470	
	julio	15	15	6	592	
	agosto	15,8	0	20	597	
	septiembre	15,7	43	16	400	
	octubre	16,2	22	28	602	
	noviembre	15,9	28	46	573	
2015	junio					
	julio	15,5	6	40	391	
	agosto septiembre					
2016	enero			366		
	febrero	15,9	119		312	6,9
	marzo	19,1	107	94	486	0
	abril	15,9	33	57	548	6,54
	mayo	0	0	50	0	0
	junio	14,6	20	50	619	7,64
	julio	16,6	13	50	779	7,8
	agosto	16,3	14	50	692	7,86
	septiembre	18,1	50	105	613	6,23
	octubre	15,3	22	50	638	6,84
	noviembre	16,9	17	50	697	7,05
2017	enero	14,6	8	50	574	7,52
	febrero	15,9	13	59	540	7,46
	marzo	14,7	16	244	390	7,51
	abril	14,45	62	81	367	7,49
	mayo	15,4	67,2	213	413	7,08
	agosto	16,5	0	42	664	7,77
	septiembre	16,3	0	50	716	7,48
2018	enero	16,9	33	50	609	6,93
	febrero	0	0	0	0	0

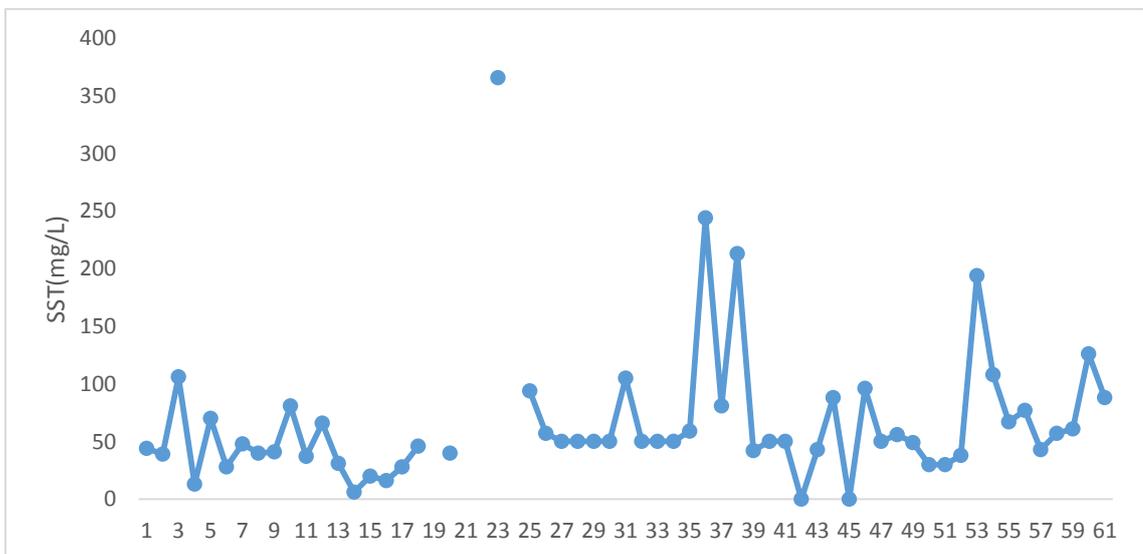
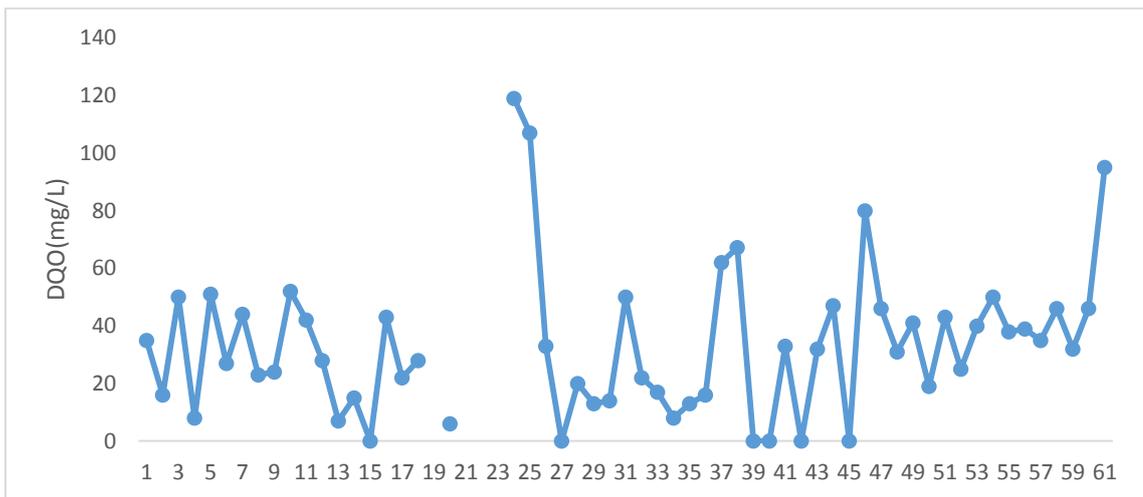
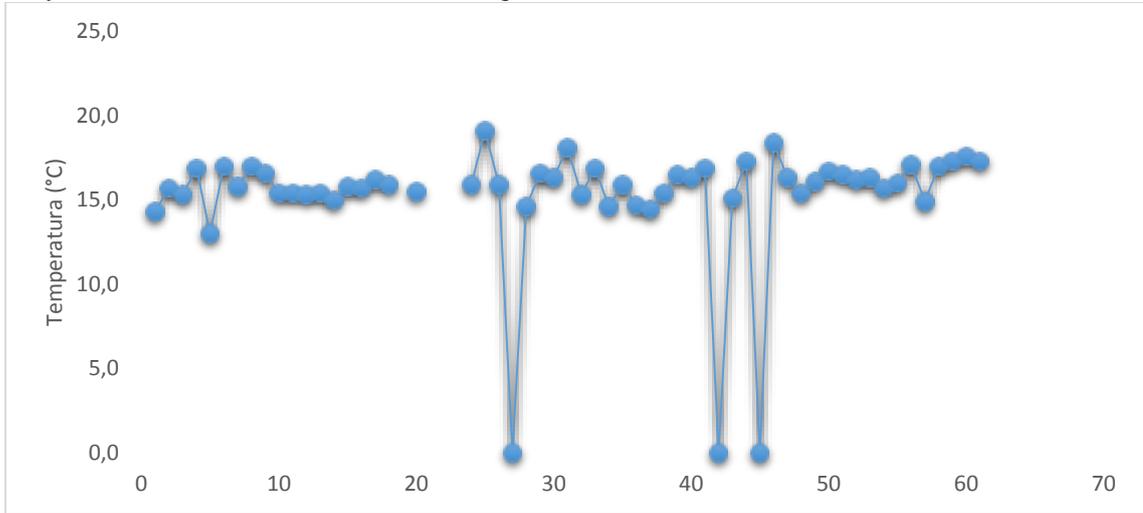
	marzo	15,1	32	43	494	6,88
	abril	17,3	47	88	575	6,41
	mayo	0	0	0	0	0
	junio	18,4	80	96	466	7,4
	julio	16,3	46	50	704	7,78
	agosto	15,4	31	56	676	8,06
	septiembre	16,1	41	49	720	7,33
	octubre	16,7	19	30	742	8,38
	noviembre	16,5	43	30	658	7,67
	diciembre	16,2	25	38	653	7,51
2019	marzo	16,3	40	194	463	7,16
	abril	15,7	50	108	545	7,61
	mayo	16	38	67	497	7,05
	junio	17,1	39	77	480	7,4
	julio	14,9	35	43	686	7,14
	agosto	17	46	57	724	6,32
	septiembre	17,3	32	61	706	6,4
	octubre	17,6	46	126	579	6,61
	noviembre	17,3	95	88	517	6,42

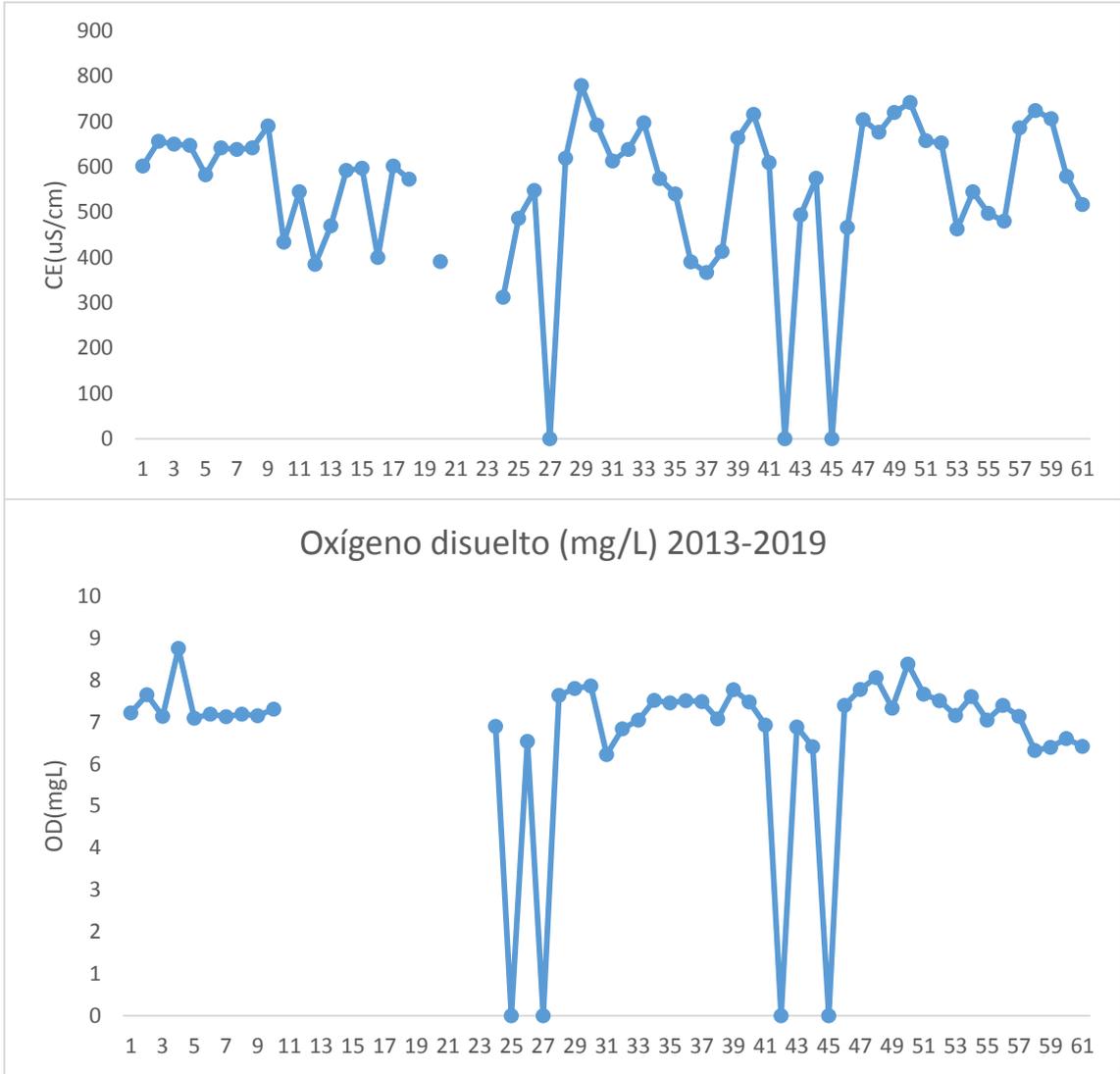
Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

ANEXO 4

GRÁFICAS DE CONTROL DE LOS 5 PARÁMETROS

Gráficas de Control de los Parámetros Fisicoquímicos del Río 2013-2019





Elaboración propia: Jonathan Pilalumbo

ANEXO 5
BASE DE DATOS CONFORMADA

Año	Meses	T (°C)	DQO (mg /L)	SST (mg/ L)	CE (uS/cm)	OD (mg/L)
2016	enero	16,8	95	365,665	422	7,07
	febrero	15,9	119	88	312	6,90
	marzo	19,1	107	94	486	7,11
	abril	15,9	33	57	548	6,54
	mayo	16,8	44	50	598	7,11
	junio	14,6	20	50	619	7,64
	julio	16,6	13	50	779	7,80
	agosto	16,3	14	50	692	7,86
	septiembre	18,1	50	105	613	6,23
	octubre	15,3	22	50	638	6,84
	noviembre	16,9	17	50	697	7,05
	diciembre	16,3	49	50	775	7,12
2017	enero	14,6	8	50	574	7,52
	febrero	15,9	13	59	540	7,46
	marzo	14,7	16	244	390	7,51
	abril	14,5	62	81	367	7,49
	mayo	15,4	67	213	413	7,08
	junio	15,6	38	98	560	7,49
	julio	15,9	41	92	585	7,50
	agosto	16,5	33	42	664	7,77
	septiembre	16,3	33	50	716	7,48
	octubre	16,5	50	75	661	7,54
	noviembre	16,7	53	69	687	7,55
	diciembre	16,9	56	64	712	7,56
2018	enero	16,9	33	50	609	6,93
	febrero	16,7	46	67	552	6,87
	marzo	15,1	32	43	494	6,88
	abril	17,3	47	88	575	6,41
	mayo	16,6	43	59	598	7,20
	junio	18,4	80	96	466	7,40
	julio	16,3	46	50	704	7,78
	agosto	15,4	41	56	676	8,06
	septiembre	16,1	41	49	720	7,33
	octubre	16,7	19	30	742	8,38
	noviembre	16,5	43	30	658	7,67
	diciembre	16,2	25	38	653	7,51
2019	enero	15,4	26	131	479	7,73
	febrero	15,6	30	125	496	7,59
	marzo	16,3	40	194	463	7,16
	abril	15,7	50	108	545	7,61
	mayo	16	38	67	497	7,05
	junio	17,1	39	77	480	7,40
	julio	14,9	35	43	686	7,14
	agosto	17	46	57	724	6,32
	septiembre	17,3	32	61	706	6,40
	octubre	17,6	46	126	579	6,61
	noviembre	17,3	95	88	517	6,42
	diciembre	17,6	64	58	659	6,20

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

ANEXO 6

RESULTADOS DEL ISQA ANUALES 2013-2019

Año	Meses	T °C	DQO (mg /L)	SST (mg/ L)	CE (uS/cm)	OD(mg/L)	
2013	Junio	14,3	35	44	602	7,22	
	Julio	15,7	16	39	656	7,65	
	Agosto	15,3	50	106	650	7,14	
	septiembre	16,9	8	13	647	8,76	
	Octubre	13	51	70	582	7,09	
	PROMEDIO	15	32	54,4	627,4	8	
	ISQA	1	10	16,8	12,4	19	58,9
2016	Junio	14,6	20	50	619	7,64	
	Julio	16,6	13	50	779	7,8	
	Agosto	16,3	14	50	692	7,86	
	septiembre	18,1	50	105	613	6,23	
	Octubre	15,3	22	50	638	6,84	
	PROMEDIO	16,18	23,8	61	668,2	7,274	
	ISQA	1	13	15,9	11,9	18	59,7
2018	Junio	18,4	80	96	466	7,4	
	Julio	16,3	46	50	704	7,78	
	Agosto	15,4	31	56	676	8,06	
	septiembre	16,1	41	49	720	7,33	
	Octubre	16,7	19	30	742	8,38	
	PROMEDIO	16,58	43,4	56,2	661,6	7,79	
	ISQA	1	6	16,6	12	19	54,9
2019	Julio	14,9	35	43	686	7,14	
	Agosto	17	46	57	724	6,32	
	septiembre	17,3	32	61	706	6,4	
	Octubre	17,6	46	126	579	6,61	
	PROMEDIO	16,78	39,6	72,8	635	6,774	
	ISQA	1	7	14,1	12,3	17	51,5

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

RESULTADOS ISQA EPOCA LLUVIOSA 2013-2019

AÑO	PARÁMETROS FISICOQUIMICOS	AGOSTO	SEPTIEMBRE	PROMEDIO	ECUACION
2013	T °C	15,3	16,9	16	1
	DQO (mg /L)	50	8	29	11
	SST (mg /L)	106	13	60	16
	CE (uS/cm)	650	647	649	12
	OD (mg /L)	7,14	8,76	8	20
ISQA					60
2016	T °C	16,3	18,1	17	1
	DQO (mg /L)	14	50	32	10
	SST (mg /L)	50	105	78	13
	CE (uS/cm)	692	613	653	12
	OD (mg /L)	7,86	6,23	7	18
ISQA					54
2018	T °C	15,4	16,1	16	1
	DQO (mg /L)	31	41	36	8
	SST (mg /L)	56	49	53	17
	CE (uS/cm)	676	720	698	12
	OD (mg /L)	8,06	7,33	7,70	19
ISQA					57
2019	T °C	17	17,3	17	1
	DQO (mg /L)	46	32	39	7
	SST (mg /L)	57	61	59	16
	CE (uS/cm)	724	706	715,0	11
	OD (mg /L)	6,32	6,4	6,4	16
ISQA					52

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

.../

RESULTADO DEL ISQA ÉPOCA SECA PERIODO 2013-2019

AÑO	PARÁMETORS FISICOQUÍMICOS	JUNIO	JULIO	PROMEDIO	ECUACIÓN
2013	T °C	14,3	15,7	15	1
	DQO (mg /L)	35	16	26	12
	SST (mg /L)	44	39	42	19
	CE (uS/cm)	602	656	629	12
	OD (mg /L)	7,22	7,65	7,4	19
ISQA					63
2016	T °C	14,6	16,6	16	1
	DQO (mg /L)	20	13	17	15
	SST (mg /L)	50	50	50	18
	CE (uS/cm)	619	779	699	12
	OD (mg /L)	7,64	7,8	7,72	19
ISQA					65
2018	T °C	18,4	16,3	17	1
	DQO (mg /L)	80	46	63	0
	SST (mg /L)	96	50	73	14
	CE (uS/cm)	466	704	585	13
	OD (mg /L)	7,4	7,78	7,59	19
ISQA					46,9
2019	T °C	17,1	14,9	16	1
	DQO (mg /L)	39	35	37	8
	SST (mg /L)	77	43	60	16
	CE (uS/cm)	480	686	583	13
	OD (mg /L)	7,4	7,14	7,27	18
ISQA					56

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

ANEXO 7

MÉTODO MATEMÁTICO DE DESCOMPOSICIÓN DE SERIES DE TIEMPO

Método de Descomposición de Series de Tiempo de Temperatura

Año	Meses	y	T (°C)	Índice estacional	T/I. Est	Yt=16,105 +0,0092×t	Ajuste
2016	Enero	1	16,8	0,96037	16,2922612	16,2591	15,6465678
	Febrero	2	15,9	1,00470	16,2942466	16,25128	16,3708271
	Marzo	3	19,1	0,93782	16,2962319	16,28072	15,2829848
	Abril	4	15,9	0,96942	16,2982173	16,25128	15,7998939
	Mayo	5	16,8	0,98366	16,3002026	16,259192	16,0338943
	Junio	6	14,6	1,04545	16,302188	16,23932	17,043053
	Julio	7	16,6	1,00448	16,3041734	16,25772	16,3772785
	Agosto	8	16,3	0,99961	16,3061587	16,25496	16,2997304
	Septiembre	9	18,1	1,01853	16,3081441	16,27152	16,6104115
	Octubre	10	15,3	1,02303	16,3101294	16,24576	16,6857876
	Noviembre	11	16,9	1,02549	16,3121148	16,26048	16,7279599
	Diciembre	12	16,3	1,02743	16,3141001	16,255328	16,7615398
2017	Enero	13	14,6	0,96037	16,3160855	16,23932	15,6694479
	Febrero	14	15,9	1,00470	16,3180709	16,25128	16,3947633
	Marzo	15	14,7	0,93782	16,3200562	16,24024	15,3053278
	Abril	16	14,5	0,96942	16,3220416	16,23794	15,8229898
	Mayo	17	15,4	0,98366	16,3240269	16,24668	16,0573294
	Junio	18	15,6	1,04545	16,3260123	16,24852	17,06796
	Julio	19	15,9	1,00448	16,3279976	16,25128	16,4012096
	Agosto	20	16,5	0,99961	16,329983	16,2568	16,3235453
	Septiembre	21	16,3	1,01853	16,3319684	16,25496	16,6346774
	Octubre	22	16,5	1,02303	16,3339537	16,256892	16,7101606
	Noviembre	23	16,7	1,02549	16,3359391	16,258824	16,7523916
	Diciembre	24	16,9	1,02743	16,3379244	16,260664	16,7860175
2018	Enero	25	16,9	0,96037	16,3399098	16,26048	15,692328
	Febrero	26	16,7	1,00470	16,3418951	16,25818	16,4186996
	Marzo	27	15,1	0,93782	16,3438805	16,24392	15,3276707
	Abril	28	17,3	0,96942	16,3458659	16,26416	15,8460856
	Mayo	29	16,6	0,98366	16,3478512	16,25726	16,0807644
	Junio	30	18,4	1,04545	16,3498366	16,27428	17,092867
	Julio	31	16,3	1,00448	16,3518219	16,25496	16,4251407
	Agosto	32	15,4	0,99961	16,3538073	16,24668	16,3473602
	Septiembre	33	16,1	1,01853	16,3557926	16,25312	16,6589433
	Octubre	34	16,7	1,02303	16,357778	16,25864	16,7345336
	Noviembre	35	16,5	1,02549	16,3597634	16,2568	16,7768232
	Diciembre	36	16,2	1,02743	16,3617487	16,25404	16,8104953

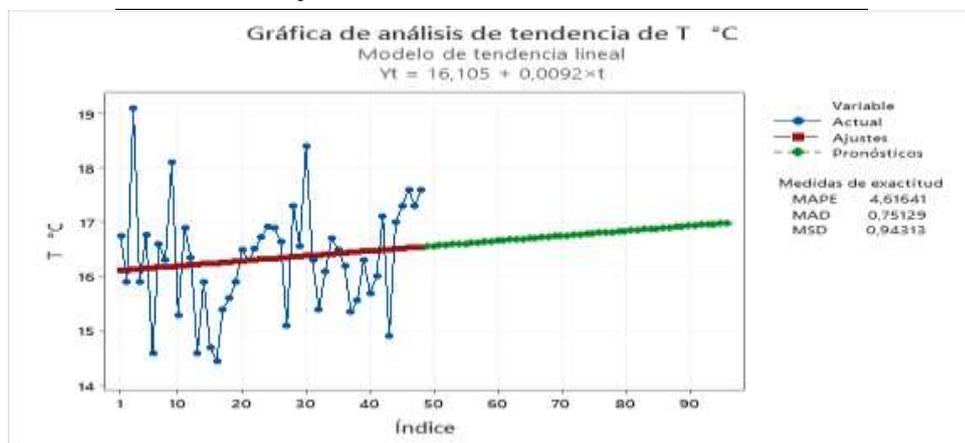
2019	Enero	37	15,4	0,96037	16,3637341	16,24622	15,7152081
	Febrero	38	15,6	1,00470	16,3657194	16,248152	16,4426358
	Marzo	39	16,3	0,93782	16,3677048	16,25496	15,3500137
	Abril	40	15,7	0,96942	16,3696901	16,24944	15,8691815
	Mayo	41	16,0	0,98366	16,3716755	16,2522	16,1041995
	Junio	42	17,1	1,04545	16,3736609	16,26232	17,117774
	Julio	43	14,9	1,00448	16,3756462	16,24208	16,4490719
	Agosto	44	17,0	0,99961	16,3776316	16,2614	16,3711751
	Septiembre	45	17,3	1,01853	16,3796169	16,26416	16,6832092
	Octubre	46	17,6	1,02303	16,3816023	16,26692	16,7589066
	Noviembre	47	17,3	1,02549	16,3835876	16,26416	16,8012549
	Diciembre	48	17,6	1,02743	16,385573	16,266828	16,834973

Año	Meses	y	T (°C)	Índice estacional	T/I.Est	Yt = 16,105 + 0,0092xt	Pronóstico
2020	Enero	49	16,8	0,96037		16,259	15,7381
	Febrero	50	15,9	1,00470		16,251	16,4666
	Marzo	51	19,1	0,93782		16,281	15,3724
	Abril	52	15,9	0,96942		16,251	15,8923
	Mayo	53	16,8	0,98366		16,259	16,1276
	Junio	54	14,6	1,04545		16,239	17,1427
	Julio	55	16,6	1,00448		16,258	16,473
	Agosto	56	16,3	0,99961		16,255	16,395
	Septiembre	57	18,1	1,01853		16,272	16,7075
	Octubre	58	15,3	1,02303		16,246	16,7833
	Noviembre	59	16,9	1,02549		16,260	16,8257
	Diciembre	60	16,3	1,02743		16,255	16,8595
2021	Enero	61	14,6	0,96037		16,239	15,761
	Febrero	62	15,9	1,00470		16,251	16,4905
	Marzo	63	14,7	0,93782		16,240	15,3947
	Abril	64	14,5	0,96942		16,238	15,9154
	Mayo	65	15,4	0,98366		16,247	16,1511
	Junio	66	15,6	1,04545		16,249	17,1676
	Julio	67	15,9	1,00448		16,251	16,4969
	Agosto	68	16,5	0,99961		16,257	16,4188
	Septiembre	69	16,3	1,01853		16,255	16,7317
	Octubre	70	16,5	1,02303		16,257	16,8077
	Noviembre	71	16,7	1,02549		16,259	16,8501
	Diciembre	72	16,9	1,02743		16,261	16,8839
2022	Enero	73	16,9	0,96037		16,260	15,7838
	Febrero	74	16,7	1,00470		16,258	16,5144
	Marzo	75	15,1	0,93782		16,244	15,417
	Abril	76	17,3	0,96942		16,264	15,9385
	Mayo	77	16,6	0,98366		16,257	16,1745

	Junio	78	18,4	1,04545	16,274	17,1925
	Julio	79	16,3	1,00448	16,255	16,5209
	Agosto	80	15,4	0,99961	16,247	16,4426
	Septiembre	81	16,1	1,01853	16,253	16,756
	Octubre	82	16,7	1,02303	16,259	16,832
	Noviembre	83	16,5	1,02549	16,257	16,8745
	Diciembre	84	16,2	1,02743	16,254	16,9084
2023	Enero	85	15,4	0,96037	16,246	15,8067
	Febrero	86	15,6	1,00470	16,248	16,5384
	Marzo	87	16,3	0,93782	16,255	15,4394
	Abril	88	15,7	0,96942	16,249	15,9616
	Mayo	89	16,0	0,98366	16,252	16,1979
	Junio	90	17,1	1,04545	16,262	17,2174
	Julio	91	14,9	1,00448	16,242	16,5448
	Agosto	92	17,0	0,99961	16,261	16,4664
	Septiembre	93	17,3	1,01853	16,264	16,7803
	Octubre	94	17,6	1,02303	16,267	16,8564
	Noviembre	95	17,3	1,02549	16,264	16,899
	Diciembre	96	17,6	1,02743	16,267	16,9329

Índices estacionales

PROMEDIO	16,39864167	
promedio 1	15,7381	0,96037
promedio 2	16,4666	1,00470
promedio 3	15,3724	0,93782
promedio 4	15,8923	0,96942
promedio 5	16,1276	0,98366
promedio 6	17,1427	1,04545
promedio 7	16,473	1,00448
promedio 8	16,395	0,99961
promedio 9	16,7075	1,01853
promedio 10	16,7833	1,02303
promedio 11	16,8257	1,02549
promedio 12	16,8595	1,02743



T (°C)	Ajustes	MAPE	MAD	MSD
16,8	15,6465678	0,070522317	1,10343	1,21756
15,9	16,3708271	0,028760126	0,47083	0,22168
19,1	15,2829848	0,249755873	3,81702	14,56961
15,9	15,7998939	0,006335869	0,10011	0,01002
16,8	16,0338943	0,045285671	0,72611	0,52723
14,6	17,043053	0,143345972	2,44305	5,96851
16,6	16,3772785	0,01359942	0,22272	0,0496
16,3	16,2997304	1,65E-05	0,00027	0
18,1	16,6104115	0,089677998	1,48959	2,21887
15,3	16,6857876	0,083051972	1,38579	1,92041
16,9	16,7279599	0,010284581	0,17204	0,0296
16,3	16,7615398	0,025149231	0,42154	0,1777
14,6	15,6694479	0,068250514	1,06945	1,14372
15,9	16,3947633	0,030178131	0,49476	0,24479
14,7	15,3053278	0,039550134	0,60533	0,36642
14,5	15,8229898	0,086771831	1,37299	1,8851
15,4	16,0573294	0,040936408	0,65733	0,43208
15,6	17,06796	0,086006764	1,46796	2,15491
15,9	16,4012096	0,030559309	0,50121	0,25121
16,5	16,3235453	0,010809826	0,17645	0,03114
16,3	16,6346774	0,020119261	0,33468	0,11201
16,5	16,7101606	0,011978376	0,20016	0,04006
16,7	16,7523916	0,00193355	0,03239	0,00105
16,9	16,7860175	0,007981789	0,13398	0,01795
16,9	15,692328	0,076959393	1,20767	1,45847
16,7	16,4186996	0,014087622	0,23130	0,0535
15,1	15,3276707	0,014853577	0,22767	0,05183
17,3	15,8460856	0,091752271	1,45391	2,11387
16,6	16,0807644	0,029179928	0,46924	0,22018
18,4	17,092867	0,076472425	1,30713	1,7086
16,3	16,4251407	0,007618854	0,12514	0,01566
15,4	16,3473602	0,057951878	0,94736	0,89749
16,1	16,6589433	0,033552145	0,55894	0,31242
16,7	16,7345336	0,002063613	0,03453	0,00119
16,5	16,7768232	0,016500336	0,27682	0,07663
16,2	16,8104953	0,036316316	0,61050	0,3727
15,4	15,7152081	0,023239148	0,36521	0,13338
15,6	16,4426358	0,053679705	0,88264	0,77905
16,3	15,3500137	0,061888303	0,94999	0,90247
15,7	15,8691815	0,01066101	0,16918	0,02862
16	16,1041995	0,006470331	0,10420	0,01086
17,1	17,117774	0,001038336	0,01777	0,00032
14,9	16,4490719	0,094173816	1,54907	2,39962
17	16,3711751	0,038410491	0,62882	0,39542
17,3	16,6832092	0,036970756	0,61679	0,38043
17,6	16,7589066	0,050187844	0,84109	0,70744
17,3	16,8012549	0,029684993	0,49875	0,24875
17,6	16,834973	0,044848723	0,75503	0,57007

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

Medidas de exactitud

MAPE 4,36296

MAD 0,71308

MSD 0,98813

ANEXO 8

MÉTODO DE DESCOMPOSICIÓN DE SERIES DE TIEMPO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

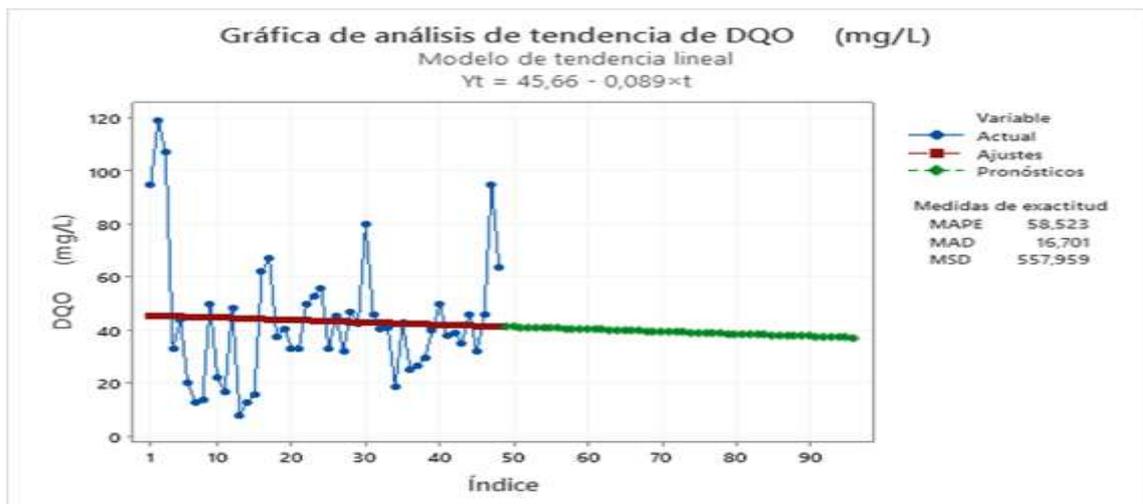
Año	Meses	y	DQO (mg/L)	Índice estacional	DQO (mg/L)/I. Est	Y=45,66- 0,0089X	Ajuste
2016	Enero	1	95	-11,1214331	43,49282828	37,2308	32,371395
	Febrero	2	119	-4,33254419	43,49282828	35,0690	39,160284
	Marzo	3	107	-13,287822	43,49282828	36,1370	30,205006
	Abril	4	33	15,21023359	43,49282828	42,7230	58,703062
	Mayo	5	44	0,05467803	43,49282828	41,7538	43,547506
	Junio	6	20	0,327354798	43,49282828	43,8800	43,820183
	Julio	7	13	2,052733586	43,49282828	44,5030	45,545562
	Agosto	8	14	-7,72393308	43,49282828	44,4140	35,768895
	Septiembre	9	50	2,88967803	43,49282828	41,2100	46,382506
	Octubre	10	22	-2,46219066	43,49282828	43,7020	41,030638
	Noviembre	11	17	4,501344697	43,49282828	44,1470	47,994173
	Diciembre	12	49	13,89190025	43,49282828	41,3427	57,384729
2017	Enero	13	8	-11,1214331	43,49282828	44,9480	32,371395
	Febrero	14	13	-4,33254419	43,49282828	44,5030	39,160284
	Marzo	15	16	-13,287822	43,49282828	44,2360	30,205006
	Abril	16	62	15,21023359	43,49282828	40,1420	58,703062
	Mayo	17	67	0,05467803	43,49282828	39,6792	43,547506
	Junio	18	38	0,327354798	43,49282828	42,3189	43,820183
	Julio	19	41	2,052733586	43,49282828	42,0448	45,545562
	Agosto	20	33	-7,72393308	43,49282828	42,7016	35,768895
	Septiembre	21	33	2,88967803	43,49282828	42,7016	46,382506
	Octubre	22	50	-2,46219066	43,49282828	41,2225	41,030638
	Noviembre	23	53	4,501344697	43,49282828	40,9483	47,994173
	Diciembre	24	56	13,89190025	43,49282828	40,6742	57,384729
2018	Enero	25	33	-11,1214331	43,49282828	42,7230	32,371395
	Febrero	26	46	-4,33254419	43,49282828	41,6087	39,160284
	Marzo	27	32	-13,287822	43,49282828	42,8120	30,205006
	Abril	28	47	15,21023359	43,49282828	41,4770	58,703062
	Mayo	29	43	0,05467803	43,49282828	41,8615	43,547506
	Junio	30	80	0,327354798	43,49282828	38,5400	43,820183
	Julio	31	46	2,052733586	43,49282828	41,5660	45,545562
	Agosto	32	41	-7,72393308	43,49282828	42,0407	35,768895
	Septiembre	33	41	2,88967803	43,49282828	42,0110	46,382506
	Octubre	34	19	-2,46219066	43,49282828	43,9690	41,030638
	Noviembre	35	43	4,501344697	43,49282828	41,8330	47,994173
	Diciembre	36	25	13,89190025	43,49282828	43,4350	57,384729
2019	Enero	37	26	-11,1214331	43,49282828	43,3042	32,371395
	Febrero	38	30	-4,33254419	43,49282828	43,0025	39,160284
	Marzo	39	40	-13,287822	43,49282828	42,1000	30,205006
	Abril	40	50	15,21023359	43,49282828	41,2100	58,703062
	Mayo	41	38	0,05467803	43,49282828	42,2780	43,547506
	Junio	42	39	0,327354798	43,49282828	42,1890	43,820183
	Julio	43	35	2,052733586	43,49282828	42,5450	45,545562
	Agosto	44	46	-7,72393308	43,49282828	41,5660	35,768895
	Septiembre	45	32	2,88967803	43,49282828	42,8120	46,382506
	Octubre	46	46	-2,46219066	43,49282828	41,5660	41,030638
	Noviembre	47	95	4,501344697	43,49282828	37,2050	47,994173
	Diciembre	48	64	13,89190025	43,49282828	39,9916	57,384729

Año	Meses	y	DQO (mg/L)	Índice estacional	DQO (mg/L)/I. Est	Yt = 16,105 + 0,0092xt	Pronóstico
2020	Enero	49		-11,1214331		37,2308	32,3713952
	Febrero	50		-4,33254419		35,0690	39,1602841
	Marzo	51		-13,287822		36,1370	30,2050063
	Abril	52		15,21023359		42,7230	58,7030619
	Mayo	53		0,05467803		41,7538	43,5475063
	Junio	54		0,327354798		43,8800	43,8201831
	Julio	55		2,052733586		44,5030	45,5455619
	Agosto	56		-7,72393308		44,4140	35,7688952
	Septiembre	57		2,88967803		41,2100	46,3825063
	Octubre	58		-2,46219066		43,7020	41,0306376
	Noviembre	59		4,501344697		44,1470	47,994173
	Diciembre	60		13,89190025		41,3427	57,3847285
2021	Enero	61		-11,1214331		44,9480	32,3713952
	Febrero	62		-4,33254419		44,5030	39,1602841
	Marzo	63		-13,287822		44,2360	30,2050063
	Abril	64		15,21023359		40,1420	58,7030619
	Mayo	65		0,05467803		39,6792	43,5475063
	Junio	66		0,327354798		42,3189	43,8201831
	Julio	67		2,052733586		42,0448	45,5455619
	Agosto	68		-7,72393308		42,7016	35,7688952
	Septiembre	69		2,88967803		42,7016	46,3825063
	Octubre	70		-2,46219066		41,2225	41,0306376
	Noviembre	71		4,501344697		40,9483	47,994173
	Diciembre	72		13,89190025		40,6742	57,3847285
2022	Enero	73		-11,1214331		42,7230	32,3713952
	Febrero	74		-4,33254419		41,6087	39,1602841
	Marzo	75		-13,287822		42,8120	30,2050063
	Abril	76		15,21023359		41,4770	58,7030619
	Mayo	77		0,05467803		41,8615	43,5475063
	Junio	78		0,327354798		38,5400	43,8201831
	Julio	79		2,052733586		41,5660	45,5455619
	Agosto	80		-7,72393308		42,0407	35,7688952
	Septiembre	81		2,88967803		42,0110	46,3825063
	Octubre	82		-2,46219066		43,9690	41,0306376
	Noviembre	83		4,501344697		41,8330	47,994173
	Diciembre	84		13,89190025		43,4350	57,3847285
2023	Enero	85		-11,1214331		43,3042	32,3713952
	Febrero	86		-4,33254419		43,0025	39,1602841
	Marzo	87		-13,287822		42,1000	30,2050063
	Abril	88		15,21023359		41,2100	58,7030619
	Mayo	89		0,05467803		42,2780	43,5475063
	Junio	90		0,327354798		42,1890	43,8201831
	Julio	91		2,052733586		42,5450	45,5455619
	Agosto	92		-7,72393308		41,5660	35,7688952
	Septiembre	93		2,88967803		42,8120	46,3825063
	Octubre	94		-2,46219066		41,5660	41,0306376
	Noviembre	95		4,501344697		37,2050	47,994173
	Diciembre	96		13,89190025		39,9916	57,3847285

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

Índices estacionales		
PROMEDIO	43,49282828	
promedio 1	32,3713952	-11,1214331
promedio 2	39,1602841	-4,33254419
promedio 3	30,2050063	-13,287822
promedio 4	58,7030619	15,2102336
promedio 5	43,5475063	0,05467803
promedio 6	43,8201831	0,3273548
promedio 7	45,5455619	2,05273359
promedio 8	35,7688952	-7,72393308
promedio 9	46,3825063	2,88967803
promedio 10	41,0306376	-2,46219066
promedio 11	47,994173	4,5013447
promedio 12	57,3847285	13,8919003

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo



ANEXO 9

MÉTODO DE DESCOMPOSICIÓN DE SERIES DE TIEMPO DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

DQO (mg/L)	Ajuste	MAPE	MAD	MSD
95	32,371395	1,92573	62,33860	3886,10165
119	39,160284	2,03879	79,83972	6374,38024
107	30,205006	2,54246	76,79499	5897,47106
33	58,703062	0,43785	-25,70306	660,64739
44	43,547506	0,00786	0,34249	0,11730
20	43,820183	0,54359	-23,82018	567,40112
13	45,545562	0,71457	-32,54556	1059,21360
14	35,768895	0,60860	-21,76890	473,88480
50	46,382506	0,07799	3,61749	13,08626
22	41,030638	0,46382	-19,03064	362,16517
17	47,994173	0,64579	-30,99417	960,63876
49	57,384729	0,15467	-8,87564	78,77694
8	32,371395	0,75287	-24,37140	593,96490
13	39,160284	0,66803	-26,16028	684,36046
16	30,205006	0,47029	-14,20501	201,78220
62	58,703062	0,05616	3,29694	10,86980
67	43,547506	0,54314	23,65249	559,44046
38	43,820183	0,14332	-6,28018	39,44070
41	45,545562	0,10815	-4,92556	24,26116
33	35,768895	0,07070	-2,52890	6,39531
33	46,382506	0,28335	-13,14251	172,72547
50	41,030638	0,21519	8,82936	77,95764
53	47,994173	0,10305	4,94583	24,46120
56	57,384729	0,02378	-1,36473	1,86248
33	32,371395	0,01942	0,62860	0,39514
46	39,160284	0,16240	6,35972	40,44599
32	30,205006	0,05943	1,79499	3,22200
47	58,703062	0,19936	-11,70306	136,96166
43	43,547506	0,01992	-0,86751	0,75257
80	43,820183	0,82564	36,17982	1308,97915
46	45,545562	0,00998	0,45444	0,20651
41	35,768895	0,13693	4,89777	23,98817
41	46,382506	0,11605	-5,38251	28,97137
19	41,030638	0,53693	-22,03064	485,34899
43	47,994173	0,10406	-4,99417	24,94176
25	57,384729	0,56434	-32,38473	1048,77064
26	32,371395	0,18230	-5,90140	34,82647
30	39,160284	0,23749	-9,30028	86,49528
40	30,205006	0,32428	9,79499	95,94190
50	58,703062	0,14826	-8,70306	75,74329
38	43,547506	0,12739	-5,54751	30,77483
39	43,820183	0,11000	-4,82018	23,23416
35	45,545562	0,23154	-10,54556	111,20888
46	35,768895	0,28603	10,23110	104,67551
32	46,382506	0,31008	-14,38251	206,85649
46	41,030638	0,12111	4,96936	24,69456
95	47,994173	0,97941	47,00583	2209,54777
64	57,384729	0,10988	6,30527	39,75645

Medidas de exactitud

MAPE 52,292

MAD 16,345

MSD 601,628

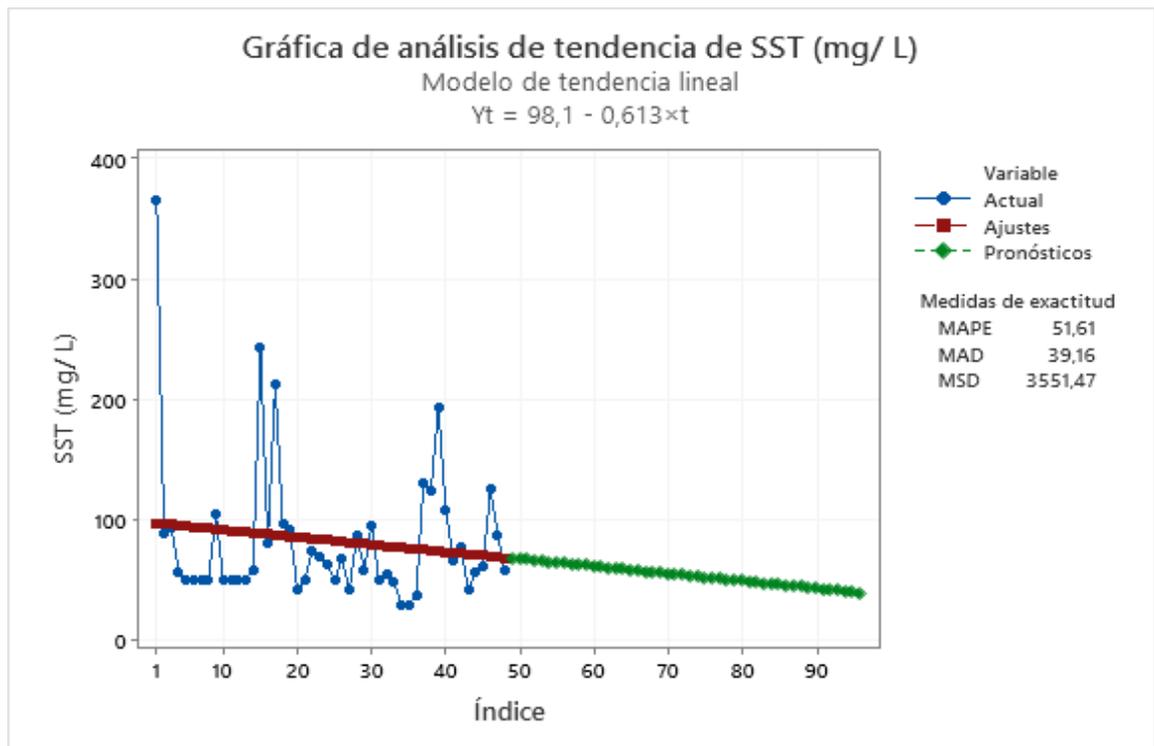
Año	Meses	y	SST (mg/L)	Índice estacional	SST (mg/L)/L. Est	Yt=98,10,613X	Ajuste
2016	Enero	1	365,665	-14,150857	-25,8404844	322,2526	68,9203551
	Febrero	2	88	4,449559659	19,85211764	152,2482	87,5207718
	Marzo	3	94	114,7620597	0,819086031	155,7220	197,833272
	Abril	4	57	24,26205966	2,349347121	133,0410	107,333272
	Mayo	5	50	0,829142992	60,30322931	128,7500	83,9003551
	Junio	6	50	3,746226326	13,34676436	128,7500	86,8174384
	Julio	7	50	-7,73210701	-6,46654268	128,7500	75,3391051
	Agosto	8	50	-10,4468229	-4,78614411	128,7500	72,6243892
	Septiembre	9	105	-23,1912737	-4,52756504	162,4650	59,8799384
	Octubre	10	50	-22,724607	-2,20025807	128,7500	60,3466051
	Noviembre	11	50	-30,5162737	-1,63847004	128,7500	52,5549384
	Diciembre	12	50	-39,287107	-1,27268215	128,7500	43,7841051
2017	Enero	13	50	-14,150857	-3,5333549	128,7500	68,9203551
	Febrero	14	59	4,449559659	13,25973906	134,2670	87,5207718
	Marzo	15	244	114,7620597	2,126138209	247,6720	197,833272
	Abril	16	81	24,26205966	3,338545908	147,7530	107,333272
	Mayo	17	213	0,829142992	256,8917568	228,6690	83,9003551
	Junio	18	98	3,746226326	26,0261905	157,8675	86,8174384
	Julio	19	92	-7,73210701	-11,8790389	154,4041	75,3391051
	Agosto	20	42	-10,4468229	-4,02036105	123,8460	72,6243892
	Septiembre	21	50	-23,1912737	-2,15598335	128,7500	59,8799384
	Octubre	22	75	-22,724607	-3,29686669	144,0260	60,3466051
	Noviembre	23	69	-30,5162737	-2,26993639	140,5625	52,5549384
	Diciembre	24	64	-39,287107	-1,61936077	137,0991	43,7841051
2018	Enero	25	50	-14,150857	-3,5333549	128,7500	68,9203551
	Febrero	26	67	4,449559659	15,15655597	139,4407	87,5207718
	Marzo	27	43	114,7620597	0,374688291	124,4590	197,833272
	Abril	28	88	24,26205966	3,627062221	152,0440	107,333272
	Mayo	29	59	0,829142992	71,08544671	134,2302	83,9003551
	Junio	30	96	3,746226326	25,62578757	156,9480	86,8174384
	Julio	31	50	-7,73210701	-6,46654268	128,7500	75,3391051
	Agosto	32	56	-10,4468229	-5,36048141	132,4280	72,6243892
	Septiembre	33	49	-23,1912737	-2,11286369	128,1370	59,8799384
	Octubre	34	30	-22,724607	-1,32015484	116,4900	60,3466051
	Noviembre	35	30	-30,5162737	-0,98308202	116,4900	52,5549384
	Diciembre	36	38	-39,287107	-0,96723844	121,3940	43,7841051
2019	Enero	37	131	-14,150857	-9,28707003	178,6605	68,9203551
	Febrero	38	125	4,449559659	28,03423475	174,5656	87,5207718
	Marzo	39	194	114,7620597	1,69045415	217,0220	197,833272
	Abril	40	108	24,26205966	4,451394544	164,3040	107,333272
	Mayo	41	67	0,829142992	80,80632727	139,1710	83,9003551
	Junio	42	77	3,746226326	20,55401711	145,3010	86,8174384
	Julio	43	43	-7,73210701	-5,56122671	124,4590	75,3391051
	Agosto	44	57	-10,4468229	-5,45620429	133,0410	72,6243892
	Septiembre	45	61	-23,1912737	-2,63029969	135,4930	59,8799384
	Octubre	46	126	-22,724607	-5,54465034	175,3380	60,3466051
	Noviembre	47	88	-30,5162737	-2,88370726	152,0440	52,5549384
	Diciembre	48	58	-39,287107	-1,46918428	133,4824	43,7841051

Año	Meses	y	SST (mg/L)	Índice estacional	SST (mg/L)/I. Est	Yt=16,105 +0,0092×t	Pronóstico
2020	Enero	49		-14,150857		322,2526	68,9203551
	Febrero	50		4,449559659		152,2482	87,5207718
	Marzo	51		114,7620597		155,7220	197,833272
	Abril	52		24,26205966		133,0410	107,333272
	Mayo	53		0,829142992		128,7500	83,9003551
	Junio	54		3,746226326		128,7500	86,8174384
	Julio	55		-7,73210701		128,7500	75,3391051
	Agosto	56		-10,4468229		128,7500	72,6243892
	Septiembre	57		-23,1912737		162,4650	59,8799384
	Octubre	58		-22,724607		128,7500	60,3466051
	Noviembre	59		-30,5162737		128,7500	52,5549384
	Diciembre	60		-39,287107		128,7500	43,7841051
2021	Enero	61		-14,150857		128,7500	68,9203551
	Febrero	62		4,449559659		134,2670	87,5207718
	Marzo	63		114,7620597		247,6720	197,833272
	Abril	64		24,26205966		147,7530	107,333272
	Mayo	65		0,829142992		228,6690	83,9003551
	Junio	66		3,746226326		157,8675	86,8174384
	Julio	67		-7,73210701		154,4041	75,3391051
	Agosto	68		-10,4468229		123,8460	72,6243892
	Septiembre	69		-23,1912737		128,7500	59,8799384
	Octubre	70		-22,724607		144,0260	60,3466051
	Noviembre	71		-30,5162737		140,5625	52,5549384
	Diciembre	72		-39,287107		137,0991	43,7841051
2022	Enero	73		-14,150857		128,7500	68,9203551
	Febrero	74		4,449559659		139,4407	87,5207718
	Marzo	75		114,7620597		124,4590	197,833272
	Abril	76		24,26205966		152,0440	107,333272
	Mayo	77		0,829142992		134,2302	83,9003551
	Junio	78		3,746226326		156,9480	86,8174384
	Julio	79		-7,73210701		128,7500	75,3391051
	Agosto	80		-10,4468229		132,4280	72,6243892
	Septiembre	81		-23,1912737		128,1370	59,8799384
	Octubre	82		-22,724607		116,4900	60,3466051
	Noviembre	83		-30,5162737		116,4900	52,5549384
	Diciembre	84		-39,287107		121,3940	43,7841051
2023	Enero	85		-14,150857		178,6605	68,9203551
	Febrero	86		4,449559659		174,5656	87,5207718
	Marzo	87		114,7620597		217,0220	197,833272
	Abril	88		24,26205966		164,3040	107,333272
	Mayo	89		0,829142992		139,1710	83,9003551
	Junio	90		3,746226326		145,3010	86,8174384
	Julio	91		-7,73210701		124,4590	75,3391051
	Agosto	92		-10,4468229		133,0410	72,6243892
	Septiembre	93		-23,1912737		135,4930	59,8799384
	Octubre	94		-22,724607		175,3380	60,3466051
	Noviembre	95		-30,5162737		152,0440	52,5549384
	Diciembre	96		-39,287107		133,4824	43,7841051

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

Índices estacionales			
PROMEDIO	83,07121212		
promedio 1	68,9203551	-14,150857	
promedio 2	87,5207718	4,44955966	
promedio 3	197,833272	114,76206	
promedio 4	107,333272	24,2620597	
promedio 5	83,9003551	0,82914299	
promedio 6	86,8174384	3,74622633	
promedio 7	75,3391051	7,73210701	
promedio 8	72,6243892	10,4468229	
promedio 9	59,8799384	23,1912737	
promedio 10	60,3466051	-22,724607	
promedio 11	52,5549384	30,5162737	
promedio 12	43,7841051	-39,287107	

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo



Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

SST (mg/L)	Ajuste	MAPE	MAD	MSD
365,665	68,9203551	4,30562	296,74464	88057,38427
88	87,5207718	0,00928	0,81241	0,66001
94	197,833272	0,52485	-103,83327	10781,34833
57	107,333272	0,46894	-50,33327	2533,43825
50	83,9003551	0,40405	-33,90036	1149,23408
50	86,8174384	0,42408	-36,81744	1355,52377
50	75,3391051	0,33633	-25,33911	642,07025
50	72,6243892	0,31153	-22,62439	511,86299
105	59,8799384	0,75351	45,12006	2035,81995
50	60,3466051	0,17145	-10,34661	107,05224
50	52,5549384	0,04861	-2,55494	6,52771
50	43,7841051	0,14197	6,21589	38,63735
50	68,9203551	0,27452	-18,92036	357,97984
59	87,5207718	0,32587	-28,52077	813,43442
244	197,833272	0,23336	46,16673	2131,36679
81	107,333272	0,24534	-26,33327	693,44120
213	83,9003551	1,53873	129,09964	16666,71831
98	86,8174384	0,12305	10,68256	114,11712
92	75,3391051	0,21915	16,51089	272,60965
42	72,6243892	0,42168	-30,62439	937,85321
50	59,8799384	0,16500	-9,87994	97,61318
75	60,3466051	0,24149	14,57339	212,38384
69	52,5549384	0,31805	16,71506	279,39328
64	43,7841051	0,45304	19,83589	393,46273
50	68,9203551	0,27452	-18,92036	357,97984
67	87,5207718	0,22944	-20,08077	403,23740
43	197,833272	0,78265	-154,83327	23973,34205
88	107,333272	0,18012	-19,33327	373,77540
59	83,9003551	0,29750	-24,96036	623,01933
96	86,8174384	0,10577	9,18256	84,31944
50	75,3391051	0,33633	-25,33911	642,07025
56	72,6243892	0,22891	-16,62439	276,37032
49	59,8799384	0,18170	-10,87994	118,37306
30	60,3466051	0,50287	-30,34661	920,91644
30	52,5549384	0,42917	-22,55494	508,72525
38	43,7841051	0,13211	-5,78411	33,45587
131	68,9203551	0,90684	62,49964	3906,20561
125	87,5207718	0,42526	37,21923	1385,27095
194	197,833272	0,01938	-3,83327	14,69397
108	107,333272	0,00621	0,66673	0,44453
67	83,9003551	0,20143	-16,90036	285,62200
77	86,8174384	0,11308	-9,81744	96,38210
43	75,3391051	0,42925	-32,33911	1045,81772
57	72,6243892	0,21514	-15,62439	244,12154
61	59,8799384	0,01871	1,12006	1,25454
126	60,3466051	1,08794	65,65339	4310,36826
88	52,5549384	0,67444	35,44506	1256,35239
58	43,7841051	0,31829	13,93589	194,20917

Medidas de exactitud

MAPE 44,35

MAD 34,51

MSD 3567,63

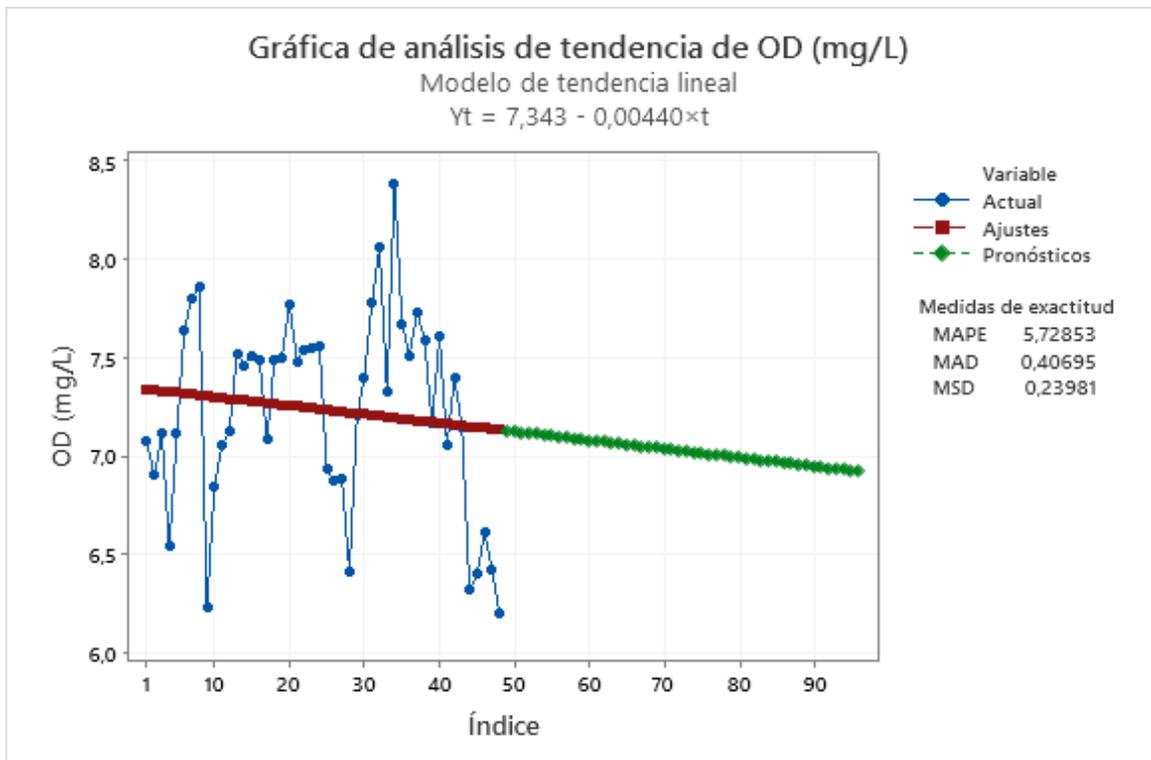
ANEXO 10

MÉTODO DE DESCOMPOSICIÓN DE SERIES DE TIEMPO DE OXÍGENO DISUELTO

Año	Meses	y	OD (mg/L)	Índice estacional	OD(mg/L)/I.Est	Yt=7,343- 0,00440X	Ajuste
2016	Enero	1	7,07	0,066284722	106,6610791	7,3119	7,4106746
	Febrero	2	6,90	0,025451389	271,1050477	7,3126	7,36517752
	Marzo	3	7,11	-0,29329861	-24,2415059	7,3117	7,04176376
	Abril	4	6,54	0,017118056	382,0527383	7,3142	7,34751668
	Mayo	5	7,11	-0,25204861	-28,2088442	7,3117	7,07368625
	Junio	6	7,64	-0,05496528	-138,996841	7,3094	7,26610583
	Julio	7	7,80	0,293784722	26,55005319	7,3087	7,61019208
	Agosto	8	7,86	0,510451389	15,39813618	7,3084	7,82219499
	Septiembre	9	6,23	-0,26121528	-23,8500598	7,3156	7,04586457
	Octubre	10	6,84	0,155451389	44,00089346	7,3129	7,45786749
	Noviembre	11	7,05	-0,02663194	-264,719687	7,3120	7,2711204
	Diciembre	12	7,12	-0,18038194	-39,4717998	7,3117	7,11270664
2017	Enero	13	7,52	0,066284722	113,4499738	7,3099	7,35470956
	Febrero	14	7,46	0,025451389	293,1077763	7,3102	7,30921247
	Marzo	15	7,51	-0,29329861	-25,6053037	7,3100	6,98579872
	Abril	16	7,49	0,017118056	437,5496957	7,3100	7,29155163
	Mayo	17	7,08	-0,25204861	-28,0898195	7,3118	7,01772121
	Junio	18	7,49	-0,05496528	-136,267846	7,3100	7,21014079
	Julio	19	7,50	0,293784722	25,52889729	7,3100	7,55422703
	Agosto	20	7,77	0,510451389	15,22182164	7,3088	7,76622995
	Septiembre	21	7,48	-0,26121528	-28,6353848	7,3101	6,98989953
	Octubre	22	7,54	0,155451389	48,50390887	7,3098	7,40190244
	Noviembre	23	7,55	-0,02663194	-283,494133	7,3098	7,21515535
	Diciembre	24	7,56	-0,18038194	-41,9110683	7,3097	7,0567416
2018	Enero	25	6,93	0,066284722	104,5489785	7,3125	7,29874451
	Febrero	26	6,87	0,025451389	269,9263302	7,3128	7,25324742
	Marzo	27	6,88	-0,29329861	-23,4573221	7,3127	6,92983367
	Abril	28	6,41	0,017118056	374,4584178	7,3148	7,23558658
	Mayo	29	7,20	-0,25204861	-28,5659182	7,3113	6,96175616
	Junio	30	7,40	-0,05496528	-134,630449	7,3104	7,15417574
	Julio	31	7,78	0,293784722	26,48197613	7,3088	7,49826199
	Agosto	32	8,06	0,510451389	15,78994626	7,3075	7,7102649
	Septiembre	33	7,33	-0,26121528	-28,0611458	7,3107	6,93393448
	Octubre	34	8,38	0,155451389	53,90752736	7,3061	7,34593739
	Noviembre	35	7,67	-0,02663194	-288	7,3093	7,15919031
	Diciembre	36	7,51	-0,18038194	-41,6338787	7,3100	7,00077655
2019	Enero	37	7,73	0,066284722	116,6181247	7,3090	7,24277947
	Febrero	38	7,59	0,025451389	298,2155525	7,3096	7,19728238
	Marzo	39	7,16	-0,29329861	-24,4119806	7,3115	6,87386863
	Abril	40	7,61	0,017118056	444,5598377	7,3095	7,17962154
	Mayo	41	7,05	-0,25204861	-27,9707949	7,3120	6,90579112
	Junio	42	7,40	-0,05496528	-134,630449	7,3104	7,0982107
	Julio	43	7,14	0,293784722	24,30351022	7,3116	7,44229694
	Agosto	44	6,32	0,510451389	12,38119856	7,3152	7,65429986
	Septiembre	45	6,40	-0,26121528	-24,500864	7,3148	6,87796944
	Octubre	46	6,61	0,155451389	42,52133125	7,3139	7,28997235
	Noviembre	47	6,42	-0,02663194	-241,063885	7,3148	7,10322526
	Diciembre	48	6,20	-0,18038194	-34,3715111	45,3337	6,94481151

Año	Meses	y	OD(mg/L)	Índice estacional	OD(mg/L)/I.Est	Yt=7,343-0,00440X	Pronóstico
2020	Enero	49		0,066284722		7,3119	7,18681442
	Febrero	50		0,025451389		7,3126	7,14131733
	Marzo	51		-0,29329861		7,3117	6,81790358
	Abril	52		0,017118056		7,3142	7,12365649
	Mayo	53		-0,25204861		7,3117	6,84982607
	Junio	54		-0,05496528		7,3094	7,04224565
	Julio	55		0,293784722		7,3087	7,3863319
	Agosto	56		0,510451389		7,3084	7,59833481
	Septiembre	57		-0,26121528		7,3156	6,82200439
	Octubre	58		0,155451389		7,3129	7,2340073
	Noviembre	59		-0,02663194		7,3120	7,04726022
	Diciembre	60		-0,18038194		7,3117	6,88884646
2021	Enero	61		0,066284722		7,3099	7,13084938
	Febrero	62		0,025451389		7,3102	7,08535229
	Marzo	63		-0,29329861		7,3100	6,76193853
	Abril	64		0,017118056		7,3100	7,06769145
	Mayo	65		-0,25204861		7,3118	6,79386103
	Junio	66		-0,05496528		7,3100	6,98628061
	Julio	67		0,293784722		7,3100	7,33036685
	Agosto	68		0,510451389		7,3088	7,54236977
	Septiembre	69		-0,26121528		7,3101	6,76603934
	Octubre	70		0,155451389		7,3098	7,17804226
	Noviembre	71		-0,02663194		7,3098	6,99129517
	Diciembre	72		-0,18038194		7,3097	6,83288142
2022	Enero	73		0,066284722		7,3125	7,07488433
	Febrero	74		0,025451389		7,3128	7,02938724
	Marzo	75		-0,29329861		7,3127	6,70597349
	Abril	76		0,017118056		7,3148	7,0117264
	Mayo	77		-0,25204861		7,3113	6,73789598
	Junio	78		-0,05496528		7,3104	6,93031556
	Julio	79		0,293784722		7,3088	7,27440181
	Agosto	80		0,510451389		7,3075	7,48640472
	Septiembre	81		-0,26121528		7,3107	6,7100743
	Octubre	82		0,155451389		7,3061	7,12207721
	Noviembre	83		-0,02663194		7,3093	6,93533012
	Diciembre	84		-0,18038194		7,3100	6,77691637
2023	Enero	85		0,066284722		7,3090	7,01891928
	Febrero	86		0,025451389		7,3096	6,9734222
	Marzo	87		-0,29329861		7,3115	6,65000844
	Abril	88		0,017118056		7,3095	6,95576136
	Mayo	89		-0,25204861		7,3120	6,68193094
	Junio	90		-0,05496528		7,3104	6,87435052
	Julio	91		0,293784722		7,3116	7,21843676
	Agosto	92		0,510451389		7,3152	7,43043967
	Septiembre	93		-0,26121528		7,3148	6,65410925
	Octubre	94		0,155451389		7,3139	7,06611217
	Noviembre	95		-0,02663194		7,3148	6,87936508
	Diciembre	96		-0,18038194		7,3157	6,72095133

Índices estacionales		
PROMEDIO	6,926983916	
promedio 1	7,01891928	0,06628472
promedio 2	6,9734222	0,02545139
promedio 3	6,65000844	0,29329861
promedio 4	6,95576136	0,01711806
promedio 5	6,68193094	0,25204861
promedio 6	6,87435052	0,05496528
promedio 7	7,21843676	0,29378472
promedio 8	7,43043967	0,51045139
promedio 9	6,65410925	0,26121528
promedio 10	7,06611217	0,15545139
promedio 11	6,87936508	0,02663194
promedio 12	6,72095133	0,18038194



Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

DQO (mg/L)	Ajuste	MAPE	MAD	MSD
365,665	7,4106746	48,34301	358,25433	128346,16167
88	7,36517752	10,99335	80,96800	6555,81772
94	7,04176376	12,34893	86,95824	7561,73485
57	7,34751668	6,75772	49,65248	2465,36910
50	7,07368625	6,06845	42,92631	1842,66841
50	7,26610583	5,88127	42,73389	1826,18571
50	7,61019208	5,57014	42,38981	1796,89582
50	7,82219499	5,39207	42,17781	1778,96724
105	7,04586457	13,90236	97,95414	9595,01265
50	7,45786749	5,70433	42,54213	1809,83304
50	7,2711204	5,87652	42,72888	1825,75715
50	7,11270664	6,02967	42,88729	1839,31993
50	7,35470956	5,79836	42,64529	1818,62080
59	7,30921247	7,07201	51,69079	2671,93752
244	6,98579872	33,92800	237,01420	56175,73161
81	7,29155163	10,10875	73,70845	5432,93536
213	7,01772121	29,35173	205,98228	42428,69918
98	7,21014079	12,52262	90,28986	8152,25868
92	7,55422703	11,15876	84,29577	7105,77734
42	7,76622995	4,40803	34,23377	1171,95101
50	6,98989953	6,15318	43,01010	1849,86874
75	7,40190244	9,12172	67,51810	4558,69350
69	7,21515535	8,60062	62,05484	3850,80374
64	7,0567416	8,01549	56,56326	3199,40220
50	7,29874451	5,85049	42,70126	1823,39722
67	7,25324742	8,29790	60,18675	3622,44519
43	6,92983367	5,20506	36,07017	1301,05690
88	7,23558658	11,16211	80,76441	6522,89047
59	6,96175616	7,46625	51,97824	2701,73783
96	7,15417574	12,41874	88,84582	7893,58049
50	7,49826199	5,66821	42,50174	1806,39773
56	7,7102649	6,26304	48,28974	2331,89852
49	6,93393448	6,06669	42,06607	1769,55387
30	7,34593739	3,08389	22,65406	513,20655
30	7,15919031	3,19042	22,84081	521,70259
38	7,00077655	4,42797	30,99922	960,95185
131	7,24277947	17,14497	124,17722	15419,98210
125	7,19728238	16,33154	117,54272	13816,29047
194	6,87386863	27,22283	187,12613	35016,18904
108	7,17962154	14,04258	100,82038	10164,74871
67	6,90579112	8,70200	60,09421	3611,31394
77	7,0982107	9,84780	69,90179	4886,26015
43	7,44229694	4,77779	35,55770	1264,35025
57	7,65429986	6,44679	49,34570	2434,99812
61	6,87796944	7,86890	54,12203	2929,19419
126	7,28997235	16,28402	118,71003	14092,07066
88	7,10322526	11,38874	80,89677	6544,28816
58	6,94481151	7,31124	50,77519	2578,11977

Medidas de exactitud

MAPE 5,42821

MAD 0,38218

MSD 0,22344

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

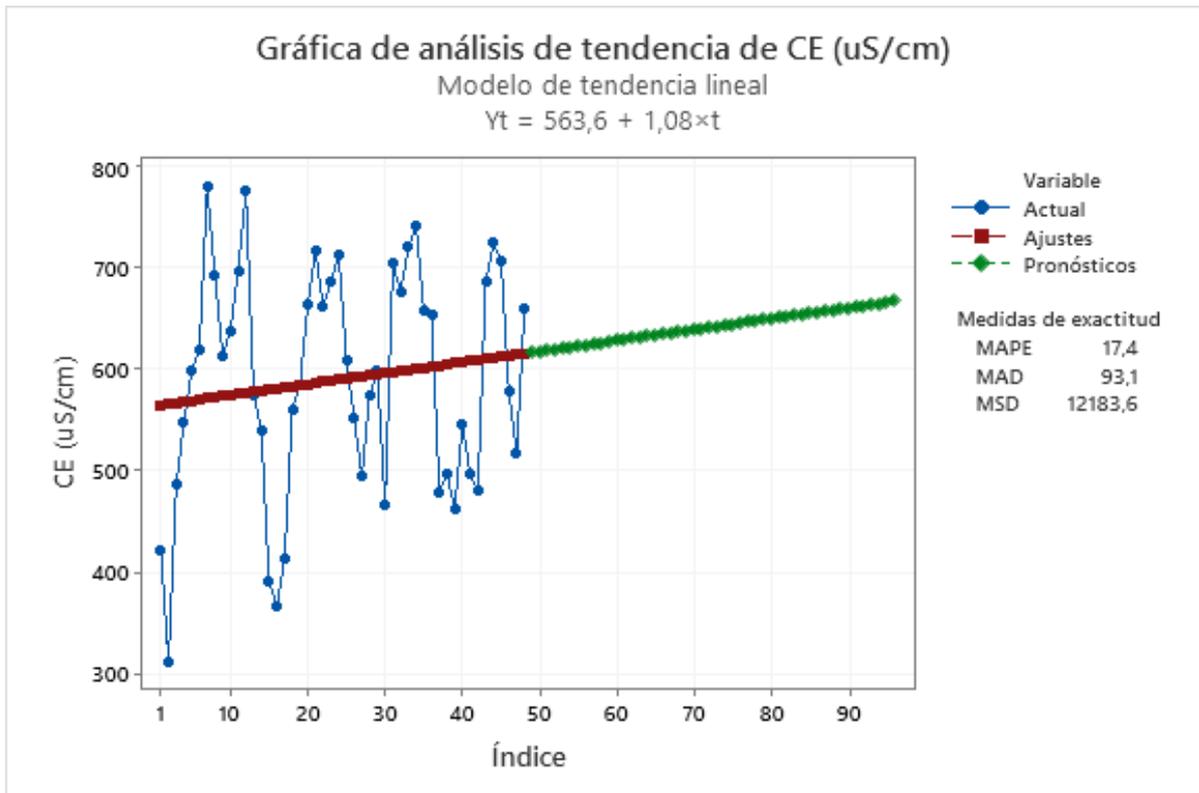
ANEXO 11

MÉTODO DE DESCOMPOSICIÓN DE SERIES DE TIEMPO DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Año	Meses	y	CE(uS/cm)	Índice estacional	CE(uS/cm)/I. Est	Yt=563,6+1,08X	Ajuste
2016	Enero	1	422	-13,875	-30,3899099	1018,9928	577,860387
	Febrero	2	312	-76,6508333	-4,07040584	900,5600	515,014839
	Marzo	3	486	-139,765833	-3,47724468	1088,4800	451,830123
	Abril	4	548	-57,5308333	-9,525327	1155,4400	533,995408
	Mayo	5	598	-85,7241667	-6,97842888	1209,6776	505,73236
	Junio	6	619	-97,10375	-6,37462508	1232,1200	494,283062
	Julio	7	779	80,79583333	9,641586303	1404,9200	672,11293
	Agosto	8	692	63,50583333	10,89663679	1310,9600	654,753215
	Septiembre	9	613	108,145	5,668315687	1225,6400	699,322667
	Octubre	10	638	59,52166667	10,71878588	1252,6400	650,629618
	Noviembre	11	697	68,54458333	10,16856426	1316,3600	659,58282
	Diciembre	12	775	90,1375	8,594979892	1400,3084	681,106021
2017	Enero	13	574	-13,875	-41,3693694	1183,5200	577,023806
	Febrero	14	540	-76,6508333	-7,04493319	1146,8000	514,178258
	Marzo	15	390	-139,765833	-2,79038153	984,8000	450,993543
	Abril	16	367	-57,5308333	-6,37918797	959,9600	533,158828
	Mayo	17	413	-85,7241667	-4,81777795	1009,6400	504,89578
	Junio	18	560	-97,10375	-5,76373209	1168,0544	493,446481
	Julio	19	585	80,79583333	7,241214997	1195,4648	671,276349
	Agosto	20	664	63,50583333	10,45573241	1280,7200	653,916634
	Septiembre	21	716	108,145	6,620740672	1336,8800	698,486086
	Octubre	22	661	59,52166667	11,10855991	1277,6960	649,793038
	Noviembre	23	687	68,54458333	10,01654641	1305,1064	658,746239
	Diciembre	24	712	90,1375	7,898599362	1332,5168	680,269441
2018	Enero	25	609	-13,875	-43,8918919	1221,3200	576,187226
	Febrero	26	552	-76,6508333	-7,19731249	1159,4144	513,341677
	Marzo	27	494	-139,765833	-3,53448327	1097,1200	450,156962
	Abril	28	575	-57,5308333	-9,99464056	1184,6000	532,322247
	Mayo	29	598	-85,7241667	-6,97084642	1208,9756	504,059199
	Junio	30	466	-97,10375	-4,79899077	1066,8800	492,609901
	Julio	31	704	80,79583333	8,713320613	1323,9200	670,439769
	Agosto	32	676	63,50583333	10,64469143	1293,6800	653,080054
	Septiembre	33	720	108,145	6,65772805	1341,2000	697,649505
	Octubre	34	742	59,52166667	12,46604878	1364,9600	648,956457
	Noviembre	35	658	68,54458333	9,599591507	1274,2400	657,909659
	Diciembre	36	653	90,1375	7,244487588	1268,8400	679,43286
2019	Enero	37	479	-13,875	-34,5542342	1081,3952	575,350645
	Febrero	38	496	-76,6508333	-6,46790098	1099,0316	512,505097
	Marzo	39	463	-139,765833	-3,31268372	1063,6400	449,320382
	Abril	40	545	-57,5308333	-9,47318105	1152,2000	531,485667
	Mayo	41	497	-85,7241667	-5,79766499	1100,3600	503,222618
	Junio	42	480	-97,10375	-4,94316646	1082,0000	491,77332
	Julio	43	686	80,79583333	8,490536847	1304,4800	669,603188
	Agosto	44	724	63,50583333	11,40052751	1345,5200	652,243473
	Septiembre	45	706	108,145	6,528272227	1326,0800	696,812925
	Octubre	46	579	59,52166667	9,727550192	1188,9200	648,119877
	Noviembre	47	517	68,54458333	7,542536184	1121,9600	657,073078
	Diciembre	48	659	90,1375	7,312272916	1275,4388	678,59628

Año	Meses	y	CE(uS/cm)	Índice estacional	CE (uS/cm)/L. Est	Yt=563,6+1,08X	Pronóstico
2020	Enero	49		-13,875		1018,9928	574,514065
	Febrero	50		-76,6508333		900,5600	511,668516
	Marzo	51		-139,765833		1088,4800	448,483801
	Abril	52		-57,5308333		1155,4400	530,649086
	Mayo	53		-85,7241667		1209,6776	502,386038
	Junio	54		-97,10375		1232,1200	490,936739
	Julio	55		80,79583333		1404,9200	668,766608
	Agosto	56		63,50583333		1310,9600	651,406893
	Septiembre	57		108,145		1225,6400	695,976344
	Octubre	58		59,52166667		1252,6400	647,283296
	Noviembre	59		68,54458333		1316,3600	656,236498
	Diciembre	60		90,1375		1400,3084	677,759699
2021	Enero	61		-13,875		1183,5200	573,677484
	Febrero	62		-76,6508333		1146,8000	510,831936
	Marzo	63		-139,765833		984,8000	447,647221
	Abril	64		-57,5308333		959,9600	529,812506
	Mayo	65		-85,7241667		1009,6400	501,549457
	Junio	66		-97,10375		1168,0544	490,100159
	Julio	67		80,79583333		1195,4648	667,930027
	Agosto	68		63,50583333		1280,7200	650,570312
	Septiembre	69		108,145		1336,8800	695,139764
	Octubre	70		59,52166667		1277,6960	646,446715
	Noviembre	71		68,54458333		1305,1064	655,399917
	Diciembre	72		90,1375		1332,5168	676,923119
2022	Enero	73		-13,875		1221,3200	572,840904
	Febrero	74		-76,6508333		1159,4144	509,995355
	Marzo	75		-139,765833		1097,1200	446,81064
	Abril	76		-57,5308333		1184,6000	528,975925
	Mayo	77		-85,7241667		1208,9756	500,712877
	Junio	78		-97,10375		1066,8800	489,263578
	Julio	79		80,79583333		1323,9200	667,093447
	Agosto	80		63,50583333		1293,6800	649,733732
	Septiembre	81		108,145		1341,2000	694,303183
	Octubre	82		59,52166667		1364,9600	645,610135
	Noviembre	83		68,54458333		1274,2400	654,563336
	Diciembre	84		90,1375		1268,8400	676,086538
2023	Enero	85		-13,875		1081,3952	572,004323
	Febrero	86		-76,6508333		1099,0316	509,158775
	Marzo	87		-139,765833		1063,6400	445,97406
	Abril	88		-57,5308333		1152,2000	528,139345
	Mayo	89		-85,7241667		1100,3600	499,876296
	Junio	90		-97,10375		1082,0000	488,426998
	Julio	91		80,79583333		1304,4800	666,256866
	Agosto	92		63,50583333		1345,5200	648,897151
	Septiembre	93		108,145		1326,0800	693,466603
	Octubre	94		59,52166667		1188,9200	644,773554
	Noviembre	95		68,54458333		1121,9600	653,726756
	Diciembre	96		90,1375		1275,4388	675,249958

Índices estacionales		
PROMEDIO	585,4958903	
promedio 1	572,004323	-13,875
promedio 2	509,158775	76,6508333
promedio 3	445,97406	139,765833
promedio 4	528,139345	57,5308333
promedio 5	499,876296	85,7241667
promedio 6	488,426998	-97,10375
promedio 7	666,256866	80,7958333
promedio 8	648,897151	63,5058333
promedio 9	693,466603	108,145
promedio 10	644,773554	59,5216667
promedio 11	653,726756	68,5445833
promedio 12	675,249958	90,1375



CE (uS/cm)	Ajuste	MAPE	MAD	MSD
422	577,860387	0,27031	-156,20039	24398,56087
312	515,014839	0,39419	-203,01484	41215,02466
486	451,830123	0,07563	34,16988	1167,58046
548	533,995408	0,02623	14,00459	196,12858
598	505,73236	0,18288	92,48764	8553,96354
619	494,283062	0,25232	124,71694	15554,31470
779	672,11293	0,15903	106,88707	11424,84574
692	654,753215	0,05689	37,24679	1387,32300
613	699,322667	0,12344	-86,32267	7451,60276
638	650,629618	0,01941	-12,62962	159,50725
697	659,58282	0,05673	37,41718	1400,04538
775	681,106021	0,13746	93,62398	8765,44937
574	577,023806	0,00524	-3,02381	9,14340
540	514,178258	0,05022	25,82174	666,76236
390	450,993543	0,13524	-60,99354	3720,21228
367	533,158828	0,31165	-166,15883	27608,75608
413	504,89578	0,18201	-91,89578	8444,83429
560	493,446481	0,13423	66,23352	4386,87902
585	671,276349	0,12844	-86,21635	7433,25891
664	653,916634	0,01542	10,08337	101,67426
716	698,486086	0,02507	17,51391	306,73718
661	649,793038	0,01755	11,40696	130,11879
687	658,746239	0,04225	27,83376	774,71824
712	680,269441	0,04659	31,69056	1004,29154
609	576,187226	0,05695	32,81277	1076,67815
552	513,341677	0,07468	38,33832	1469,82698
494	450,156962	0,09740	43,84304	1922,21195
575	532,322247	0,08017	42,67775	1821,39057
598	504,059199	0,18552	93,51080	8744,26991
466	492,609901	0,05402	-26,60990	708,08681
704	670,439769	0,05006	33,56023	1126,28911
676	653,080054	0,03510	22,91995	525,32393
720	697,649505	0,03204	22,35049	499,54461
742	648,956457	0,14337	93,04354	8657,10088
658	657,909659	0,00014	0,09034	0,00816
653	679,43286	0,03890	-26,43286	698,69610
479	575,350645	0,16670	-95,91065	9198,85187
496	512,505097	0,03265	-16,73510	280,06347
463	449,320382	0,03045	13,67962	187,13195
545	531,485667	0,02543	13,51433	182,63720
497	503,222618	0,01237	-6,22262	38,72098
480	491,77332	0,02394	-11,77332	138,61106
686	669,603188	0,02449	16,39681	268,85543
724	652,243473	0,11001	71,75653	5148,99913
706	696,812925	0,01318	9,18708	84,40235
579	648,119877	0,10665	-69,11988	4777,55733
517	657,073078	0,21318	-140,07308	19620,46722
659	678,59628	0,02872	-19,48628	379,71510

Medidas de exactitud

MAPE 10,32

MAD 53,28

MSD 5079,52

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

ANEXO 12

ANÁLISIS DEL ISQA PERIODO 2020-2023 ÉPOCA SECA ÉPOCA LLUVIOSA

Año	Meses	Numero de Meses	T °C	DQO(mg/ l)	SST (mg/ l)	CE (uS/cm)	OD (mg/l)	
MESES DE EPOCA SECA								
2020	junio	6	17,1427	43,8202	80,503	490,937	7,04225	
	julio	7	16,473	45,5456	68,811	668,767	7,38633	
	agosto	8	16,395	35,7689	65,882	651,407	7,59833	
	PROMEDIO		17	42	72	604	7	
	ISQA		1	6	14	13	18	53
MESES DE EPOCA LLUVIOSA								
	enero	1	15,7381	32,3714	63,677	574,514	7,18681	
	febrero	2	16,4666	39,1603	82,063	511,669	7,14132	
	marzo	3	15,3724	30,205	192,161	448,484	6,8179	
	abril	4	15,8923	58,7031	101,447	530,649	7,12366	
	mayo	5	16,1276	43,5475	77,8	502,386	6,84983	
	septiembre	9	16,7075	46,3825	52,924	695,976	6,822	
	octubre	10	16,7833	41,0306	53,176	647,283	7,23401	
	noviembre	11	16,8257	47,9942	45,171	656,236	7,04726	
	diciembre	12	16,8595	57,3847	36,186	677,76	6,88885	
	PROMEDIO		16	44	78	583	7,0	
	ISQA		1	6	13	13	18	50
MESES DE EPOCA SECA								
2021	junio	6	17,1676	43,8202	77,935	490,1	6,98628	
	julio	7	16,4969	45,5456	66,243	667,93	7,33037	
	agosto	8	16,4188	35,7689	63,314	650,57	7,54237	
	PROMEDIO		17	44	78	490	6,98628	
	ISQA		1	6	13	14	17	51

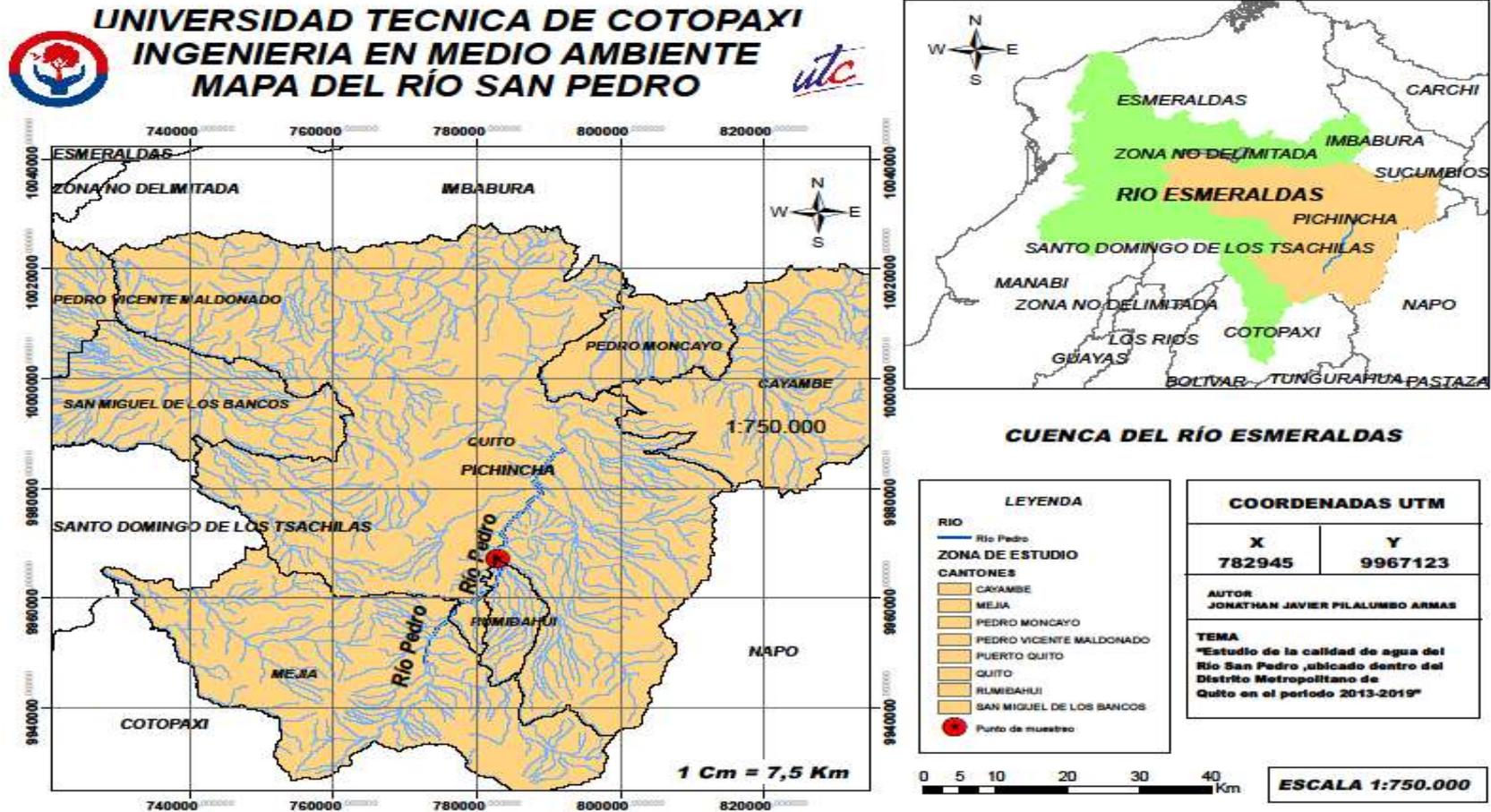
MESES DE EPOCA LLUVIOSA							
	enero	1	15,761	32,3714	61,108	573,677	7,13085
	febrero	2	16,4905	39,1603	79,495	510,832	7,08535
	marzo	3	15,3947	30,205	189,593	447,647	6,76194
	abril	4	15,9154	58,7031	98,879	529,813	7,06769
	mayo	5	16,1511	43,5475	75,232	501,549	6,79386
	septiembre	9	16,7317	46,3825	50,355	695,14	6,76604
	octubre	10	16,8077	41,0306	50,608	646,447	7,17804
	noviembre	11	16,8501	47,9942	42,602	655,4	6,9913
	diciembre	12	16,8839	57,3847	33,618	676,923	6,83288
	PROMEDIO		15	41	69	543	7,8
	ISQA		1	7	15	13	20
							55
MESES DE EPOCA SECA							
2022	julio	7	16,5209	45,5456	63,674	667,093	7,2744
	agosto	8	16,4426	35,7689	60,746	649,734	7,4864
	junio	6	17,1925	43,8202	75,367	489,264	6,93032
	PROMEDIO		17	42	67	602	7,23037333
	ISQA		1	6	15	13	18
							53,2
MESES DE EPOCA LLUVIOSA							
	enero	1	15,7838	32,3714	58,54	572,841	7,07488
	febrero	2	16,5144	39,1603	76,926	509,995	7,02939
	marzo	3	15,417	30,205	187,025	446,811	6,70597
	abril	4	15,9385	58,7031	96,311	528,976	7,01173
	mayo	5	16,1745	43,5475	72,664	500,713	6,7379
	septiembre	9	16,756	46,3825	47,787	694,303	6,71007
	octubre	10	16,832	41,0306	48,04	645,61	7,12208
	noviembre	11	16,8745	47,9942	40,034	654,563	6,93533
	diciembre	12	16,9084	57,3847	31,049	676,087	6,77692
	PROMEDIO		15	41	67	546	7,79

		ISQA	1	7	15	13	19	56
MESES DE EPOCA SECA								
2023	julio	7	16,5448	45,5456	61,106	666,257	7,21844	
	agosto	8	16,4664	35,7689	58,177	648,897	7,43044	
	junio	6	17,2174	43,8202	72,798	488,427	6,87435	
	PROMEDIO		16,74286667	41,7115667	64,027	601,193667	7,17441	
		ISQA	1	6	15	13	18	53
MESES DE EPOCA LLUVIOSA								
	enero	1	15,8067	32,3714	55,971	572,004	7,01892	
	febrero	2	16,5384	39,1603	74,358	509,159	6,97342	
	marzo	3	15,4394	30,205	184,456	445,974	6,65001	
	abril	4	15,9616	58,7031	93,742	528,139	6,95576	
	mayo	5	16,1979	43,5475	70,095	499,876	6,68193	
	septiembre	9	16,7803	46,3825	45,219	693,467	6,65411	
	octubre	10	16,8564	41,0306	45,471	644,774	7,06611	
	noviembre	11	16,899	47,9942	37,466	653,727	6,87937	
	diciembre	12	16,9329	57,3847	28,481	675,25	6,72095	
	PROMEDIO		15	41	65	545,7	7,7	
		ISQA	1	7	15	13	19	56

Elaborado por: Jonathan Pilalumbo

ANEXO 13

MAPA DE LA ZONA DE ESTUDIO DEL RÍO SAN PEDRO



Elaborado por. Jonathan Pilalumbo

ANEXO 14
ANÁLISIS DE DATOS DE SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE DEL DMQ.

ANÁLISIS DE VARIACIONES T

Año	Meses	T(°C)	DQO(mg/1)	SST(mg/ 1)	CE(uS/cm)	OD(mg/1)			
2013	Junio	14,3	35	44	602	7,22			
	Julio	15,7	16	39	656	7,65			
				agosto	15,3	50	106	650	7,14
				septiembre	16,9	8	13	647	8,76
				octubre	13	51	70	582	7,09
				noviembre	17	27	28	642	7,19
				diciembre	15,8	44	48	638	7,13
2014			enero	17	23	40	642	7,19	
			febrero	16,6	24	41	690	7,15	
			marzo	15,4	52	81	434	7,31	
			Julio	15,5	6	40	391	7,22	
2016			Enero	15,9	119	365,665	312	6,9	
			marzo	19,1	107	94	486	7,11	
			Abril	15,9	33	57	548	6,54	
			mayo	16,76	43,89	50	598,22	7,11	
			junio	14,6	20	50	619	7,64	
			Julio	16,6	13	50	779	7,8	
			agosto	16,3	14	50	692	7,86	
			septiembre	18,1	50	105	613	6,23	
			octubre	15,3	22	50	638	6,84	
			noviembre	16,9	17	50	697	7,05	
2017			enero	14,6	8	50	574	7,52	
			febrero	15,9	13	59	540	7,46	
			marzo	14,7	16	244	390	7,51	
			Abril	14,45	62	81	367	7,49	
			mayo	15,4	67,2	213	413	7,08	
			agosto	16,5	33,24	42	664	7,77	
			septiembre	16,3	33,24	50	716	7,48	
2018			enero	16,9	33	50	609	6,93	
			marzo	15,1	32	43	494	6,88	
			Abril	17,3	47	88	575	6,41	
			junio	18,4	80	96	466	7,4	
			julio	16,3	46	50	704	7,78	
			agosto	15,4	40,67	56	676	8,06	
			septiembre	16,1	41	49	720	7,33	
			octubre	16,7	19	30	742	8,38	
			noviembre	16,5	43	30	658	7,67	
			diciembre	16,2	25	38	653	7,51	
2019			marzo	16,3	40	194	463	7,16	
			abril	15,7	50	108	545	7,61	
			mayo	16	38	67	497	7,05	
			junio	17,1	39	77	480	7,4	
			julio	14,9	35	43	686	7,14	
			agosto	17	46	57	724	6,32	
			septiembre	17,3	32	61	706	6,4	
			octubre	17,6	46	126	579	6,61	
			noviembre	17,3	95	88	517	6,42	

Elaborado por. Jonathan Pilalumbo

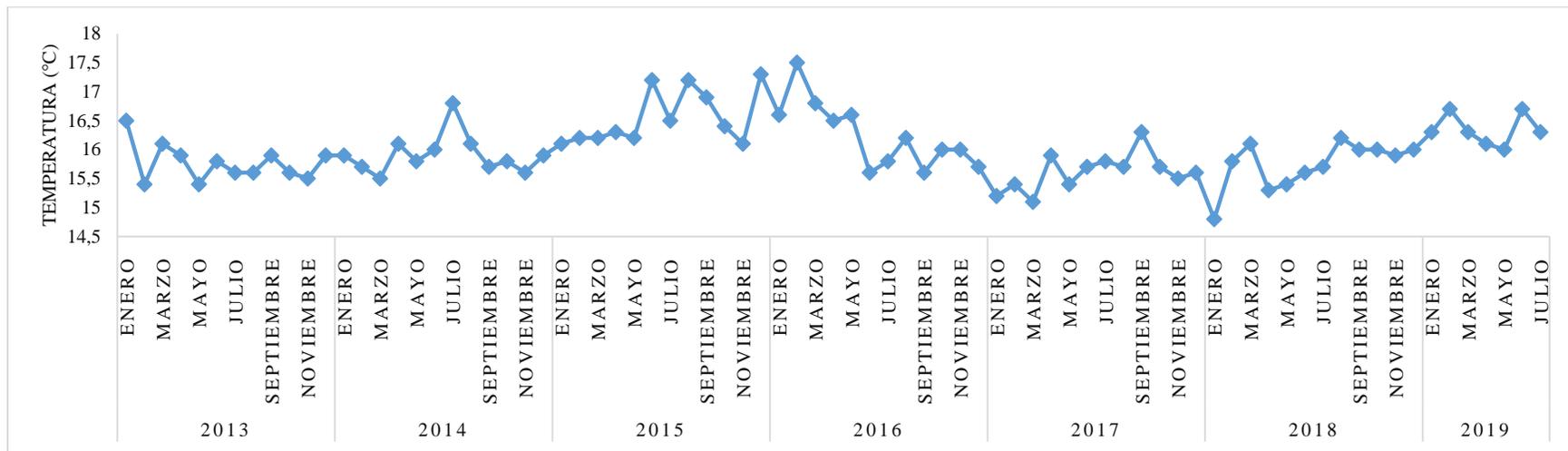
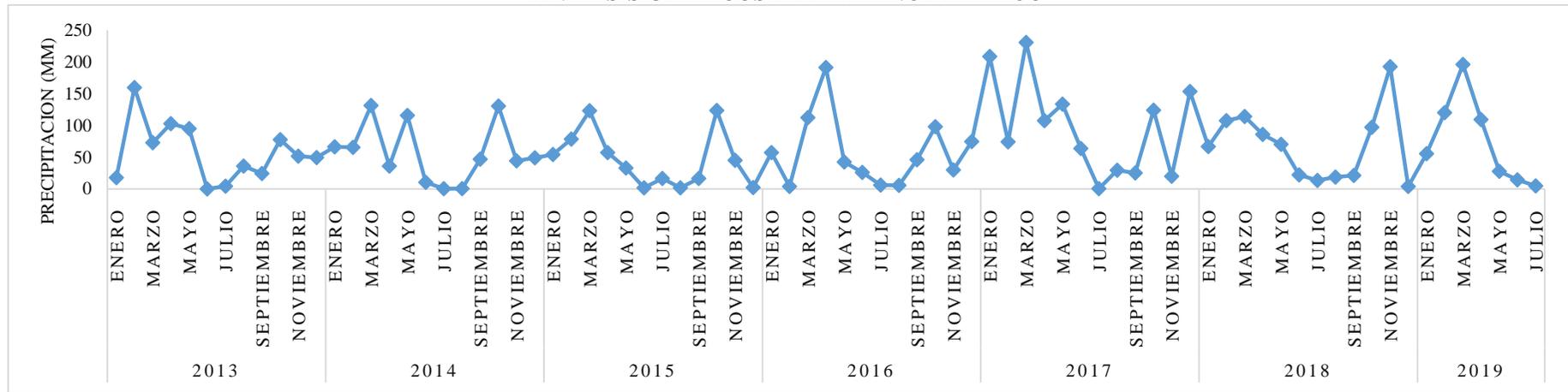
ANEXO 15
DATOS DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Años	Meses	Precipitación total mensual (mm)	Temperatura	Evo traspiración	Humedad	Nubosidad
2013	ENERO	17,8	16,5	121,1	73	5
	FEBREO	160	15,4	80,5	80	7
	MARZO	73,1	16,1	108,3	77	6
	ABRIL	103	15,9	105,3	75	6
	MAYO	95,2	15,4	91	82	7
	JUNIO	0,3	15,8	124	68	5
	JULIO	4,5	15,6	140,8	63	5
	AGOSTO	36,3	15,6	138,9	66	5
	SEPTIEMBRE	24,4	15,9	144,9	65	5
	OCTUBRE	77,9	15,6	122,1	74	6
	NOVIEMBRE	51,6	15,5	117,1	75	6
	DICIEMBRE	49,8	15,9	126,1	74	5
2014	ENERO	66,5	15,9	122,7	77	6
	FEBREO	65,7	15,7	116,4	78	7
	MARZO	131	15,5	95,4	81	7
	ABRIL	36,3	16,1	116,8	74	5
	MAYO	116	15,8	95,7	79	6
	JUNIO	10,7	16	121,8	69	5
	JULIO	0,8	16,8	188,7	57	4
	AGOSTO	0,4	16,1	175,9	60	5
	SEPTIEMBRE	46,9	15,7	149,9	66	5
	OCTUBRE	131	15,8	128,6	73	6
	NOVIEMBRE	44,5	15,6	99,4	76	6
	DICIEMBRE	49,3	15,9	113	72	4
2015	ENERO	54,2	16,1	121,3	71	5
	FEBREO	78,5	16,2	123,1	75	6
	MARZO	123	16,2	106,3	76	6
	ABRIL	57,3	16,3	111,7	74	6
	MAYO	33	16,2	104,1	71	5
	JUNIO	2	17,2	164,5	58	5
	JULIO	16,8	16,5	143,4	63	5
	AGOSTO	2	17,2	186	57	4
	SEPTIEMBRE	16,8	16,9	189,3	57	4
	OCTUBRE	124	16,4	133,9	71	6
	NOVIEMBRE	45,2	16,1	106,5	76	6
	DICIEMBRE	2,5	17,3	162,3	64	4
2019	ENERO	55,8	16,3	149,8	71	5
	FEBREO	120	16,7	111,5	76	6
	MARZO	196	16,3	118,5	78	6
	ABRIL	110	16,1	103,7	77	6
	MAYO	27,9	16	106,6	75	5
	JUNIO	14,3	16,7	133,8	67	5
	JULIO	5	16,3	170	62	4
	AGOSTO	0,1	17	238,5	52	3
	SEPTIEMBRE	56,1	16,3	180,7	64	4
	OCTUBRE	82,3	15,7	113,9	75	6
	NOVIEMBRE	122	16,2	111,1	77	6
	DICIEMBRE	103	16,3	112,3	76	6

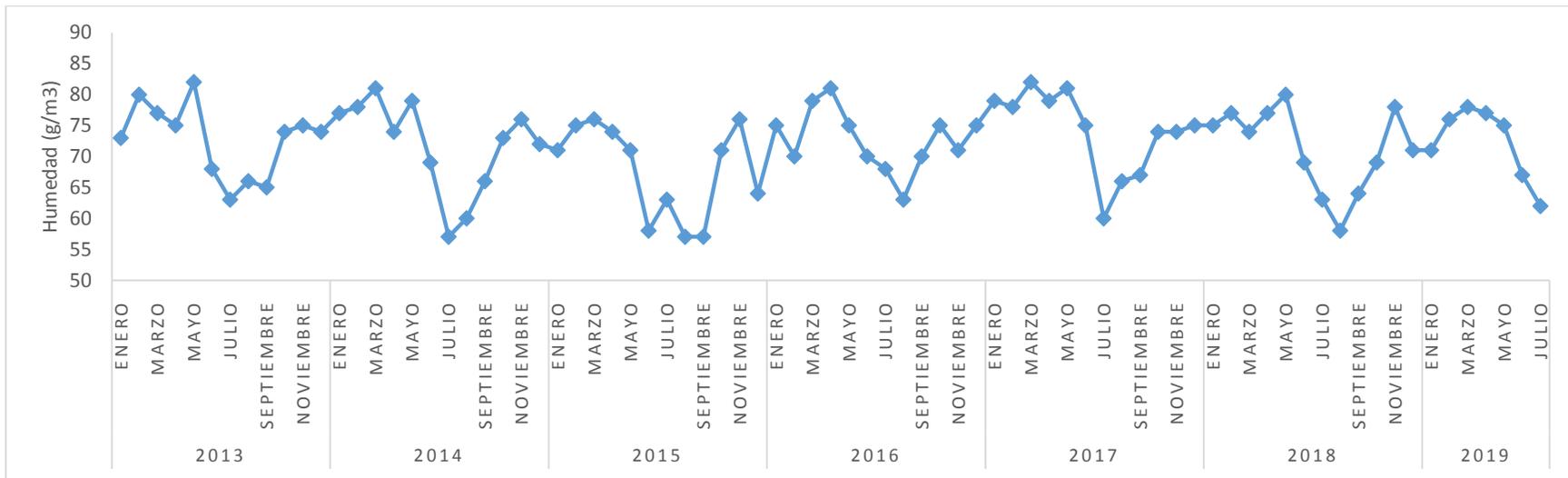
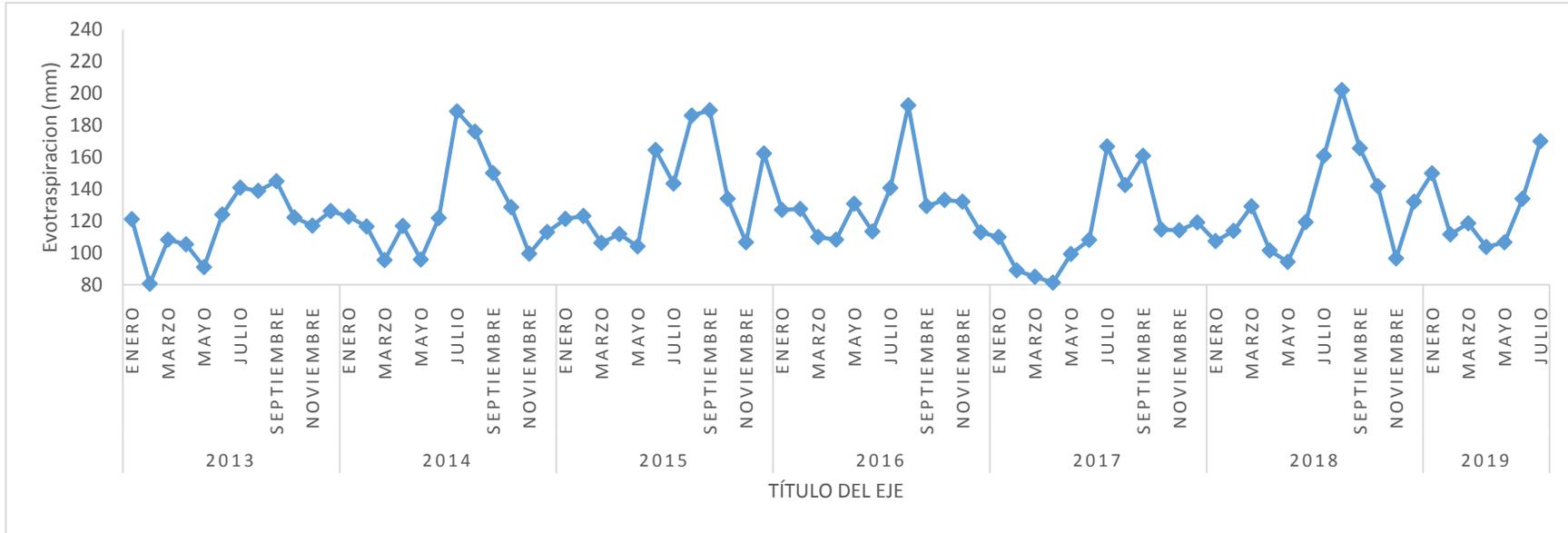
Elaborado por. Jonathan Pilalumbo

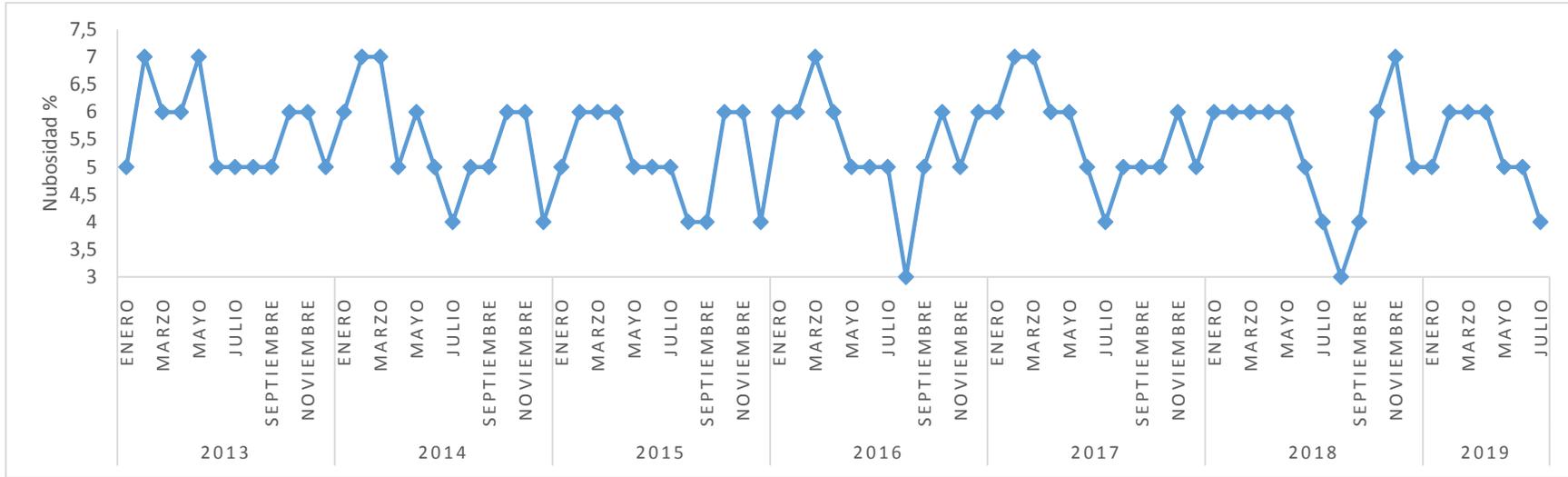
ANEXO 16

ANÁLISIS GRÁFICOS DEL BALANCE HÍDRICO



Elaborado por. Jonathan Pilalumbo





Elaborado por. Jonathan Pilalumbo

ANEXO 17
ANÁLISIS DE DATOS DEL MODELO MATEMÁTICO

Año	Meses	T °C	DQO (mg /l)	SST (mg/ l)	CE (uS/cm)	OD (mg/l)
2016	enero	16,8	95	365,665	422	7,07
	febrero	15,9	119	88	312	6,90
	marzo	19,1	107	94	486	7,11
	abril	15,9	33	57	548	6,54
	mayo	16,8	44	50	598	7,11
	junio	14,6	20	50	619	7,64
	julio	16,6	13	50	779	7,80
	agosto	16,3	14	50	692	7,86
	septiembre	18,1	50	105	613	6,23
	octubre	15,3	22	50	638	6,84
	noviembre	16,9	17	50	697	7,05
	diciembre	16,3	49	50	775	7,12
2017	enero	14,6	8	50	574	7,52
	febrero	15,9	13	59	540	7,46
	marzo	14,7	16	244	390	7,51
	abril	14,5	62	81	367	7,49
	mayo	15,4	67	213	413	7,08
	junio	15,6	38	98	560	7,49
	julio	15,9	41	92	585	7,50
	agosto	16,5	33	42	664	7,77
	septiembre	16,3	33	50	716	7,48
	octubre	16,5	50	75	661	7,54
	noviembre	16,7	53	69	687	7,55
	diciembre	16,9	56	64	712	7,56
2018	enero	16,9	33	50	609	6,93
	febrero	16,7	46	67	552	6,87
	marzo	15,1	32	43	494	6,88
	abril	17,3	47	88	575	6,41
	mayo	16,6	43	59	598	7,20
	junio	18,4	80	96	466	7,40
	julio	16,3	46	50	704	7,78
	agosto	15,4	41	56	676	8,06
	septiembre	16,1	41	49	720	7,33
	octubre	16,7	19	30	742	8,38
	noviembre	16,5	43	30	658	7,67
	diciembre	16,2	25	38	653	7,51
2019	enero	15,4	26	131	479	7,73
	febrero	15,6	30	125	496	7,59
	marzo	16,3	40	194	463	7,16
	abril	15,7	50	108	545	7,61
	mayo	16,0	38	67	497	7,05
	junio	17,1	39	77	480	7,40
	julio	14,9	35	43	686	7,14
	agosto	17,0	46	57	724	6,32
	septiembre	17,3	32	61	706	6,40
	octubre	17,6	46	126	579	6,61
	noviembre	17,3	95	88	517	6,42
	diciembre	17,6	64	58	659	6,20

Elaborado por. Jonathan Pilalumbo

ANEXO 18

HOJA DE VIDA

JONATHAN JAVIER PILALUMBO ARMAS

Datos personales

Cédula: 1804720157
 Nacionalidad: ecuatoriano
 Edad: 24 años
 Residencia Actual: Ambato, Ecuador
 Dirección: Av. Víctor Hugo y Ernesto Albán
 Teléfono: 032411426- Celular 0995027358
 Estado Civil: Soltero
 Código Postal: 180150
 Dirección electrónica: Jonathanpilalumbo95@gmail.com
 Otras características Responsable, Carismático, capacidad de trabajar en equipo.



RESUMEN PERFIL PROFESIONAL

Pilalumbo Jonathan Egresado de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, en la actualidad mi experiencia es en seguimiento al cumplimiento de la normativa ambiental, algunas de las principales fortalezas son el conocimiento en evaluación de área ocupacional de higiene laboral, ensayos fisicoquímicos de laboratorio, planes de manejo ambiental del sector productivo e hidrocarburos, auditorías ambientales de cumplimiento y ensayos en inspecciones ambientales en diferentes segmentos de producción de las industrias.

ESTUDIOS REALIZADOS

TÍTULOS OBTENIDOS

Año 2020 Latacunga, Ecuador	Ingeniería en Medio Ambiente (Egresado) Universidad Técnica de Cotopaxi
Año 2019 Latacunga, Ecuador	Cotopaxi Technical University Full-Time English Program «C.E.F.R. – B1»
Año 2015 Ambato, Ecuador	Escuela de Capacitación de Conductores Profesionales Título de Conductor Profesional
Año 2014 Ambato, Ecuador	Bachillerato en Ciencias Instituto Tecnológico Superior «Bolívar»

EXPERIENCIA LABORAL

Agosto.2019 – Febrero 2020 Ambato, Ecuador	<p>Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua Dirección de Gestión y Control Ambiental <u>Cargo:</u> Pasantías como Técnico en Gestión, Control y Calidad Ambiental <u>Tareas realizadas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluación de Informes de Monitoreo de Descargas Líquidas ▪ Evaluación de Informes Ambientales. ▪ Evaluaciones de Programa y Presupuesto de las Estaciones de Servicio ▪ Auditoría Ambientales de Cumplimiento ▪ Inspecciones de Campo en toda la parte Ambiental de Control ▪ Monitores de Descargas Líquidas de las Estaciones de Servicio ▪ Programa de Reforestación
Diciembre 2018- Diciembre 2019 Ambato, Ecuador	<p>Fundación Alta Voz FM “Escucha tus Sentidos ” <u>Cargo:</u> Promotora Ambiental <u>Tareas realizadas:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Proyectos de sensibilización a Escuelas, Colegios, barrios, comunidades indígenas de la Provincia de Tungurahua en temas Ambientales. ▪ Coordinación en Proyectos Socio Ambientales de los establecimientos Educativos. ▪ Proyectos de forestación con Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, Parroquiales y establecimientos Educativos. ▪ Facilitadora en la Escuela de Liderazgo Ambiental y Gestión del Agua del Gobierno Provincial.

FORMACIONES ADICIONALES

Organizador	Tema	Tiempo	Año
Faculta de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales Universidad Técnica de Cotopaxi	II Jornada de Difusión de la Investigación Ambiental	40 horas	2020
Universidad Técnica de Cotopaxi	Curso-Taller de Diseño de Plantas de Tratamiento	40 horas	2019
El Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua y la Fundación ACRA	Primer Simposio Ecosistema Forestal y su Incidencia en el Cambio Climático	8 horas	2019
Faculta de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales Universidad Técnica de Cotopaxi	I Jornada de Difusión de la Investigación Ambiental	40 horas	2019
El Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincial de Cotopaxi y la Universidad Técnica de Cotopaxi	Seminario Nacional Ambiental	16 horas	2018
Universidad Técnica de Cotopaxi	Seminario Internacional en Fiscalización, Seguimiento y Control Ambiental	40 horas	2018

Ministerio del Ambiente	Estado de Conservación del Cóndor Andino en Ecuador y el oso de anteojos en Ecuador	8 horas	2018
Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial Cotopaxi	Capacitación a los Sujetos de Control en Planes de Manejo Ambiental, Planes de Acción, Planes de Emergencia, Informes de Cumplimiento Y Auditorias en el Cantón Latacunga, Enfocado en la Educación sobre los Problemas de Cambio Climático	8 horas	2018
Universidad Técnica de Cotopaxi Ingeniería Ambiental	Los Recursos Hídricos en la Provincia de Cotopaxi	8 horas	2018
Cecatere	Congreso Internacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales	40 horas	2017
Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial Cotopaxi	Seminario de Capacitación en Calidad Ambiental	8 horas	2016

REFERENCIA LABORAL

Ing. Diego Cisneros Galarza

H. Gobierno Provincial de Tungurahua (Ambato - Ecuador)
 Director de Gestión de Calidad y Control Ambiental
 Teléfono: 0995666636 E-mail: ambiental@tungurahua.gob.ec

Lcda. Jessica Acosta Fiallos

H. Gobierno Provincial de Tungurahua (Ambato - Ecuador)
 Técnica Ambiental
 Teléfono: 0998739375 E-mail: jessik_2082@hotmail.com

Psic. Clin. Washington Fabián Rojas

Fundación Alta voz “Escucha tus Sentidos ” (Ambato - Ecuador)
 Director de Fundación Alta voz
 Teléfono: 0984505903 E-mail: asociacionaltavoz008@gmail.com /
ps.cli_fabianrojas@yahoo.es

REFERENCIA PERSONALES

Ing. Pamela Morales

Productora de Gelatina Ecuatoriana (Prodegel) (Ambato - Ecuador)
 Analista de Talento Humano
 Teléfono: 0987427457
 E-mail: pamela.morales@gelcointernational.com

Lcda. Diana Verónica Tite

H. Gobierno Provincial de Tungurahua (Ambato - Ecuador)

Técnica Ambiental

Teléfono: 0967946399 E-mail: diana.tite@tungurahua.gob.ec

Dr. C. Wilson Salas A. PhD

Universidad Regional Autónoma de los Andes “UNIANDES”

Decano de la Facultad de Dirección de Empresas

Teléfono: 0987465699

E-mail: salawilson@hotmail.com / decanaturafde@uniandes.edu.ec

P.J.D

2020/10/21