



**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 DEL AGUA DEL RÍO PITA, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2013-2019”**

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

**Autor:**

Ashanka Vargas Matteo Anthony

**Tutora:**

Ruiz Depablos Joseline Msc.

**LATACUNGA - ECUADOR**

**Septiembre 2020**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

**Matteo Anthony Ashanka Vargas**, con cédula de ciudadanía No. **1600704660**, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“Estudio de la Calidad del Agua del Río Pita, ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito en el Periodo 2013-2019”** siendo la Msc. 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 investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 18 de septiembre del 2020

---

Matteo Anthony Ashanka Vargas  
C.C. 1600704660

## **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 **MATTEO ANTHONY ASHANKA VARGAS**, identificado con cédula de ciudadanía No. **1600704660**, de estado civil Soltero y con domicilio en el Cantón Quito, 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 estudiantes de la carrera de **Ingeniería de Medio Ambiente**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **Estudio de Caso** cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Fecha de inicio de carrera: Abril 2015 - Agosto 2015

Fecha de finalización: Mayo 2020 – Septiembre 2020

Aprobación en Consejo Directivo: 07 de julio del 2020

Tutora. Prof. Msc. Joseline Luisa Ruiz Depablos

Tema: **“Estudio de la Calidad del Agua del Río Pita, 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.
- e) 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 de **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 utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL 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 18 días del mes de septiembre del 2020.

---

Matteo Anthony Ashanka Vargas

**EL CEDENTE**

---

Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL ESTUDIO DE CASO**

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

**“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PITA, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2013-2019”** de Matteo Anthony Ashanka Vargas, de la carrera de Ingeniería de Medio Ambiente, considero 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, 18 de septiembre del 2020

---

Prof. Msc. Joseline Luisa Ruiz Depablos  
**TUTORA DEL PROYECTO**  
C.I:1758739062

## **AVAL DE LOS LECTORES DEL ESTUDIO DE CASO**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación 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: Ashanka Vargas Matteo Anthony, con el título del Proyecto de Investigación: **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PITA, 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 sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

Latacunga, 18 de septiembre del 2020

---

Lcdo. Msc. Patricio Clavijo Cevallos  
LECTOR 1 (PRESIDENTE)  
CC: 0501444582

---

Lcdo. Mg. Jaime Lema Pillalaza  
LECTOR 2  
CC: 1713759932

---

Ing. Mg. José Agreda Oña  
LECTOR 3  
CC: 0401332101

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser mi guía en el trayecto de mi carrera y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades, y permitirme culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (**CAREN**), especialmente a la carrera de Ingeniería Ambiental por darme la oportunidad de formar parte de ella, y hacer de mi un ser humano con sólidos conocimientos en el área ambiental.

A la Msc. Joseline Ruiz, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización del presente proyecto de investigación.

A mis amigos de la universidad: Santiago Mariño, Emilio Proaño, Geovany Juiña, Javier Pilalumbo, Jeison Landeta, Stéfano Landeta, Josué Ferrin, Isaac Salas, Erick Abril, Jhon Jairo Sevilla, Cintia Placencia, Dayana Ante, Shirley Chiguano, por dejar en mí una huella de cariño y recuerdos únicos.

*Matteo Anthony Ashanka Vargas*

## **DEDICATORIA**

*A Dios por proveerme de sabiduría y fuerza para continuar en el proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados.*

*A mis padres: Guillermo Ashanka y Rebeca Vargas, les dedico este trabajo por ser las más sublimes inspiraciones en mi vida. Gracias papás por construirme con el carácter necesario para conocer la libertad e independencia y culminar esta etapa de mi vida. Gracias por las lecciones de vida y especialmente por mostrarme que el esfuerzo es la recompensa del mañana.*

*A mis hermanos; Mónica Ashanka y Lourdes Ashanka por la confianza y apoyo incondicional depositado en mí.*

*A mi hermana, Lcda. Fanny Ashanka por ser mi ejemplo a seguir.*

*Matteo Anthony*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO:** “ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PITA, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, PERIODO 2013 - 2019”.

**AUTOR:** Ashanka Vargas Matteo Anthony

**RESUMEN**

Los cuerpos de agua actualmente se encuentran expuestos a la contaminación natural, producto de deslaves, escorrentías, ciclones entre otras, y a la de origen antrópico, siendo esta última la causante de los principales efectos adversos. La presente investigación tiene como finalidad evaluar la calidad de agua del río Pita, ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito en el periodo 2013-2019, posteriormente se aplica un modelo matemático para la estimación de la calidad del agua en un plazo de 4 años. Los datos se obtuvieron mediante la base de datos de la Red Metropolitana de monitoreo del recurso hídrico, y con la aplicación de la metodología ISQA (Índice Simplificado de Calidad de Agua). Los resultados de análisis fisicoquímicos en el periodo 2013-2019, mostraron que el agua del río Pita presentó bajas concentraciones de DQO que oscilan entre  $10,9 \text{ mgL}^{-1}$  en el año 2019 a  $14,4 \text{ mgL}^{-1}$  en el año 2013, los SST fluctuaron entre  $14,7 \text{ mgL}^{-1}$  en el 2019 a  $50 \text{ mgL}^{-1}$ , en el 2016, la CE varió entre  $176,8 \text{ uS/cm}$  en el 2019 a  $197,5 \text{ uS/cm}$  en el 2018, la Temperatura osciló entre  $12,3^{\circ}\text{C}$  en el 2013 a  $13,3^{\circ}\text{C}$  en el 2019 y el OD fluctuó entre  $6,9 \text{ mgL}^{-1}$  en el 2016 a  $8,1 \text{ mgL}^{-1}$  en el 2018, y se determinó valores de calidad entre el rango 70-90 lo cual clasifica la calidad de agua como buena, apto para consumo humano previo a tratamientos convencionales, utilizable para cultivos poco resistente y uso recreacional, por otro lado, se apreció que solo tres meses en todo el periodo mostraron valores de calidad entre 90-100, estimada como estado natural del agua de excelente calidad, apto para todos los usos y no requiere tratamiento para riego. Adicionalmente, se aplicó un modelamiento matemático predictivo, usando el método de descomposición de series de tiempo, el cual mediante una ecuación matemática relaciona los componentes de series de tiempo como la tendencia y la estacionalidad, el modelo mostró que las concentraciones de DQO, SST y T disminuirán en el tiempo mientras que las concentraciones de OD y CE, tendrán un mínimo incremento en los periodos 2020-2023, la calidad del agua en este periodo tomará valores de 70-90, clasificada como agua de buena calidad.

Según la normativa ecuatoriana (TULSMA), Libro VI, Anexo 1, Tabla 6, sobre criterios de calidad de agua para fines recreativos, el parámetro OD no superó el LMP y según los estándares de calidad de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), las concentraciones de Temperatura y CE no superan el LMP. Se establece que el agua del río Pita se encuentra en condiciones óptima de uso para actividades recreativas y consumo humano previo a tratamientos convencionales, y se espera una calidad de agua buena para los 4 años futuros.

**Palabras Clave:** Calidad de agua, Índice ISQA, Método de descomposición de series temporales, Modelación matemática, Parámetros fisicoquímicos, Pronóstico, TULSMA, USEPA.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES**

**THEME: “STUDY OF THE WATER QUALITY OF THE “PITA” RIVER, LOCATED IN THE METROPOLITAN DISTRICT OF QUITO, PERIOD 2013 - 2019”.**

**AUTHOR:** Ashanka Vargas Matteo Anthony

**ABSTRACT**

The bodies of water are currently exposed to natural contamination due to landslides, runoffs, cyclones, among others, and to that of anthropic origin, the latter being the cause of the main adverse effects. This research aims to evaluate the water quality of the “Pita River”, located within the Metropolitan District of Quito in the 2013-2019 period. Subsequently, a mathematical model is applied to estimate the water quality in 4 years. The data was obtained through the Metropolitan Network database of water resource monitoring and the application of the ISQA methodology (Simplified Water Quality Index). The results of physicochemical analysis in the period 2013-2019 showed that the water of the “Pita” river presented low concentrations of COD that oscillate between 10.9 mgL<sup>-1</sup> in the 2019 year to 14.4 mgL<sup>-1</sup> in the 2013 year, the TSS fluctuated between 14, 7 mgL<sup>-1</sup> in 2019 to 50 mgL<sup>-1</sup> in 2016, the EC ranged from 176.8 uS/cm in 2019 to 197.5 uS/cm in 2018, the temperature ranged from 12.3°C in 2013 to 13.3°C in 2019 and the OD fluctuated from 6.9 mgL<sup>-1</sup> in 2016 to 8, 1 mgL<sup>-1</sup> in 2018, and quality values were determined between the range 70-90 which classifies the quality of water as good, suitable for human consumption prior to conventional treatments, usable for low-resistance crops and recreational use. On the other hand, it was appreciated that only three months in the entire period showed quality values between 90-100, estimated as a natural state of water of excellent quality, suitable for all uses and does not require treatment for irrigation. Additionally, a predictive mathematical modeling was applied, using the method of decomposition of time series, which through a mathematical equation relates the components of time series as the trend and seasonality, the model showed that the concentrations of COD, TSS and T will decrease over time while the concentrations of OD and EC, will have a minimum increase in the periods 2020-2023, water quality in this period will take values of 70-90, classified as good quality water. According to Ecuadorian regulations (TULSMA), Book VI, Annex 1, Table 6, on water quality criteria for recreational purposes, the parameter OD did not exceed the LMP and according to the quality standards of the United States Environmental Protection Agency (USEPA), the concentrations of Temperature and EC do not exceed the LMP. It is established that the water of the “Pita” River is in optimal conditions of use for recreational activities and human consumption prior to conventional treatments, and good water quality is expected for the four future years.

**Keywords:** water quality, ISQA Index, time series decomposition method, mathematical modeling, physical-chemical parameters, prognosis, TULSMA, USEPA.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA</b> .....	ii
<b>CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR</b> .....	iii
<b>AVAL DEL TUTOR DEL ESTUDIO DE CASO</b> .....	vi
<b>AVAL DE LOS LECTORES DEL ESTUDIO DE CASO</b> .....	vii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	viii
<b>DEDICATORIA</b> .....	ix
<b>RESUMEN</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>1. INFORMACIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>3. PROPÓSITO</b> .....	3
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	4
<b>5. PREGUNTAS DE REFLEXIÓN</b> .....	5
<b>6. LAS UNIDADES DE ANÁLISIS QUE DELIMITARÁN LAS FRONTERAS</b> .....	6
<b>7. FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	8
7.1. Distrito Metropolitano de Quito .....	8
7.2. Ríos .....	8
7.2.1. Río Pita .....	8
7.3. Recurso Hídrico .....	9
7.4. Ciclo Hidrológico del Agua .....	9
7.5. Fuentes de Agua.....	10
7.5.1. Tipos de Fuentes de Agua .....	10
7.5.1.1. Agua de Lluvia .....	10
7.5.1.2. Aguas Subterráneas .....	10
7.5.1.3. Agua Superficial.....	11
7.6. Uso del Agua .....	11
7.7. Clasificación del agua según sus usos .....	11
7.7.1. Consumo humano o doméstico.....	11
7.7.2. Uso agrícola.....	12
7.7.3. Uso industrial y minero .....	12
7.7.4. Uso urbano.....	12

7.8.	Contaminación del Agua .....	12
7.8.1.	Tipos de contaminación.....	12
7.8.2.	Fuentes de Contaminación del Agua.....	13
7.8.2.1.	Fuentes naturales .....	13
7.8.2.2.	Fuentes artificiales.....	13
7.8.2.3.	Urbana .....	13
7.8.2.4.	Agrícola y Ganadera.....	13
7.8.2.5.	Industrias .....	14
7.9.	Calidad de Agua.....	14
7.10.	Métodos para la determinación de la calidad del agua .....	14
7.10.1.	Método Biológico.....	14
7.10.2.	Método físico-químico. ....	15
7.11.	Parámetros físicos, químicos y biológicos.....	15
7.11.1.	Parámetros Físicos.....	15
7.11.1.1.	Turbidez .....	15
7.11.1.2.	Color.....	15
7.11.1.3.	Temperatura .....	16
7.11.1.4.	Conductividad .....	16
7.11.1.5.	Sólidos suspendidos totales.....	16
7.11.2.	Parámetros Químicos.....	16
7.11.2.1.	Potencial de hidrógeno .....	16
7.11.2.2.	Demanda Química de Oxígeno .....	17
7.11.2.3.	Oxígeno Disuelto.....	17
7.11.2.4.	Nitratos .....	17
7.11.2.5.	Nitritos.....	17
7.11.2.6.	Fosfatos .....	17
7.11.2.7.	Sulfatos.....	18
7.11.3.	Parámetros Biológicos.....	18
7.11.3.1.	Coliformes totales y fecales .....	18
7.12.	Legislación Vigente en Ecuador .....	18
7.12.1.	Ley de aguas .....	18
7.12.2.	TULSMA.....	19
7.13.	Caracterización Climática.....	19
7.14.	Índice de Calidad del Agua (ICA) .....	19

7.14.1.	Índice de Calidad de Agua "Water Quality Index" (WQI).....	20
7.14.2.	Índice de Calidad de Agua de Oregon (OWQI) .....	20
7.14.3.	Índice de Calidad de Agua (UWQI) .....	21
7.14.4.	Índice de Calidad del Agua (CWQI) .....	21
7.14.5.	Índice de calidad de agua según HORTON.....	21
7.14.6.	Índice de calidad de agua “Biological Monitoring Working Party” (BMWP)...	22
7.14.7.	Índice de Calidad de Agua según Dinius.....	22
7.14.8.	Índice de Calidad de Agua (ICAUCA).....	23
7.14.9.	Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA).....	23
7.15.	Modelos Matemáticos .....	23
7.15.1.	Series Temporales.....	24
7.15.2.	Clasificación descriptiva de series de Temporales .....	24
7.15.3.	Tipos de modelos de series Temporales .....	24
7.15.4.	Componentes de series de Tiempo .....	25
7.15.5.	Pronóstico de series de tiempo .....	25
7.15.6.	Método de descomposición de series: modelo aditivo, tendencial más estacional.....	25
7.16.	Software Minitab 19 .....	26
7.17.	Indicadores de Pronóstico .....	26
7.18.	Métodos utilizados .....	27
<b>8.</b>	<b>PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>28</b>
8.1.	Descripción de la Zona de estudio .....	28
8.2.	Selección del Caso .....	30
8.3.	Acceso al Campo .....	30
8.4.	Recolección de la Información .....	31
8.4.1.	Información Cartográfica .....	31
8.4.2.	Recolección de la Data .....	31
8.4.3.	Recolección de los datos de las variables Meteorológicas .....	31
8.5.	Análisis de Datos .....	32
8.5.1.	Recolección de las muestras .....	32
8.5.2.	Selección de la Metodología ICA.....	33
8.5.3.	Conformación de la base de datos inicial .....	33
8.5.4.	Análisis de la base de datos y discriminación de valores atípicos.....	33
8.5.5.	Análisis de base de datos para serie de tiempo.....	37

8.5.6.	Completación de datos con el método de los promedios.....	37
8.5.6.1.	Análisis de datos.....	38
8.5.7.	Índice Simplificado de calidad de Agua.....	40
8.5.8.	Modelación matemática.....	42
<b>8.6.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>44</b>
8.6.1.	Conformación de la base de datos .....	44
8.6.2.	Características Hydroclimáticas .....	45
8.6.2.1.	Precipitación.....	45
8.6.2.2.	Temperatura .....	46
8.6.2.3.	Evaporación Potencial.....	47
8.6.2.4.	Análisis de las épocas estacionales periodo 2013 – 2019 .....	47
8.6.3.	Análisis de los Parámetros fisicoquímicos .....	48
8.6.3.1.	Temperatura .....	48
8.6.3.2.	Demanda Química de Oxígeno .....	48
8.6.3.3.	Sólidos Suspendidos Totales.....	49
8.6.3.4.	Conductividad Eléctrica .....	50
8.6.3.5.	Oxígeno Disuelto.....	51
8.6.3.6.	Concentraciones anuales de Parámetros Fisicoquímicos.....	51
8.6.4.	Índice Simplificado de calidad del Agua (ISQA) periodo 2013-2019 .....	52
8.6.5.	Base de datos final para la serie de tiempo.....	54
8.6.5.1.	Análisis estadísticos de los datos de la serie de tiempo .....	55
8.6.6.	Pronóstico de series de tiempo .....	55
8.6.6.1.	Temperatura .....	55
8.6.6.2.	Demanda Química de Oxígeno .....	56
8.6.6.3.	Sólidos Suspendidos Totales.....	57
8.6.6.4.	Conductividad Eléctrica .....	58
8.6.6.5.	Oxígeno Disuelto.....	59
8.6.7.	Índice Simplificado de calidad de agua para el periodo 2020-2023.....	60
<b>9.</b>	<b>LA NARRACIÓN DEL CASO (DISCUSIÓN) .....</b>	<b>64</b>
<b>10.</b>	<b>LECCIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
10.1.	Lecciones .....	67
10.2.	Recomendaciones .....	68
<b>11.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>69</b>
<b>12.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

tabla 1. Estación meteorológica “Izobamba” .....	29
tabla 2. Métodos de análisis de parámetros fisicoquímicos analizados in situ y laboratorio ...	32
tabla 3. Estadísticos descriptivos de parámetros fisicoquímicos del río Pita periodo 2013-2019.....	34
tabla 4. Estadísticos descriptivos de parámetros fisicoquímicos del río Pita periodo 2016-2019.....	38
tabla 5. Clasificación de la calidad de agua del ICA – ISQA.....	42
tabla 6. Base de datos de parámetros fisicoquímicos para el cálculo del ISQA periodo 2013-2019.....	44
tabla 7. Calidad del agua del río Pita en base a los resultados del ISQA mensuales y anual, periodo 2013-2019 .....	52
tabla 8. Calidad del agua del río Pita según el ISQA para la época seca y lluviosa en el periodo 2013-2019 .....	53
tabla 9. Base de datos de la serie de tiempo de los parámetros fisicoquímicos del río Pita periodo 2016-2019 .....	54
tabla 10. Estadísticos descriptivos de la base de datos de la serie de tiempo, periodo 2016-2019 .....	55
tabla 11. Calidad del agua del río Pita de acuerdo a la metodología ISQA periodo 2020-2023.....	60
tabla 12. Calidad del agua del río Pita según el isqa para la época seca y lluviosa en el periodo 2020-2023 .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Río Pita .....	7
Figura 2. Mapa de la Zona de Estudio.....	28
Figura 3. Precipitación Media Anual Estación “Izobamba” Periodo 2013-2019.....	29
Figura 4. Temperatura Media Anual Estación “Izobamba” Periodo 2013-2019 .....	30
Figura 5. Boxplot de los Parámetros Fisicoquímicos del Río Pita del Periodo 2013 – 2019.	35
Figura 6. Histogramas de frecuencia de los Parámetros Fisicoquímicos del Río Pita del Periodo 2013 - 2019.....	36
Figura 7. Boxplot de los Parámetros Fisicoquímicos del Río Pita del Periodo 2016 – 2019...	39
Figura 8. Histogramas de frecuencia de los Parámetros Fisicoquímicos del Río Pita del Periodo 2016 - 2019.....	40
Figura 9. Precipitación Media Mensual de la Estación Izobamba en el Periodo 2013-2019 ...	46
Figura 10. Temperatura Media Mensual de la Estación Izobamba en el Periodo 2013-2019.	46
Figura 11. Evaporación Potencial Media Mensual de la Estación Izobamba en el Periodo 2013-2019.....	47
Figura 12. Diagrama Ombrotérmico de Gausson Estación “Izobamba” .....	47
Figura 13. Variación de la Concentración del Parámetro (T) en el Rio Pita Periodo 2013 - 2019 .....	48
Figura 14. Variación de la Concentración del DQO en el Rio Pita Periodo 2013 - 2019 .....	49
Figura 15. Variación de la Concentración del Parámetro SST en el Rio Pita Periodo 2013 - 2019.....	50
Figura 16. Variación de la Concentración del Parámetro CE en el Rio Pita Periodo 2013 - 2019 .....	50
Figura 17. Variación de la Concentración del Parámetro OD en el Rio Pita Periodo 2013 - 2019 .....	51
Figura 18. Valores Anuales de Parámetros Fisicoquímico del Rio Pita Periodo 2013-2019...	52
Figura 19. Variación de Temperatura del Río Pita Para el Periodo 2020-2023 .....	56
Figura 20. Variación del Demanda Química de Oxígeno en el Río Pita Para el Periodo 2020-2023.....	57
Figura 21. Variación del Parámetro Sólidos Suspendidos Totales en el Río Pita Para el Periodo 2020-2023.....	58
Figura 22. Variación del Parámetro Conductividad Eléctrica en el Río Pita Para el Periodo 2020-2023.....	59

Figura 23. Variación del Parámetro Oxígeno Disuelto en el Río Pita Para el Periodo 2020-2023 .....	60
Figura 24. Comportamiento Anual de la Calidad del Agua del Rio Pita Periodo 2020-2023..	62
Figura 25. Comportamiento de la Calidad del Agua del Rio Pita en la Época Seca y Lluviosa, Periodo 2020-2023 .....	63

## ÍNDICE DE ANEXOS

### PÁGINAS

Anexo 1. Metodologías para el Cálculo ICA Utilizadas a Nivel Mundial .....	73
Anexo 2. Base de Datos Inicial Periodo 2013-2019.....	75
Anexo 3. Gráficas de Control de las Concentraciones Fisicoquímicos del Río Pita.....	77
Anexo 4. Base de Datos Parámetros Físicos Químicos Periodo 2013-2019.....	79
Anexo 5. Prueba Z Score en la Base de Datos de concentraciones Fisicoquímicos del Río Pita Periodo 2013-2019 .....	80
Anexo 6. Base de Datos Inicial de Series de Tiempo Periodo 2016-2019.....	81
Anexo 7. Curvas de Doble Masa - Análisis de Consistencia de Datos .....	82
Anexo 8. Interpolación de la Base de Datos y Prueba de Valores Z Periodo 2016-2019 .....	85
Anexo 9. Base de datos final de Serie de Tiempo Sin Datos Atípicos Periodo 2016-2019 .....	87
Anexo 10. Serie Mensuales de Datos Meteorológico.....	89
Anexo 11. Datos Meteorológicos Medias Mensuales, Periodo 2013 – 2019.....	90
Anexo 12. Valores Medios Anuales de Parámetros Climatológicas Periodo 2013 – 2019 .....	91
Anexo 13. Cálculo del ISQA Mensual, Anual y por Épocas del Río Pita en el Periodo 2013- 2019.....	91
Anexo 14. Método de Descomposición de Series de Tiempo de Temperatura.....	93
Anexo 15. Datos de Ajuste Tendencial, Estacionalidad y Error, de la Temperatura .....	94
Anexo 16. Método de Descomposición de Series de Tiempo del Demanda Química de Oxígeno .....	95
Anexo 17. Datos de Ajuste Tendencial, Estacionalidad y Error del DQO.....	96
Anexo 18. Método de Descomposición de Series de Tiempo del Sólidos Suspendidos Totales .....	97
Anexo 19. Datos de Ajuste Tendencial, Estacionalidad y Error SST .....	98
Anexo 20. Método de Descomposición de Series de Tiempo de la Conductividad Eléctrica .	99
Anexo 21. Dato de Ajuste Tendencial, Estacionalidad y Error, CE.....	100
Anexo 22. Método de Descomposición de Series de Tiempo del Parámetro Oxígeno Disuelto .....	101
Anexo 23. Datos de Ajuste Tendencial, Estacionalidad y Error, Oxígeno Disuelto.....	102
Anexo 24. Resultados del Pronóstico de Parámetros Fisicoquímico, Período 2020-2023.....	103
Anexo 25. Cálculo del ISQA Mensual, Anual y por Épocas del Río Pita Periodo 2020- 2023.....	105
Anexo 26. Cálculo de los Errores del Pronóstico de la Calidad de Agua del Río Pita .....	107

Anexo 27. Criterios de Calidad del Agua Destinadas a Fines Recreativos Mediante (TULSMA)	108
.....	
Anexo 28. Aval de Traducción.....	109
Anexo 29. Curriculum Vitae del	
Autor.....	
.....	38

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del Estudio de Caso:**

Estudio de la calidad del agua del río Pita, 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:** Provincia de Pichincha, Cantón Rumiñahui, Parroquia Pintag, Sector Captación Molinuco EEQ.

### **Facultad que auspicia:**

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

### **Carrera que auspicia:**

Ingeniería en Medio Ambiente

### **Equipo de Trabajo:**

**Tutora:** Msc. Ruiz Depablos Joseline Luisa

**Autor:** Ashanka Vargas Matteo Anthony

### **Lectores:**

**Msc.** Patricio Clavijo (Lector 1)

**Mg.** Jaime Lema (Lector 2)

**Ing.** José Agreda (Lector 3)

**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:** Impactos Ambientales

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

## 2. INTRODUCCIÓN

SENAGUA (2010) manifiesta:

Ecuador es uno de los países privilegiados al contar con un estrés hídrico menor al 30% y con una importante red hidrográfica originada en la cordillera de los Andes que desembocan en el río Amazonas y océano Pacífico. Actualmente la mayoría de sus ríos presentan grandes impactos debido al crecimiento demográfico, industrial, usos de sustancias químicas, disposición final inadecuada de residuos y desechos peligrosos, actividades ganaderas, cultivos intensivos de la tierra, riego y actividad artesanal, lo que ha provocado un desequilibrio en la calidad del agua.

Villa (2011) señala las causas de la contaminación de los cuerpos de aguas:

Los grandes retos que enfrenta la gestión integral de los recursos hídricos es la contaminación de los cuerpos de agua superficial y subterráneos. La contaminación de los recursos hídricos y la degradación de los ecosistemas asociados a ellos, es uno de los principales problemas que afecta al desarrollo de la sociedad. La contaminación y el uso irresponsable, ha provocado la disminución en cantidad y calidad de este recurso, causando efectos negativos en la salud del hombre y su ambiente.

Hoy en día se evidencian diferentes metodologías para estimar el índice de calidad de un cuerpo de agua, desarrolladas a nivel mundial

El índice de calidad del Agua (ICA) es una herramienta que permite diagnosticar la calidad del agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un periodo de tiempo determinado, utilizando datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, su objetivo es determinar y evaluar el estado actual del agua, con la aplicación de diversas metodologías, (Caho & López , 2017).

FONAG (2014) menciona:

El río Pita es una de las principales fuentes hídricas que abastece de agua potable al distrito metropolitano de Quito, forma parte de la cuenca alta del río Guayllamba, la cual a su vez es parte de la cuenca del río Esmeraldas que desemboca en las costas del Pacífico ecuatoriano

El presente trabajo de investigación se propone estudiar cinco parámetros fisicoquímicos tales como, la demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales,

conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto, y evaluar el índice de calidad de agua del río Pita, en dos periodos estacionales época seca y lluviosa, determinando su comportamiento en 4 años histórico y 4 años futuros, mediante la base de datos de la Red Metropolitana de monitoreo del recurso hídrico en el período 2013 – 2019. Los resultados obtenidos servirán para estimar las condiciones en la que se encuentra el recurso agua, e identificar el uso apto.

### **3. PROPÓSITO**

La investigación tiene como finalidad estudiar el comportamiento espacial y temporal de cinco parámetros fisicoquímicos (Demanda Química De Oxígeno, Solidos Suspendidos Totales, Conductividad Eléctrica, Temperatura y Oxígeno Disuelto), y evaluar el índice de calidad de agua del río Pita, ubicado dentro del Distrito Metropolitano de Quito en el periodo 2013-2019.

Mediante la base de datos de la Red Metropolitana de monitoreo del recurso hídrico, y con la aplicación de la metodología ISQA (Índice Simplificado de Calidad de Agua), y tomando como referencia el punto de monitoreo establecido por la Secretaría de Ambiente de Quito se evaluará el índice de calidad de agua del Río Pita, en un periodo de 4 años históricos y 4 años futuros.

La aplicación del modelo matemático, permite pronosticar el comportamiento de los cinco parámetros fisicoquímicos estudiados, como el DQO, SST, CE, OD, TMP, en un periodo de 4 años futuros (2020-2023), para efecto se utilizará el software MINITAB19 y la aplicación de un modelo que se adapte adecuadamente a los datos observados.

Los resultados serán socializados con la comunidad universitaria, autoridades competentes y la comunidad en general, este aporte permite tomar medidas optimas en función de los resultados obtenidos. Una vez ejecutado el proyecto se hará el uso de esta información con fines académicos y científicos, siendo beneficiarios primarios toda la comunidad universitaria, por el libre uso de la información que se hallará en el repositorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

El Consejo Metropolitano de Quito (2012) resalta la importancia de los ríos en el Ecuador:

En el Ecuador los ríos constituyen la mayor fuente de agua dulce superficial. A pesar de que es abundante, especialmente cerca de las áreas pobladas, la contaminación biológica y química de los sistemas de abastecimiento de agua superficial se ve agravada frecuentemente por el crecimiento de la población, por esta razón se necesita generar investigaciones que contribuyan a un conocimiento más profundo del funcionamiento del sistema hidrológico y de la calidad del recurso agua lo cual requiere mayor preocupación tanto para los habitantes como para la realización de sus actividades diarias, y así poder implementar programas de restauración o conservación al mismo.

Es indispensable realizar estudios sobre la calidad del agua a lo largo del río Pita:

El río Pita se encuentra cada vez más influenciado por las actividades antrópicas, como la captación agua para riego o potabilización, descargas directas de aguas servidas y desechos provenientes de cuencas de drenaje urbano e industriales, actividades agrícolas, florícolas y ganaderas, zonas destinadas al turismo entre otras, todas estas actividades pueden contribuir con la contaminación del río Pita en sitios específicos, (Simbaña et al, 2019).

Conociendo la calidad del agua del río Pita, se puede establecer los tratamientos fisicoquímicos, y biológicos necesarios para disminuir los impactos negativos hacia el río y sus alrededores, en este contexto se lleva a cabo el presente trabajo de investigación, planteándose como objetivo, el estudio de la calidad del agua del río Pita perteneciente al DMQ en el periodo 2013-2019. Información que estará disponible con fines académicos y científicos, siendo beneficiarios primarios toda la comunidad universitaria, especialmente la carrera de ingeniería ambiental por el libre uso de la información.

Simbaña et al, (2019) manifiesta:

Existen diferentes protocolos para evaluar la calidad del agua de los ríos, tales como, métodos físicos, químicos y biológico sin embargo existen metodologías más utilizadas a nivel mundial, dentro de estos se tiene a los “índices de calidad del agua”. El índice de calidad del agua de la fundación Nacional de saneamiento (ICA-NSF) de los estados unidos.

Gómez et al, 2014 señala los “índices de calidad de agua propuesto por Dinius; índice

universal de la calidad del agua (UWQI) y el índice simplificado de calidad de agua (ISQA), que evalúan diferentes parámetros mediante una ecuación matemática”

El presente estudio exploratorio suministra información útil y fácil de aplicación e identificación de impactos ambientales, sociales y económicos, contribuyendo a la toma de decisiones ambientalmente responsables, e incentivando a la sociedad a implementar proyectos relacionados a la protección y conservación del recurso hídrico con una visión amplia y responsable en cuanto al aprovechamiento de este recurso, de esta manera valiendo como aporte para la implantación de medidas de mitigación a los posibles impactos futuros.

Cabe recalcar que la ejecución de la presente investigación, refleja los conocimientos académicos impartidos en la institución, sirviendo como información científica para futuras investigaciones que se las pueden ejecutar en diferentes cuerpos de agua que necesiten ser analizadas

## **5. PREGUNTAS DE REFLEXIÓN**

¿Cómo será la variación de los parámetros fisicoquímicos, (DQO, SST, CE, Temperatura, OD) en el río Pita durante el periodo 2013-2019?

¿Cómo será la variación del ICA-ISQA del río Pita en el periodo 2013-2019?

¿Cuál será el uso apto del agua del río Pita?

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

En el periodo 2013-2019 el parámetro Demanda Química de Oxígeno tuvo variaciones de  $10,9 \text{ mgL}^{-1}$  a  $14,4 \text{ mgL}^{-1}$  con una media de  $11,3 \text{ mgL}^{-1}$ , el parámetro Sólidos Suspendidos Totales oscilaron entre  $14,7 \text{ mgL}^{-1}$  a  $50 \text{ mgL}^{-1}$  con una media de  $30,1 \text{ mgL}^{-1}$ , el parámetro Conductividad Eléctrica oscilaron entre 176,8 a 197,5 uS/cm con una media de 189,5 uS/cm, el parámetro Temperatura oscilaron entre 12,3 a 13,8°C con una media de 13,1°C y el parámetro Oxígeno Disuelto tuvo fluctuaciones de  $6,9 \text{ mgL}^{-1}$  a  $8,1 \text{ mgL}^{-1}$  con una media de  $7,6 \text{ mgL}^{-1}$ .

El río Pita durante el periodo 2013-2019 presentó valores de ISQA que varían de 78,6 para el año 2013, para el 2016 un valor de 73,2, para el 2018 un valor de 77,03 y para el 2019 un valor de 79,9, siendo valores que se encuentran en un rango de calidad del 70-90.

El agua del río Pita mostró uso apto para consumo humano previo a tratamientos convencionales, utilizable para cultivos poco resistente y uso recreacional.

El río Pita para el periodo 2020-2023 presentará valores del ISQA que se encuentran en un rango de calidad de 70 a 90 clasificada como agua de Buena calidad.

## **6. LAS UNIDADES DE ANÁLISIS QUE DELIMITARÁN LAS FRONTERAS**

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2011) afirma:

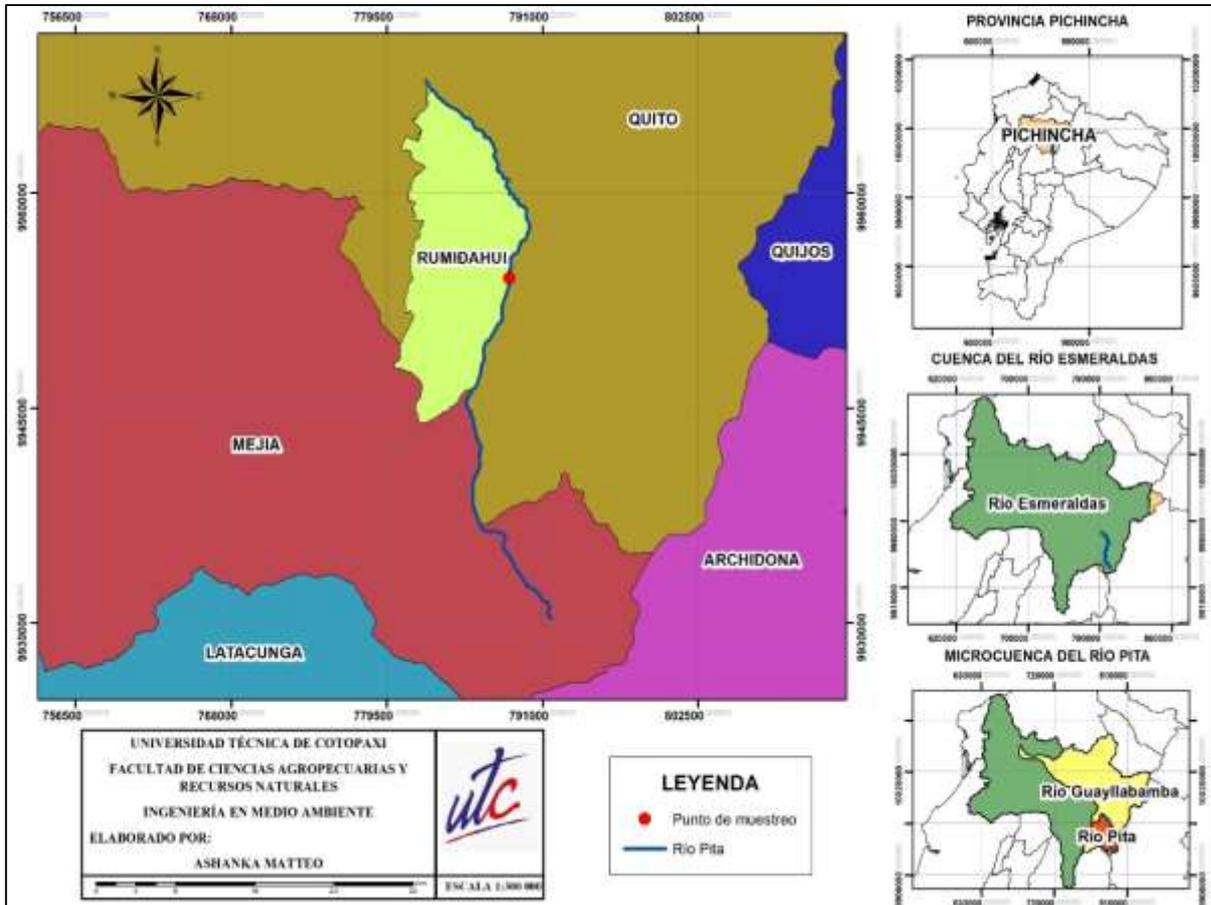
El Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) ocupa una superficie de 4.235,2 km<sup>2</sup> y alberga al 15,5% de la población nacional. Según el censo de la población y vivienda 2010, tiene 2.239.191 habitantes mucho mayor al 2001 y se estima que para el año 2022, la población será de casi 4,8 millones de habitantes, de los cuales el 68.7% residirá en el área urbana, lo que generará que la demanda media diaria de agua potable se incremente de 7200 a 10300 L/s.

El Consejo Metropolitano de Quito (2012), menciona que “los ríos más importantes del DMQ son los ríos Machángara, Monjas, San Pedro, Pita, Guayllabamba, estos ríos presentan diversos grados de contaminación debido a las actividades humanas desarrolladas en la zona por donde cursan sus aguas”.

EPMAPS (2011) aclara que “según datos del Plan de Desarrollo 2012-2022 emitido por la Alcaldía de Quito, estos ríos reciben el 90% de las descargas hídricas de la ciudad de Quito y el 10% pertenece a descargas no registradas”.

El estudio permitirá mostrar la variabilidad de los cinco parámetros fisicoquímico (DQO, SST, CE, temperatura y OD), y posteriormente la determinación de la calidad del Agua en un periodo de 4 años históricos y 4 años futuros, contribuyendo a la zona centro y sur de la población del Distrito Metropolitano de Quito, especialmente a la parroquia Pintag ya que son los consumidores directos del líquido vital que nace en el sector de estudio, además los resultados obtenidos aportarán en la toma de decisiones acertadas sobre el destino del recurso y por ende su mejor manejo, ya que actualmente se encuentra cada vez más influenciado por las actividades antrópicas, como la captación de agua para riego o potabilización, descargas directas de aguas servidas y desechos provenientes de cuencas de drenaje urbano e industriales, actividades agrícolas, florícolas y ganaderas, zonas destinadas al turismo entre otras.

Figura 1.

*Ubicación del Río Pita*

Nota: Elaboración propia.

El estudio se limita en la parte alta de la microcuenca del río Pita, ubicada en la provincia de Pichincha, compartida por los cantones Quito y Rumiñahui, parroquia Pintag, sector Captación Molinuco EEQ. Tiene una extensión de 58.898 hectáreas, la mayor parte del caudal del río Pita proviene de las quebradas Mudadero y Hualpaloma que en su unión forman el río Pita, recorre el Valle de los Chillos hasta desembocar en el río San Pedro a una altitud de 2.440m.s.n.m, (Unidad del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del DMQ, 2014).

## 7. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 7.1. Distrito Metropolitano de Quito

La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (2015) manifiesta:

Los recursos hídricos disponibles para el DMQ están constituidos por las aguas superficiales de la cuenca alta del río Esmeraldas, aguas subterráneas (acuíferos de Quito) y los trasvases de las subcuencas orientales. El DMQ se ubica en la cuenca hidrográfica del río Guayllabamba y su sistema hídrico está formado por los ríos de alta montaña. El Plan de Manejo de la Calidad del Agua (PMCA), cita como las principales subcuencas a los ríos: San Pedro, Guayllabamba, Machángara, Monjas y Pita.

### 7.2. Ríos

- **Definición**

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos (2014) define un cuerpo hídrico:

Un río es un medio con un flujo biónico de agua y sedimento (procedente del cauce y la cuenca) cuando este flujo no presenta ningún cambio espacial o temporal simplemente el río da una aportación de agua y una de sedimentos.

Gil (2014) manifiesta sobre los cuerpos de agua tropical:

Un río de montaña tropical es un curso de agua superficial con pendientes pronunciadas que presenta gran diferencia entre los caudales de crecida y de estiaje. Durante la época húmeda conducen caudales grandes y en época seca los caudales de escurrimiento son muy pequeños.

#### 7.2.1. Río Pita

FONAG (2014) menciona:

El río Pita es una de las principales fuentes hídricas que abastece de agua potable al distrito metropolitano de Quito, este río forma parte de la subcuenca alta del río Guayllamba, la cual a su vez es parte de la cuenca del río Esmeraldas que desemboca en las costas del Pacífico ecuatoriano.

Fraille (2009) afirma que “El río Pita nace de la unión de dos quebradas Hualpaloma y Carcelén provenientes del Sincholagua, es el límite natural del parque Nacional Cotopaxi y que, la naciente de esta importante fuente de agua no cuenta con protección estatal”.

### 7.3. Recurso Hídrico

Según el Glosario Hidrológico Internacional de la UNESCO (2015) menciona que “los recursos hídricos se constituyen en uno de los temas naturales renovables más importantes para la raza humana”.

La Universidad Central del Ecuador (2010) manifiesta sobre la importancia del recurso hídrico:

El agua se agota y esta realidad es visible y perceptible para la población, cada vez más evidente la contaminación de fuentes de agua, la disminución del caudal de ríos y la falta de acceso a agua potable. Este manejo del agua ha generado conflictos sociales políticos, ante intereses contrarios en un país multicultural en el que el agua es para unos un elemento sagrado, para otros: salubridad, progreso, fuente de ingresos económicos, y en esta batalla el objeto de disputa poca atención ha recibido para su manejo técnico que garantice calidad, cantidad y sostenibilidad del recurso.

Según la Ley Orgánica de Recursos Hídricos (2014) son recursos hídricos los siguientes elementos naturales que constituyen el dominio hidráulico público:

- Los ríos, lagos, lagunas, humedales, manantiales, nevados, glaciares, caídas naturales y otras fuentes de agua.
- Los acuíferos subterráneos y los mantos freáticos.
- Los álveos o cauces naturales.
- Las fuentes de agua.
- Los lechos y subsuelos de los ríos, lagos, lagunas y embalses superficiales en cauces naturales.
- Las riberas y las zonas de protección hidráulica de ríos, quebradas, esteros y otros cuerpos de agua, continuos o discontinuos, perennes o intermitentes.
- La conformación geomorfológica de las micro cuencas hidrográficas, y de sus desembocaduras.
- Sistemas marinos costeros.

### 7.4. Ciclo Hidrológico del Agua

Según Miguel (2009) plantea definiciones sobre el origen del ciclo hidrológico:

El ciclo hidrológico supone un movimiento o transferencia de masas de agua de forma continua como consecuencia de un flujo energético. Se trata de un conjunto de procesos simultáneos interrelacionados. Se suele asumir que comienza en los océanos con la evaporación del agua.

García (2010) define el comportamiento de un ciclo hidrológica:

El calor del sol aporta la energía necesaria para romper los enlaces que mantienen unidas las moléculas de agua. Este proceso de cambio de estado de fase líquida a gas (vapor de agua) se denomina evaporación. Cuando la humedad relativa del aire es del 100% (punto de saturación) comienza la condensación, proceso por el cual el vapor de agua del aire se transforma en agua líquida dando lugar a la formación de nubes. Estas nubes en determinadas condiciones de presión y temperatura originan precipitaciones. La precipitación también puede ocurrir en forma de nieve y acumularse en los glaciares. Su fusión, junto con el resto de precipitaciones da lugar al agua superficial y subterránea.

## **7.5. Fuentes de Agua**

Según la FAO (2002) menciona que “los océanos contienen el 97% del agua del planeta”.

### **7.5.1. Tipos de Fuentes de Agua**

#### **7.5.1.1. Agua de Lluvia**

JAPAC (2016) resalta la importancia del agua dulce:

Una importante fuente de agua dulce que se suele pasar por alto es el agua pluvial. Esta es el producto del agua de la Tierra que se ha evaporado en la atmósfera y se ha convertido en lluvia. Durante ese proceso, el agua se vuelve dulce y se almacena en muchos lugares de todo el mundo para ser utilizada como un suministro adecuado de agua potable y para regadío de los cultivos. La recolección de agua de lluvia es una tecnología que fue utilizada por las civilizaciones antiguas y todavía se utiliza ampliamente en muchas zonas rurales para sacar el máximo provecho de una fuente inagotable de agua dulce que se suele dar por sentada

#### **7.5.1.2. Aguas Subterráneas**

ECONET (2020) conceptualiza sobre las aguas subterráneas:

Las aguas subterráneas son aguas que se mantienen en el interior de la tierra almacenada en acuíferos. Para poder extraerla se perfora la tierra y se extrae a través de pozos o galerías filtrantes. También existen los pozos artesianos que están creados de forma artificial haciendo perforaciones muy profundas que por la presión emergen al exterior. El volumen de esta agua es mucho mayor que la que circula por ríos y lagos, pero menor al que acumulan los glaciares, por ejemplo. Pueden llegar a tener más de 1 millón de kilómetros cuadrados como es el caso del Acuífero Guaraní. Esta fuente es difícil de gestionar debido a las posibilidades de contaminación al filtrarse otro tipo de residuos.

### **7.5.1.3. Agua Superficial**

La fuente de agua que comúnmente apreciamos y hacemos el uso de ello son las aguas superficiales:

Una gran parte del agua potable que abastece nuestros hogares se extrae de fuentes superficiales como los ríos, lagos, embalses, canales etc. En el caso de las aguas superficiales el tratamiento es indispensable ya que arrastran una cantidad mayor de residuos que no han sido filtrados. En este caso, la contaminación del agua es fácilmente detectable y también son mucho más fáciles de purificar que un acuífero contaminado, (ECONET, 2020).

## **7.6. Uso del Agua**

Se podría definir al uso como la aplicación del agua a una actividad:

Cuando existe consumo, entendido como la diferencia entre el volumen suministrado y el volumen descargado, se trata de un uso consuntivo. Existen otros usos que no consumen agua como la generación de energía eléctrica, que utiliza el volumen almacenado en presas. A estos usos se les denomina no consuntivos (FAO., 2002)

## **7.7. Clasificación del agua según sus usos**

### **7.7.1. Consumo humano o doméstico**

CONAGUA (2010) manifiesta que “El uso para abastecimiento doméstico incluye la totalidad del agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios)”

### **7.7.2. Uso agrícola**

La FAO (2002) define que “uso agrícola se refiere principalmente al agua utilizada para el riego de cultivos. Actualmente los mayores esfuerzos se dirigen a la agricultura bajo riego, que depende principalmente del agua superficial de los ríos o del agua subterránea”.

### **7.7.3. Uso industrial y minero**

Las empresas públicas de agua potable mantienen estudios acerca del uso de agua industrial y minero:

El uso industrial es el que cubre las demandas de la industria, la minería y las centrales hidroeléctricas. En este rubro se incluye la industria que toma el agua que requiere directamente de los ríos, arroyos, lagos o acuíferos del país, los principales subsectores que integran a la industria, sin considerar los orientados a la generación de electricidad son extracción de petróleo y de gas, fabricación de equipo de transporte, industria química, e industria alimentaria (CONAGUA, 2010).

### **7.7.4. Uso urbano**

CONAGUA (2010) define el uso urbano “Comprende el abastecimiento a la población: consumo doméstico; servicios públicos; y el suministro a industrias dependientes de la red urbana, agua utilizada para limpieza de las calles de ciudades y pueblos, ornamentación, riego de parques y jardines”.

## **7.8. Contaminación del Agua**

La Organización Mundial de la salud (2015) considera que “el agua está contaminada cuando su composición o estado natural se ven modificados de tal modo que pierde las condiciones aptas para los usos a los que estaba destinada y el agua contaminada presenta alteraciones físicas, químicas o biológicas”

### **7.8.1. Tipos de contaminación**

Según el Artículo 85 de la Ley orgánica de recursos hídrico (2014) los tipos de contaminación son:

- **Contaminación puntual**

Es producida por un foco emisor determinado afectando a una zona concreta, lo que permite una mejor difusión del vertido. Su detección y su control son relativamente sencillos

- **Contaminación difusa**

Su origen no está claramente definido, aparece en zonas amplias en las que coexisten múltiples focos de emisión, lo que dificulta el estudio de los contaminantes y su control individual. Pueden producirse posibles interacciones que agraven el problema esto sería la contaminación natural.

## **7.8.2. Fuentes de Contaminación del Agua**

### **7.8.2.1. Fuentes naturales**

Illanes (2016) manifiesta que “Dependiendo de los terrenos que atraviesa el agua puede contener componentes de origen natural procedentes del contacto con la atmósfera formando ácidos y otros compuestos y el suelo mezclándose con minerales (Ej. Sales minerales, calcio, magnesio, hierro etc.)”

### **7.8.2.2. Fuentes artificiales**

Illanes (2016) afirma que “las fuentes superficiales son producidas por el ser humano en actividades industriales, agrícolas y domésticas. El desarrollo industrial ha provocado la presencia de ciertos componentes que son peligrosos para el medio ambiente y para los organismos”.

### **7.8.2.3. Urbana**

Illanes (2016) define que “La contaminación de origen urbano es el resultado del uso del agua en viviendas, actividades comerciales y de servicios, las aguas residuales”

### **7.8.2.4. Agrícola y Ganadera**

Illanes (2016) asegura que “La contaminación de origen agrícola deriva, principalmente, del uso de plaguicidas, pesticidas, biosidas, fertilizantes y abonos, que son arrastrados por el agua de riego, llevando consigo sales compuestas de nitrógeno, fósforo, azufre”

### 7.8.2.5. Industrias

Illanes (2016) manifiesta que “La contaminación de origen industrial produce un mayor impacto, por la gran variedad de materia orgánica, metales pesados, incremento de pH, temperatura, radioactividad, aceites, grasas, etc.”

## 7.9. Calidad de Agua

Según Chávez (2016) la calidad de agua tiene diferentes conceptualizaciones:

La calidad hace referencia a las características químicas, físicas y biológicas del agua, en su estado natural o residual, la calidad depende principalmente del uso, las actividades antrópicas han generado problemas con el control de la calidad del agua, con la utilización de fertilizantes en la agricultura esto puede resultar un exceso de nitrógeno y fósforo en el agua superficial, causando los excedentes llamados nutrientes porque actúan como alimento para las plantas además del uso de metales pesados en la industria originando un notable deterioro en calidad del agua

Casa (2016), manifiesta que la descripción de la calidad del agua puede realizarse de 2 formas:

- Mediante variables físicas (turbiedad, sólidos totales, etc.) química (pH, acidez, etc.) o biológicas (bioensayos).
- Utilizando un índice de calidad de agua.

Terán (2019) menciona que “un índice de calidad del agua expresa la calidad de un recurso hídrico mediante el uso de parámetros de medición de calidad del agua y permite mostrar la variación de las características del agua mediante un método simple”

## 7.10. Métodos para la determinación de la calidad del agua

Yungán (2015) define que “los métodos de determinación de la calidad del agua se encargan de conocer sus características físicas, químicas y biológicas, de manera que se pueda definir su aptitud para uso doméstico, industrial, agrícola, recreacional”.

### 7.10.1. Método Biológico

Se puede conceptualizar que un método biológico hace referencia a uso de especies de organismos vivos como indicadores de la calidad del agua.

Se basan en la composición de comunidades de especies específicas, los más utilizados son las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en estudios de calidad de agua en

ríos. Estos macroinvertebrados son identificados con índices bióticos. Este método es complementario al método físico-químico, debido a que los seres vivos pueden integrar periodos largos en el tiempo, a diferencia de los métodos físico-químicos que son más puntuales, (Yungán, 2015).

#### **7.10.2. Método físico-químico.**

Yungán (2015) manifiesta que los métodos físico químicos “se refiere a la medición de parámetros físico-químicos del agua, este método es el único en determinar los contaminantes presentes en el agua”.

### **7.11. Parámetros físicos, químicos y biológicos**

#### **7.11.1. Parámetros Físicos**

Campana (2015) manifiesta que los “parámetros Físicos del agua son aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua”

##### **7.11.1.1. Turbidez**

La turbidez se podría definir como una mezcla que oscurece o disminuye la claridad natural o transparencia del agua.

La turbidez es producida por materias en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros macroorganismos; tales partículas varían en tamaño desde 0,1 a 1.000 nanómetros de diámetro, (Campana, 2015).

##### **7.11.1.2. Color**

Campana (2015) conceptualiza el color del agua como parámetro físico indicador de la calidad del agua:

Son lo que se denomina propiedades organolépticas o determinables por los sentidos. No suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, aunque su presencia es un indicio de que la depuración de un efluente no está siendo correcta. Tiene gran importancia en aguas potabilizadas, por el rechazo que puede darse en el consumidor al detectar colores, olores o sabores que no asocie con “agua pura”. No existe una relación directa entre color y grado de contaminación, pues al tratarse de un parámetro fuertemente influido por interferencias con otras sustancias coloreadas, es difícil su

evaluación absoluta

### **7.11.1.3. Temperatura**

Campaña (2015) resalta la importancia del parámetro temperatura:

La temperatura es el parámetro físico más importante del agua, además de afectar la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas intervienen en el diseño de la mayoría de los procesos de tratamiento de agua, tiene gran importancia por el hecho de que los organismos requieren determinadas condiciones para sobrevivir. Este indicador influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad el recurso hídrico, como el potencial de hidrógeno, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas.

### **7.11.1.4. Conductividad**

Se menciona que la conductividad es también llamada conductividad eléctrica, conductancia o conductividad específica:

Es una medida de la capacidad del agua para conducir electricidad, es dependiente de la temperatura y su unidad son los microsiemens por centímetro. La presencia de sales disueltas en los cuerpos de agua, es un factor determinante en la capacidad conductiva del agua, por ello en ocasiones este único parámetro puede evidenciar el estado del agua y determinar que no es apta para ser reutilizada, puesto que la mayoría de los iones presentes no pueden ser depurados por las técnicas habituales. Se mide con un equipo llamado conductímetro, utilizando 1 cm<sup>3</sup> de una solución acuosa a una temperatura específica, usualmente 25°C, (Campaña, 2015).

### **7.11.1.5. Sólidos suspendidos totales**

Campaña, (2015) define que los sólidos suspendidos totales “es una fracción de sólidos totales retenida sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica (103-105 °C)”.

## **7.11.2. Parámetros Químicos**

### **7.11.2.1. Potencial de hidrógeno**

Según Rivera (2008) el pH “es una expresión de la intensidad de las condiciones ácidas o básicas de un líquido, puede variar entre 1 y 14. Su valor define en parte la capacidad de auto

depuración de una corriente”.

#### **7.11.2.2. Demanda Química de Oxígeno**

Se podría mencionar que la demanda química de oxígenos es la medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica e inorgánica:

El vertimiento de aguas residuales domésticas o industriales incrementa el contenido de materia orgánica en el agua, aumentando la DQO con la consecuente disminución del oxígeno disuelto. Las aguas residuales, domésticas suelen contener entre 250 y 600 mg/l de DQO. Las aguas no contaminadas tienen valores de 1 a 5 mg/l, (Villa, 2011).

#### **7.11.2.3. Oxígeno Disuelto**

Se manifiesta que el parámetro oxígeno disuelto se relaciona con el parámetro temperatura:

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, expresado en mg de oxígeno por litro de agua. Los niveles de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. Además, es función de la temperatura, la presión y la altura sobre el nivel del mar (Villa, 2011).

#### **7.11.2.4. Nitratos**

Carrillo (2016) define que los nitratos “son sustancias químicas que se encuentran naturalmente en los suelos en pequeñas cantidades. Los fertilizantes y las aguas negras de origen animal también son fuentes de nitratos”.

#### **7.11.2.5. Nitritos**

Carrillo (2016) menciona que “en las aguas superficiales crudas, las huellas de nitrito indican contaminación. Debido a que el nitrito es formador de ácido nitroso en solución ácida, cuya mezcla con aminas secundarias forma las nitroso-aminas que son cancerígenas”

#### **7.11.2.6. Fosfatos**

Carrillo (2016) recalca que los fosfatos “se encuentran en los fertilizantes y los detergentes y pueden llegar al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas negras”

### **7.11.2.7. Sulfatos**

Carrillo y Urgilés (2016) discute sobre los efectos secundarios del parámetro sulfato:

Sulfatos al mezclarse con iones de calcio y de magnesio en aguas de consumo humano producen un efecto de laxante. En aguas residuales al entrar en contacto con el concreto inducen a la formación de cristales de sulfato aluminato que originan una expansión del material que destruye su textura.

### **7.11.3. Parámetros Biológicos**

Torres (2015) menciona que los parámetros biológicos son excelentes indicadores de la calidad del agua:

permiten establecer la calidad del agua en función de los organismos vivos presentes o ausentes en los cuerpos de agua, estos organismos son en alguna medida, indicadores de la calidad del agua, puesto que la presencia, ausencia, aumento o disminución de la población de ciertas especies, se debe al cambio en las características propias del agua.

#### **7.11.3.1. Coliformes totales y fecales**

Torres (2015) definió que los coliformes totales y fecales” son aquellos que se les considera microorganismos indicadores de contaminación fecal y son excelentes indicadores de la calidad sanitaria del agua y de la eficacia de los procesos de desinfección”.

Liñero et al (2016) expresa sobre la formación de las bacterias:

Las bacterias del grupo coliformes pertenecen a la familia Enterobactereacea que incluye los géneros: Escherichia, Citrobacter, Enterobacter y Klebsiella. Se definen como bacilos anaerobios y aerobios facultativos, cortos, Gram negativos, no esporulados, que fermentan la lactosa a 44,5°C. Se los denomina termotolerantes por su capacidad de soportar altas temperaturas.

## **7.12. Legislación Vigente en Ecuador**

### **7.12.1. Ley de aguas**

La Ley Orgánica de Recurso Hídrico (2014), menciona que el objetivo de la ley de aguas “es garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación y restauración, de los recursos hídricos a fin de garantizar el buen vivir”.

En protección al recurso hídrico, la ley de aguas establecer normativas que garantiza el buen uso y conservación del mismo:

En el Artículo 6, “se prohíbe toda forma de privatización del agua y se establece que esta no puede ser objeto de ningún acuerdo comercial, con gobierno, entidad multilateral o empresa privada nacional o extranjera”, además, en el Artículo 22, “se prohíbe toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora y de la fauna”, (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, 2014).

#### **7.12.2. TULSMA**

En el libro VI, Anexo 1, norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua:

Se establecen los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado, los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos y los métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua. Con el objeto de proteger la calidad del recurso agua y garantizar la integridad y bienestar de las personas y el ambiente, (TULSMA, 2015).

#### **7.13. Caracterización Climática**

Para la caracterización climática primero es necesario ubicar el proyecto o la cuenca con la cual se trabajará, e identificar las estaciones climatológicas que pertenecen a la misma:

Al caracterizar el clima en una determinada cuenca es necesario evaluar principalmente: las siguientes variables climáticas como: precipitación, temperatura, humedad relativa, nubosidad y evaporación potencial. Para tener una visión amplia la IRD aconseja trabajar con series de 10 años de datos. (Almeida, 2010).

#### **7.14. Índice de Calidad del Agua (ICA)**

Castro et al (2014) define sobre la calidad del agua;

Es una herramienta que permite diagnosticar la calidad del agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un periodo de tiempo determinado utilizando datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, con el objetivo de determinar y evaluar el estado actual del agua, para ello existen diversas metodologías para la determinación del mismo.

### 7.14.1. Índice de Calidad de Agua "Water Quality Index" (WQI)

La metodología WQI fue desarrollado en 1970 por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados unidos:

Toma en cuenta nueve parámetros: Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales, pH, DBO5, Nitratos, Fosfatos, Desviación de la Temperatura, Turbidez y Sólidos Totales. Su nivel de Calidad de Agua tiene un rango de 0 a 100 que va de muy mala (0) y excelente (100), (Torres et al, 2009).

su fórmula de cálculo es:

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

Donde: WQI: índice de Calidad de Agua

SI<sub>i</sub>: Subíndice del Parámetro i

W<sub>i</sub>: Factor de Ponderación para el Subíndice i

### 7.14.2. Índice de Calidad de Agua de Oregon (OWQI)

La metodología OWQI fue diseñado después del NSF en los Estados unidos, en 1983:

OWQI es un número simple que expresa la calidad del agua por la integración de las medidas de 8 variables: Temperatura, Oxígeno Disuelto (Porcentaje de Saturación y Concentración), DQO, pH, Sólidos Totales, Amonio y Nitratos, Fósforo Total y Coliformes Fecales). Ha sido desarrollado para evaluar el monitoreo mantenido por el Laboratorio del Departamento de Calidad Ambiental de Oregon, con el fin de observar los impactos de las fuentes de contaminación en variedad de condiciones (UNIPAMPLONA, 2010)

Su ecuación es:

$$WQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n SI_i^2}}$$

Donde:

WQI: Índice de Calidad de Agua

n: Número de Subíndices

SI<sub>i</sub>: Subíndice del Parámetro *i*

### 7.14.3. Índice de Calidad de Agua (UWQI)

La metodología UWQI (Universal Water Quality Index), fue desarrollado en Europa y aplicada con el fin de obtener un índice simplificado para establecer la calidad de agua para el consumo humano:

Este índice es un valor adimensional obtenido a partir de 12 variables físico-químicas y microbiológicas que pueden ser a su vez “básicas” o “complementarias”, de acuerdo con el uso del agua, procesados mediante ecuaciones lineales, tomando en cuenta parámetros como: coliformes totales, cadmio, cianuro, mercurio, selenio, arsénico, fluoruros, nitratos, oxígeno disuelto, ph, dbo, y fosforo total (Caho & López , 2017).

Su ecuación es:

$$UWQI = \sum_{i=1}^n W_i I_i$$

**Donde:** **W<sub>i</sub>** es el peso o porcentaje asignado al *i*-ésimo parámetro y **I<sub>i</sub>** es el subíndice del *i*-ésimo parámetro.

### 7.14.4. Índice de Calidad del Agua (CWQI)

Se establece que la metodología canadiense CWQI (Canadian Water Quality Index), fue desarrollada para la determinación de la calidad de agua.

Consiste en la aplicación de 10 variables para la determinación del ICA: oxígeno disuelto, pH, DBO, DQO, nitrógeno total, fósforo total, coliformes fecales, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales y tensoactivos. La clasificación del índice se desarrolló en una escala de cero a cien: excelente, entre 95 y 100 unidades; buena, entre 80 y 94 unidades; aceptable, entre 65 y 79 unidades; marginal, entre 45 y 64 unidades y pobre, entre 0 y 44 unidades (Caho & López , 2017).

Su ecuación:  $WQI = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732}$

### 7.14.5. Índice de calidad de agua según HORTON

La metodología de Horton fue desarrollada para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática:

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. Utiliza diez variables de monitoreo tales como oxígeno disuelto, recuento de coliformes, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, temperatura, (Castro, Almeida, Ferrer, & Diaz, 2014).

**Ecuación:**  $ICA = K \sum C_i P_i / \sum P_i$

#### **7.14.6. Índice de calidad de agua “Biological Monitoring Working Party” (BMWP)**

Cabe recalcar que esta metodología evalúa la calidad del agua mediante los macroinvertebrados utilizados como bioindicadores. Consiste en asignar a las familias de macroinvertebrados acuáticos, según los valores de tolerancia a la contaminación comprendidos entre:

- 1 (familias muy tolerantes)
- 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; una vez sea adaptado y modificado para determinado cuerpo de agua lótico ya que permite una evaluación rápida y acertada, está basado en ponderaciones de sensibilidad a los rangos de tolerancia ambiental de los macroinvertebrados acuáticos, (Sánchez, 2005).

#### **7.14.7. Índice de Calidad de Agua según Dinius**

La metodología fue una de las primeras utilizadas para la determinación de la calidad de agua fundada en los Estados Unidos para ríos de Latinoamérica. La cual se basa en nueve variables fisicoquímicas y dos microbiológicas:

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, 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, (Castro et al, 2014).

#### **7.14.8. Índice de Calidad de Agua (ICAUCA)**

Se establece que el ICAUCA es un índice de calidad fundada en Colombia en el año 2004:

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, (Castro,et al, 2014).

#### **7.14.9. Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA)**

El ISQA es un índice de calidad del agua desarrollada en España en 1982, la cual se basa en 5 parámetros fisicoquímico:

Los cinco parámetros necesarios para el cálculo de la calidad del agua son los siguientes Temperatura (T), expresada en °C, Demanda química de oxígeno (DQO), expresada en  $\text{mgL}^{-1}$ , Sólidos suspendidos totales (SST), expresado en,  $\text{mgL}^{-1}$ , Oxígeno disuelto (OD), expresado en  $\text{mgL}^{-1}$ , Conductividad (CE), expresada en  $\mu\text{S/cm}$ . Determina los criterios de calidad para diferentes usos, agrícola, consumo humano, riego, recreación , (Gamboa, Cifuentes, & Roccha, 2014).

**Fórmula:** 
$$ISQA = E * (A + B + C + D)$$

Donde:

E = Temperatura (T), expresada en °C

A = Demanda química de oxígeno (DQO), expresada en  $\text{mgL}^{-1}$

B = Sólidos suspendidos totales (SST), expresado en  $\text{mgL}^{-1}$

C = Oxígeno disuelto (OD), expresado en  $\text{mgL}^{-1}$

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

### **7.15. Modelos Matemáticos**

Plaza (2016) plantea definiciones sobre los modelos matemático:

La modelación matemática es un intento de describir alguna parte del mundo real en términos matemáticos (Pronóstico). Modelos matemáticos han sido construidos en todas las ciencias tanto físicas, como biológicas y sociales. Los elementos que lo componen son tomados del cálculo, el álgebra, la geometría y otros campos afines. En un modelo matemático se establece un conjunto de relaciones (de igualdad y/o de desigualdad) definidas en un conjunto de variables que reflejan la esencia de los fenómenos en el objeto de estudio. Formalmente un modelo matemático  $M$  es una estructura, donde  $R$  es el conjunto de las relaciones y  $V$  el conjunto de las variables, (Plaza, 2016).

### 7.15.1. Series Temporales

Se conoce que una serie de tiempo es una lista de fechas, cada una de las cuales se asocia a un valor numérico:

Las series de tiempo son un modo estructurado de representar datos. Visualmente, es una curva que evoluciona a lo largo del tiempo. Por ejemplo, los monitoreos mensuales de parámetros ambientales o fisicoquímicos pueden representarse como una serie de tiempo, (Villarreal, 2016).

### 7.15.2. Clasificación descriptiva de series de Temporales

Villarreal (2016) define las clasificaciones de series temporales:

**Estacionarias:** Una serie es estacionaria cuando es estable, es decir, cuando la media y la variabilidad son constantes a lo largo del tiempo. Esto se refleja gráficamente en que los valores de la serie tienden a oscilar alrededor de una media constante y la variabilidad con respecto a esa media también permanece constante en el tiempo.

**No Estacionarias:** Son series en las cuales la media y/o variabilidad cambian en el tiempo. Los cambios en la media determinan una tendencia a crecer o decrecer a largo plazo, por lo que la serie no oscila alrededor de un valor constante.

### 7.15.3. Tipos de modelos de series Temporales

Peña (2010) menciona los tres modelos de series temporales:

**Aditivas:** Se componen sumando la tendencia, estacionalidad, variación cíclica regular, variación cíclica irregular, ruido:  $X_t = T_t + E_t + C_t + R_t$

**Multiplicativas:** Se componen multiplicando la Tendencia, estacionalidad, variación

cíclica regular, variación cíclica irregular, ruido:  $X_t = T_t * E_t * C_t * R_t$

**Mixtas;** Se componen sumando y multiplicando la Tendencia, estacionalidad, variación cíclica regular, variación cíclica irregular, ruido:  $X_t = T_t + E_t * C_t * R_t$

#### **7.15.4. Componentes de series de Tiempo**

- **Tendencia secular**

Comúnmente la tendencia secular o tendencia a largo plazo de una serie es el resultado de factores a largo plazo.

En términos intuitivos, la tendencia de una serie de tiempo caracteriza el patrón gradual y consistente de las variaciones de la propia serie, que se consideran consecuencias de fuerzas persistentes que afectan el crecimiento o la reducción de la misma. Algunas se mueven continuamente hacia arriba, otras declinan, y otras más permanecen igual en un cierto período o intervalo de tiempo. (Peña, 2010)

- **Variación estacional**

Peña (2010) menciona que el “Componente que representa la variabilidad en los datos debida a influencias de las estaciones, se llama componente estacional. Esta variación corresponde a los movimientos de la serie que recurren año tras año en los mismos meses”

#### **7.15.5. Pronóstico de series de tiempo**

Un pronóstico de series de tiempo se basa en extender los valores históricos al futuro.

El pronóstico se realiza generalmente para estimar áreas de posibles impactos en un futuro, como concentraciones de parámetros fisicoquímicos y biológicos indicadores de la contaminación de un recurso. Revisar los datos históricos, con frecuencia ayuda a comprender mejor el comportamiento de los parámetros o variables, lo que conduce a mejores predicciones de los valores futuros de las variables en estudio, (Villarreal, 2016).

#### **7.15.6. Método de descomposición de series: modelo aditivo, tendencial más estacional**

Uno de los métodos de pronóstico, es el método de descomposición, y el modelo aditivo tendencial más estacional:

Se basa en el criterio de los componentes de series de tiempo como la tendencia, estacionalidad, mediante una ecuación matemática se relacionan los dos componentes de series de tiempo y el periodo de estudio, el mismo que se utiliza para la predicción del comportamiento de los parámetros o variables ambientales (Villarreal, 2016).

#### 7.16. Software Minitab 19

Se conoce que el software está diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas.

Combina lo amigable del uso de Microsoft Excel con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos, a fin de facilitar su análisis e interpretación de datos independientemente de la cantidad que se maneje, el software ofrece una mayor facilidad de trabajo cuyos resultados son expuestos con más detalle mediante gráficos e interpretaciones. compartida con otros servidores sin problemas de conexión (MINITAB, 2019).

#### 7.17. Indicadores de Pronóstico

Vélez y Nieto (2016) definen los indicadores de pronóstico;

- **MAPE:** El error porcentual absoluto medio (MAPE) mide el tamaño del error en términos porcentuales lo cual lo hace no dependiente de la escala. Se calcula como el promedio de los errores porcentuales sin tener en cuenta el signo. Debido a que el MAPE es un porcentaje, puede ser más fácil de entender que otros estadísticos de medición de exactitud. Las medidas de exactitud se basan en residuos de un período por delante. La diferencia entre los valores pronosticados (ajustes) y Y real son los residuos un período por delante,
- **MAD:** La desviación media absoluta (MAD), mide la dispersión del error de pronóstico. Es el valor absoluto de la diferencia entre la demanda real y el pronóstico, dividido sobre el número de periodos. Expresa exactitud en las mismas unidades que los datos, lo que ayuda a conceptualizar la cantidad del error. Se Utiliza para comparar los ajustes de diferentes modelos de series de tiempo.
- **MSD:** La desviación cuadrática media (MSD), es una medida de dispersión del error de pronóstico, sin embargo, esta medida maximiza el error al elevar al cuadrado, discriminando aquellos periodos donde la diferencia fue más alta a comparación de otros. mide la exactitud de los valores ajustados de las series de tiempo.

- **RMSE:** El error cuadrático medio (RMSE) también llamado desviación cuadrática media es una medida de uso frecuente de la diferencia entre los valores pronosticados por un modelo y los valores realmente observados. Estas diferencias individuales son también llamadas residuos y el RMSE sirve para agregar en una sola medida la capacidad de predicción.
- **MAE:** Se define MAE (Mean Absolute Error) como la magnitud promedio de los errores de un ejercicio de pronóstico sin tener en cuenta su signo, es decir, el promedio de los valores absolutos de los errores calculados.

#### **7.18. Métodos utilizados**

- **Método cuantitativo**

Se obtuvo y procesó los valores de los 5 parámetros fisicoquímicos tales como Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto utilizados para la determinación del índice de calidad de agua (ICA-ISQA) su resultado será un valor numérico que indicará si la calidad es buena, media o mala.

- **Método deductivo**

A través de los cinco parámetros físicos, químicos y mediante la aplicación del índice de calidad de agua ISQA se llegó a conocer su calidad como conclusión.

- **Método narrativo**

Este método permitió narrar los resultados alcanzados, de manera legible y conciso respondiendo todas las preguntas de reflexión planteadas.

## 8. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

### 8.1. Descripción de la Zona de estudio

Figura 2.

Mapa de la Zona de Estudio



Nota: Elaboración propia

La zona de estudio corresponde a la microcuenca del río Pita, localizada en la Cordillera Oriental de los Andes Ecuatorianos en la Provincia de Pichincha, compartida por los cantones Quito y Rumiñahui. El sitio de muestreo, está ubicada entre las parroquias Pintag y Rumipamba, precisamente en la Captación Molinuco EEQ, de coordenadas UTM zona 17M, 788571m S, 9953986m E.

El río Pita nace de la unión de dos quebradas Hualpaloma y Carcelén provenientes del Sincholagua, es el límite natural del parque Nacional Cotopaxi, y se ubica en la subcuenca del río Guayllabamba, y pertenece a la cuenca del río Esmeraldas.

La zona se caracteriza por presentar un clima templado húmedo, siendo los períodos máximos de lluvia los meses de marzo a abril y de octubre a noviembre. Su temperatura anual promedio es de 12,5°C.

A continuación, se presenta la información de precipitación, temperatura de la estación “Izobamba” (Tabla 1) del INAMHI, desde el año 2013 hasta el 2019, los parámetros permiten establecer las variaciones de los factores climáticos.

**Tabla 1.**

*Estación Meteorológica “Izobamba”*

Código:	Nombre	Latitud	Longitud	Elevación	Propietario	Provincia
		0G	78G			
M0003	Izobamba	21'57.33" S	33' 18.46"W	3058.00 msnm	INAMHI	Pichincha

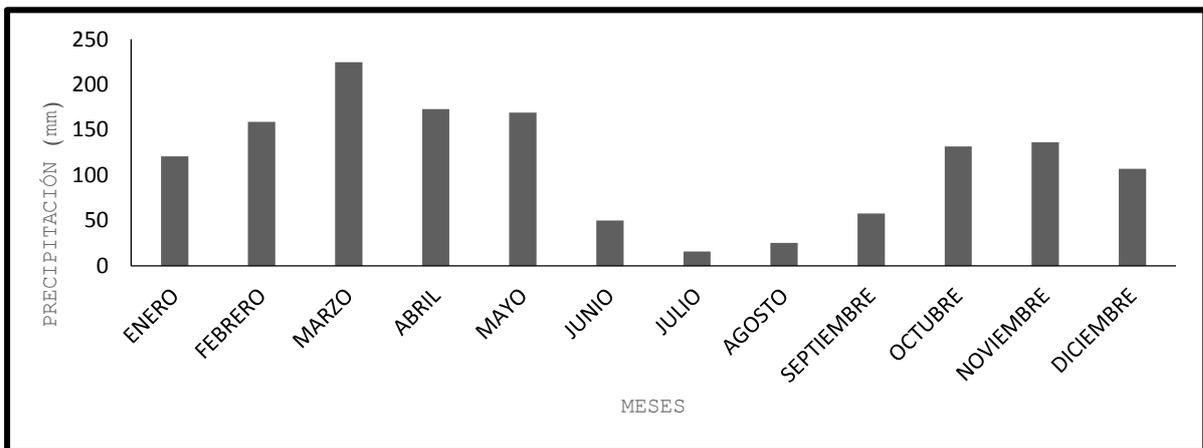
Nota: Elaboración propia, datos obtenidos del INAMHI,2020.

- **Precipitación.**

El valor promedio multianual de la precipitación es de 114.1 mm y el valor de registro máximo corresponde al mes de marzo siendo del orden de 224.6 mm, y el valor mínimo se presenta en el mes de Julio con 15,8mm.

**Figura 3.**

*Precipitación Media Anual Estación “Izobamba” Periodo 2013-2019*



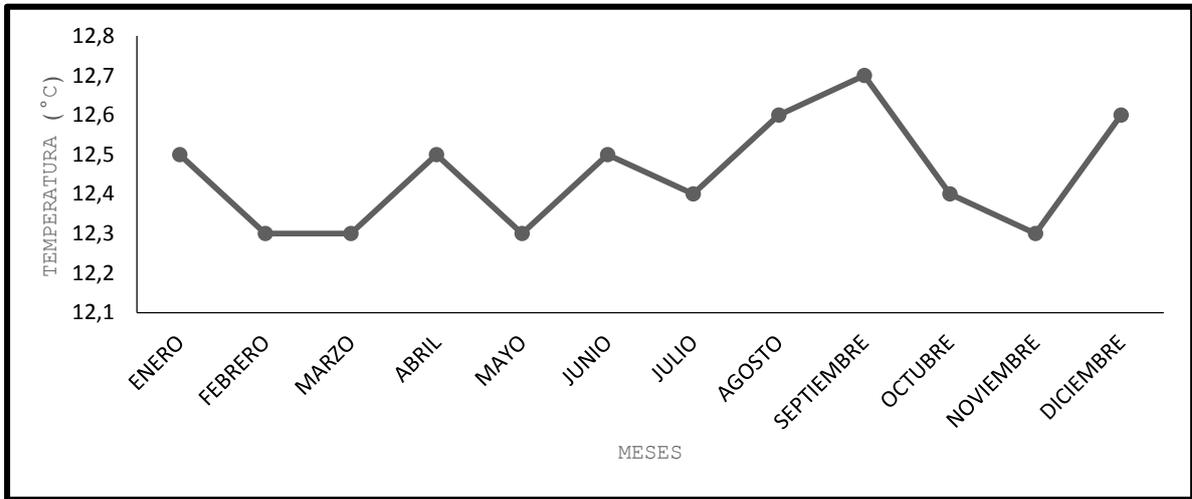
Nota: Elaboración propia

- **Temperatura.**

El valor medio anual de temperatura para la estación "Izobamba" es de 12,5°C y el valor máximo corresponde al mes de septiembre con 12,7 °C, Los registros mínimos se presentan en los meses de febrero, marzo, mayo y noviembre con un valor de 12,3 °C (*Figura 4*).

**Figura 4.**

*Temperatura Media Anual Estación "Izobamba" Periodo 2013-2019*



Nota: Elaboración propia

## 8.2. Selección del Caso

Investigaciones realizadas en el río Pita han demostrado que se encuentra afectada principalmente por las actividades antrópicas, como las descargas directas de aguas servidas, desechos tóxicos y domésticos provenientes de cuencas de drenaje urbano e industriales, actividades pecuarias (agrícolas, florícolas, ganaderas), y zonas destinadas al turismo. Lo que ha generado grandes impactos al ambiente y a la salud de los seres humanos. Conociendo dicha problemática nace la curiosidad de llevar a cabo el presente estudio exploratoria, con el propósito de determinar la calidad del recurso agua, su variación en el tiempo, y sus limitaciones. Cabe recalcar que se tomó en cuenta todos los antecedentes o estudios realizados sobre el río Pita lo que ha permitido que la presente investigación se desarrolle oportunamente, siendo esto uno de los motivos de selección del caso de estudio ya que se contó con suficiente material bibliográfico para que se ejecute la investigación.

## 8.3. Acceso al Campo

Se realizó una investigación exploratoria de manera bibliográfica, con la finalidad de definir las herramientas y materiales disponibles para la ejecución del proyecto.

Siendo el sitio de estudio el río Pita, ubicada dentro del DMQ, se interesó en la Data de la Secretaría del Ambiente, la cual se encuentra disponible en la Red Metropolitana de Monitoreo del Recurso Hídrico, y no se requirió realizar ningún tipo de permiso para acceder a

los datos requeridos para el análisis ya que los datos de monitoreo se encuentran como información pública. Se obtuvo la base de datos de monitoreo de los parámetros fisicoquímico y biológico de los principales ríos del DMQ en sus diferentes periodos de tiempo.

#### **8.4. Recolección de la Información**

##### **8.4.1. Información Cartográfica**

La técnica de investigación documental permitió recopilar la información cartográfica que se utilizó para el estudio, que fue proporcionada por el Departamento de Geoprocesamiento de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q). Dicha información fue entregada como geodatabase y bajo el Sistema de Coordenadas PSAD56, UTM (Quito), posteriormente esta información fue transformada al Sistema de Coordenada PSAD56, UTM zona 17 Sur, ya que bajo este sistema se trabajó en el estudio.

La información cartográfica como la geobasedata se utilizó para delimitar la microcuenca y los puntos de muestreo en el área de estudio, el manejo de toda la información geográfica recopilada se lo hizo con el software ESRI ArcGIS V 10.2.

##### **8.4.2. Recolección de la Data**

Para la recopilación de la información se empleó la técnica de investigación documental, la base de datos de los parámetros fisicoquímicos del río Pita del periodo 2013-2019 fueron recopilados de la página oficial de la secretaría del ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, en su apartado políticas y planeación ambiental sección Red de Monitoreo de recursos hídricos del Distrito Metropolitano del Quito.

La selección de la metodología se realizó a través de revisiones bibliográficas, artículos científicos sobre el índice de calidad del agua ICA, se seleccionó la metodología adecuada para el análisis, siendo la metodología que más se adapte a la base de datos recopilados.

##### **8.4.3. Recolección de los datos de las variables Meteorológicas**

Mediante un trámite digital se solicitó el anuario meteorológico de la estación meteorológica “IZOBAMBA” de los años 2013 al 2019 siendo la estación más cercana a la zona de estudio situada a 10 km de la misma. La cual fue respondido y entregado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Cabe mencionar que del Anuario meteorológico se utilizaron los datos de las medias mensuales de precipitación (mm), temperatura(°C) y Evaporación potencial (mm), con la cual

se determinó las características climatológicas como épocas de lluvia y época seca y el comportamiento de las variables en el periodo de estudio.

## 8.5. Análisis de Datos

### 8.5.1. Recolección de las muestras

Las muestras fueron tomadas en el río Pita, específicamente en el punto de monitoreo de recurso hídrico establecido por la secretaria del ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, el monitoreo fue realizado mensualmente durante el periodo 2013-2019.

Siguiendo las normas del laboratorio de Investigación, Análisis y Monitoreo – IAM-Q de la Secretaría del Ambiente fueron medidos y analizados 25 parámetros fisicoquímicos, las metodologías de análisis que fueron aplicadas para cada uno de los parámetros se detallan en la tabla 2.

**Tabla 2.**

*Métodos de Análisis de Parámetros Fisicoquímicos Analizados In Situ y Laboratorio*

<b>Parámetros</b>	<b>Método de análisis</b>
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

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

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

### **8.5.2. Selección de la Metodología ICA**

Mediante un análisis a la base de datos de monitoreo del recurso hídrico del DMQ, se realizó una revisión bibliográfica sobre el índice de calidad del agua utilizadas a nivel mundial, en el anexo 1, se detallan los parámetros fisicoquímicos y biológicos utilizados por diferentes metodologías para el cálculo del ICA a nivel mundial.

Se realizó un análisis comparativo entre diferentes metodologías utilizados a nivel mundial, (ver anexo 1), en relación a los parámetros observados en el río Pita, posteriormente se fue discriminando la información conjuntamente con la data y finalmente se optó por el índice simplificado de calidad del agua (ISQA), por ser la metodología que más se adaptó a los parámetros observados en el río Pita, obviamente las demás metodologías citadas en el anexo 1 se descartaron, ya que para su cálculo se requiere del parámetro coliformes fecales, el mismo que en el río Pita no fue monitoreado.

### **8.5.3. Conformación de la base de datos inicial**

La base de datos inicial se estableció con cinco parámetros fisicoquímicos tales como temperatura (T), oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO) y conductividad eléctrica (CE) para el periodo 2013 – 2019 (Ver anexo 2), mediante gráficas de control de datos se excluyeron valores anómalos o faltantes (ver anexo 3) y se obtuvo una nueva base de datos para el análisis de la calidad del agua del río Pita, conformado por un periodo de 4 años 2013,2016,2018,2019, (Ver anexo 4).

### **8.5.4. Análisis de la base de datos y discriminación de valores atípicos**

Se realizó un análisis estadístico a la nueva base de datos, obteniendo valores estadísticos como la mediana, moda, mínimo, máximo, desviación estándar y la media, estos dos últimos fueron utilizados para el cálculo de la prueba Z, dichos valores estadísticos se evidencian en la tabla 3.

**Tabla 3.***Estadísticos Descriptivos de Parámetros Fisicoquímicos del Río Pita Periodo 2013-2019*

<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
T(°C)	13,1	12,9	12,4	1,1	11,3	15,6
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	12,6	9,0	2,0	12,5	0	46,0
SST (mgL <sup>-1</sup> )	30,1	30,5	50,0	19,7	1,0	50,0
CE (uS/cm)	189,5	197,2	202,0	20,7	134,2	2011,6
OD (mgL <sup>-1</sup> )	7,5	7,5	7,93	0,9	4,41	8,7

Nota: Elaboración propia

Para determinación de los valores atípicos con la prueba Z, se utilizó la siguiente ecuación matemática:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Donde:

x: valor de la variable

 $\mu$ : Media de la distribución original o muestra $\sigma$ : Desviación estándar de la distribución original o muestra

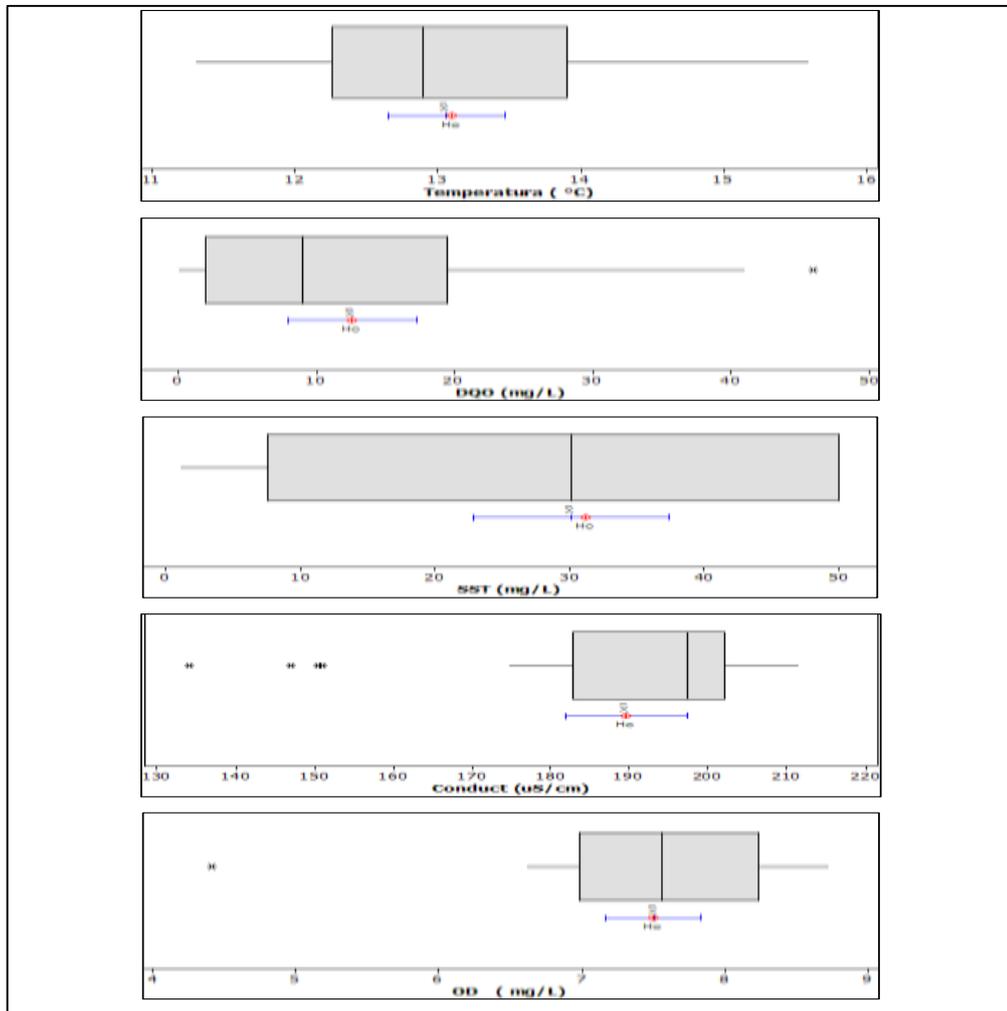
Para la determinación del valor atípico se consideró el siguiente criterio: Si el valor Z toma valores  $< -3$  ó  $> 3$  se considera un valor atípico caso contrario serán valores útiles para su análisis.

Aplicada la prueba Z a la base de datos, se determinó valores atípicos en los parámetros demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto (ver anexo 5), para la corrección de dichos valores atípicos se utilizó el método de la media aritmética.

Posteriormente se elaboró diagramas de Boxplot en donde se aprecia una distribución de datos cercanas a la media, y a su vez se evidenció valores atípicos, siendo valores que se alejan extremadamente del conjunto de valores cercanas a la media, los parámetros que presentaron valores atípicos fueron la demanda química de oxígeno, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica con dos valores atípicos (Ver Figura 5).

**Figura 5.**

*Boxplot de los Parámetros Físicoquímicos del Río Pita del Periodo 2013 – 2019*

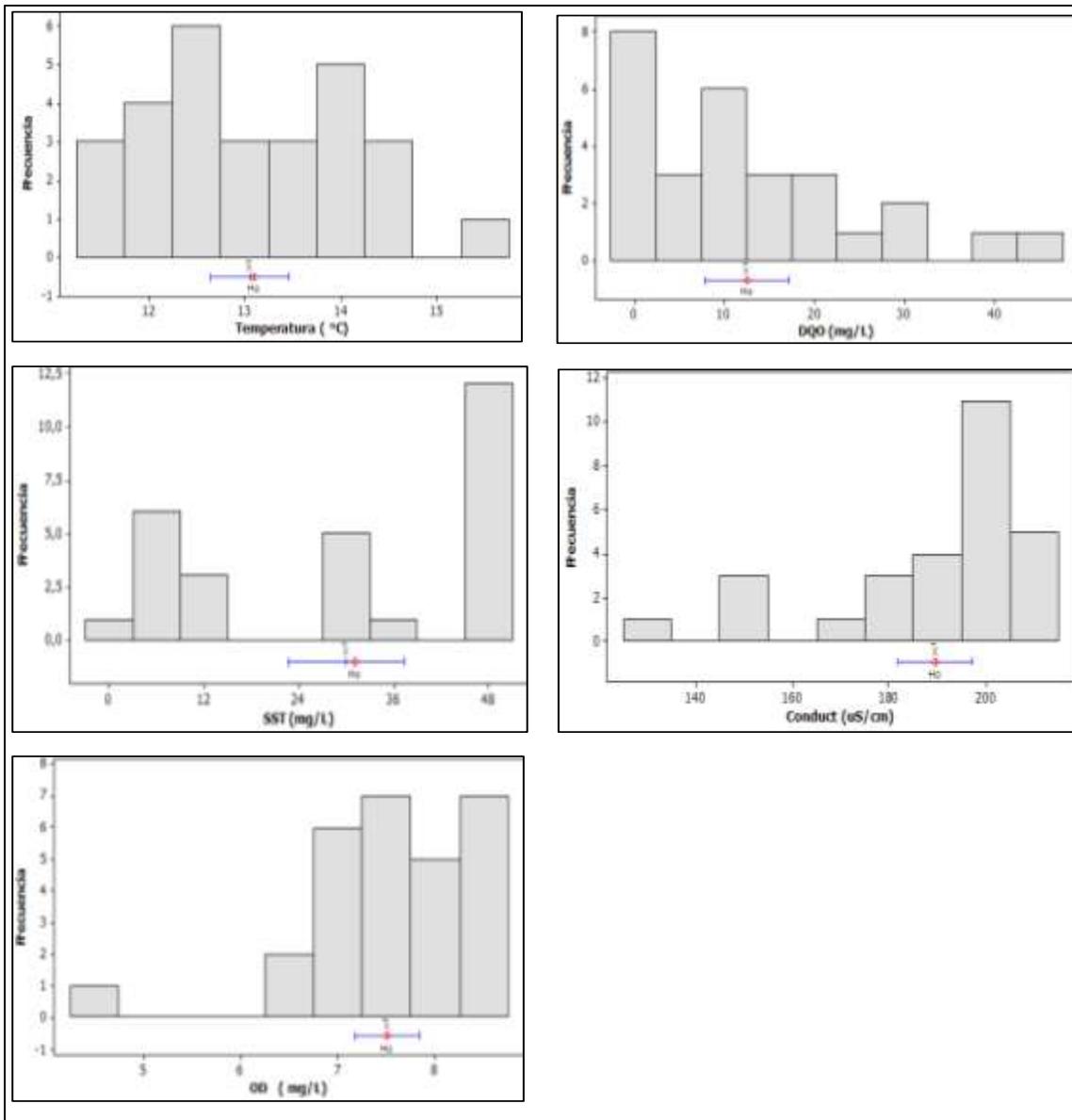


Nota: Elaboración propia

Se elaboró histogramas de frecuencias para cada uno de los parámetros físicoquímicos, en donde se aprecia una distribución asimétrica hacia la izquierda del parámetros demanda química de oxígeno, se evidencia que el parámetro temperatura, se concentran mayoritaria entre 12 a 14°C, mientras SST se concentra entre 9 a 50 mgL<sup>-1</sup>, el CE se concentra entre los 170 a 200 uS/cm, mientras que el OD, tiene una mayor concentración entre los valores de 7 a 9 mgL<sup>-1</sup> (ver Figura 6).

**Figura 6.**

*Histogramas de frecuencia de los Parámetros Fisicoquímicos del Río Pita del Periodo 2013 - 2019*



Nota: Elaboración propia

Realizada los respectivos análisis con el diagrama de boxplot e histogramas de frecuencias y prueba Z, se procedió a corregir los valores atípicos mediante el método de la media aritmética, reemplazando valores de la media a los datos atípicos detectados. Finalmente se obtiene la base de datos para el cálculo respectivo del ISQA.

### 8.5.5. Análisis de base de datos para serie de tiempo

Para el pronóstico de la calidad del agua del río Pita, se consideró la base de datos de un periodo de 4 años históricos, 2016 – 2019, tomadas de la base de datos inicial (Ver anexo 2), siendo esta la base de datos a ser analizado para estimar un pronóstico de 4 años futuros (2020-2023).

Para formar la base de datos histórico de pronóstico, con valores continuos de 4 años se realizó la completacion de datos por el método de los promedios de series estocásticas, para su llenado se tomó en cuenta que los datos faltantes no superen el 25% de la muestra, siendo un total de 48 muestras con 12 valores que debían ser completadas, considerando dicho indicio se procedió a la completacion de la base de datos de pronóstico.

### 8.5.6. Completación de datos con el método de los promedios

Para la completacion de datos por el método de los promedios de series estocásticas, se consideró un año con datos completos siendo esta la base para proceder al llenado de los años incompletos. Primeramente, se obtuvo el promedio de las dos estaciones de la completa y la incompleta, seguidamente se procedió a realizar un análisis de consistencia de datos para ello se aplicó la curva de doble masa, quien determina la semejanza de los datos mediante una recta con el coeficiente de correlación cercano a uno, si se obtiene un coeficiente de correlación ( $R^2$ ) mayores a 0,7 se puede realizar con seguridad el proceso de completacion de datos por este método. Se realizó las gráficas de curva de doble masa (ver anexo 7) y se determinaron coeficientes de correlación mayores a 0,7, posteriormente se aplicó la ecuación 2 para la completación de datos:

$$y = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} * x \quad (2)$$

Donde:

Y: valor faltante

$\bar{y}$ : promedio de la estación incompleta

$\bar{x}$ : promedio de la estación completa

X: valor parcial de la serie completa

### 8.5.6.1. Análisis de datos

Realizada la completación de datos, y obteniendo una nueva base de datos completada por el método de los promedios del periodo 2016-2019, (Ver anexo 8), se calculó descriptores estadísticos como media, mediana, moda, desviación estándar, mínimos y máximos, descriptores estadísticos que fueron utilizados para el análisis del nivel de dispersión de los datos, y para la prueba de valor Z, (ver Tabla 4).

**Tabla 4.**

*Estadísticos Descriptivos de Parámetros Físicoquímicos del Río Pita Periodo 2016-2019*

<b>Parámetros físicoquímicos</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
T(°C)	13,1	13,1	13,4	1,1	11,3	15,6
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	14,1	13,0	2,0	12,4	0,0	56,2
SST (mgL <sup>-1</sup> )	38,2	48,0	50	19,4	1,0	74,8
CE (uS/cm)	177,6	184,1	202,0	27,9	94,1	219,3
OD (mgL <sup>-1</sup> )	7,5	7,5	7,5	0,8	4,4	8,5

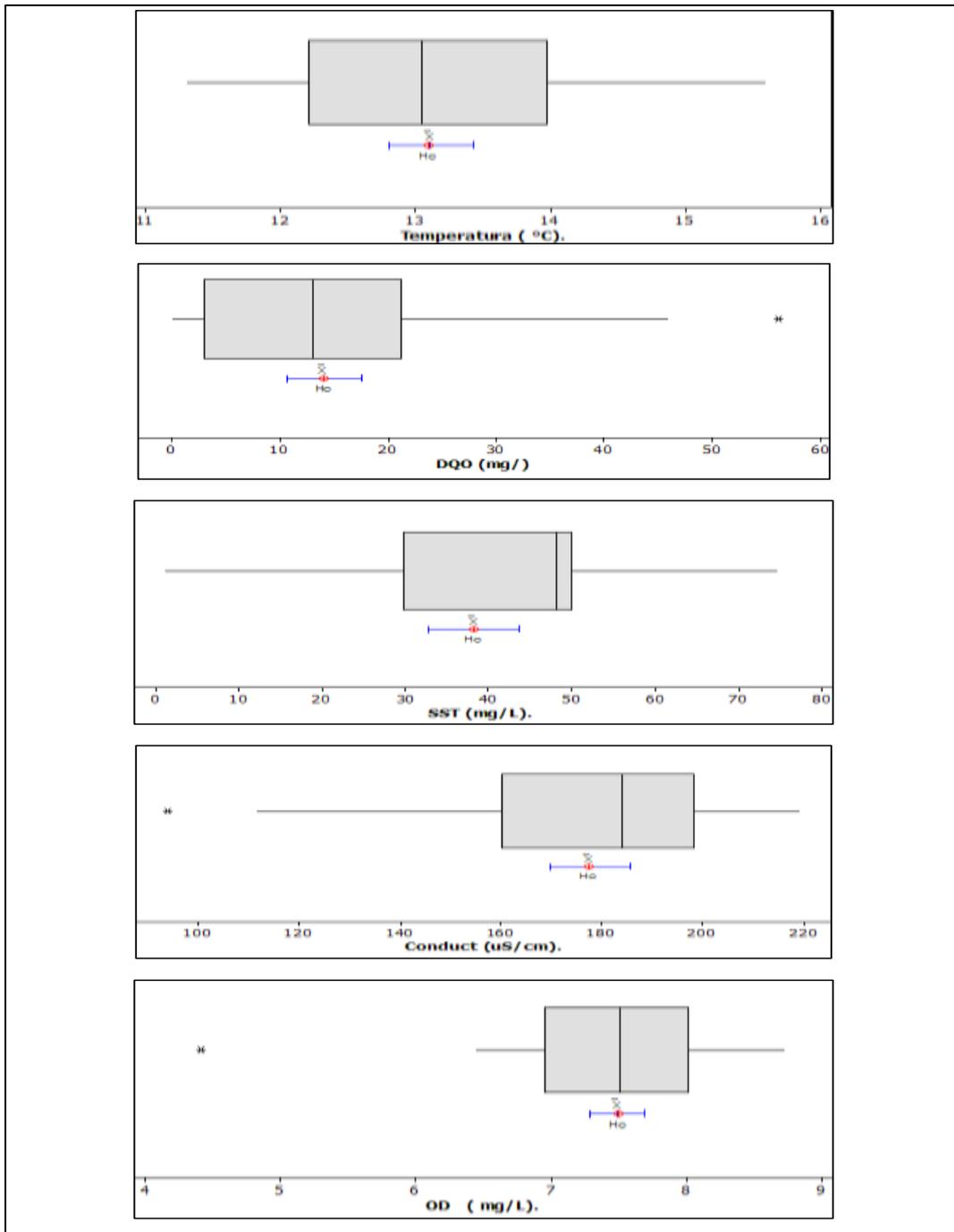
Nota: Elaboración propia

Se procedió a realizar la prueba Z (ver anexo 8), con el propósito de verificar valores atípicos en la nueva base de datos, el parámetro demanda química de oxígeno, la conductividad eléctrica y los sólidos suspendidos totales mostraron valores atípicos (ver anexo 8)

En el diagrama de boxplot se evidencia medianas similares a la media y posibles valores atípicos en los parámetros físicoquímicos oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno y conductividad eléctrica, (ver Figura 7).

**Figura 7.**

*Boxplot de los Parámetros Fisicoquímicos del Río Pita del Periodo 2016 – 2019*

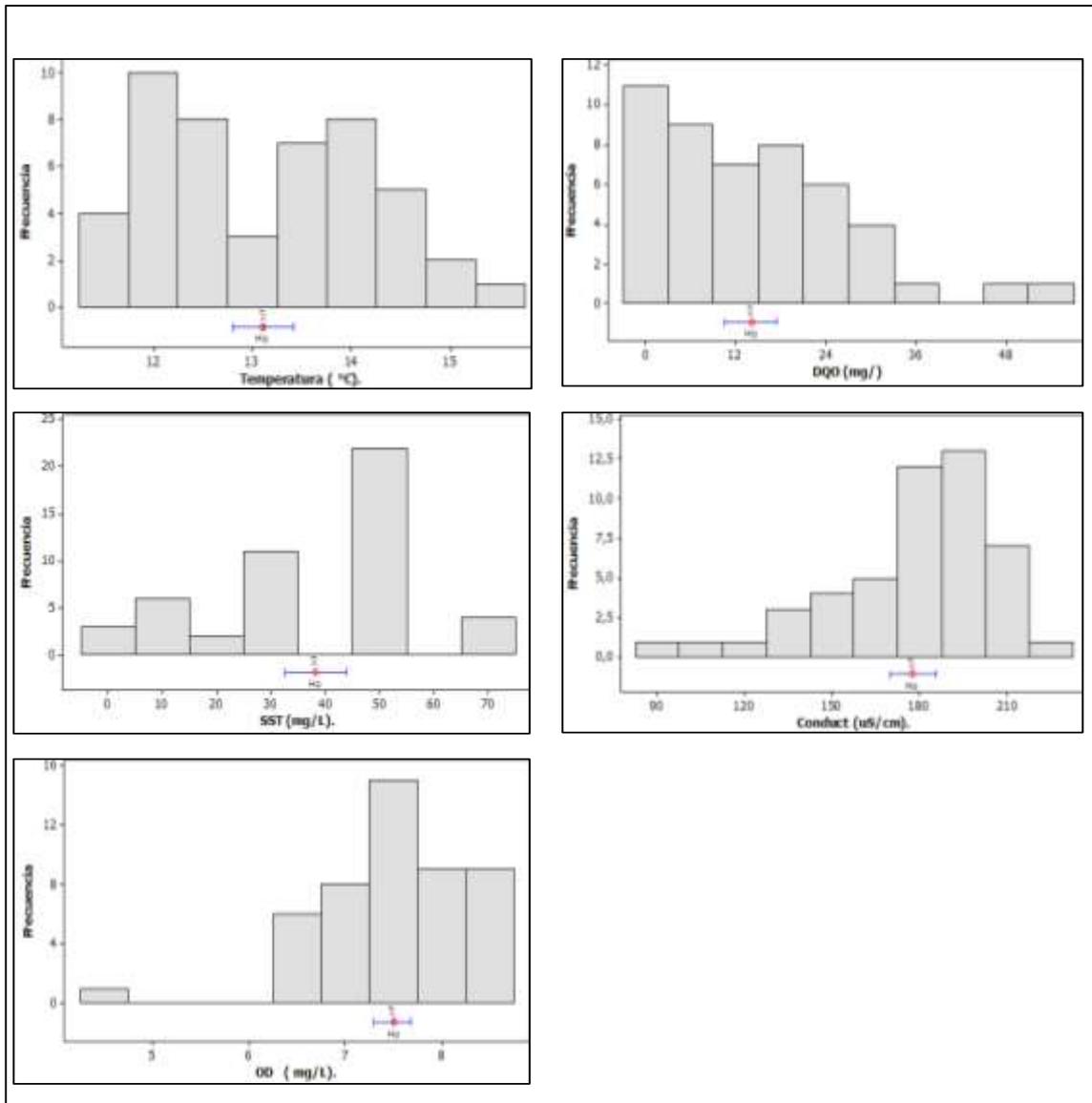


Nota: Elaboración propia

En el histograma de frecuencias se observa una distribución asimétrica del parámetro demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto y solidos suspendidos totales (ver Figura 8).

**Figura 8.**

*Histogramas de frecuencia de los Parámetros Físicoquímicos del Río Pita del Periodo 2016 - 2019*



Nota: Elaboración propia

Una vez identificada los valores atípicos se procedió a corregir el mismo con el método de la media aritmética, que consiste en obtener la media de la muestra, y proceder al llenado de datos que presentan valores atípicos, finalmente se tuvo la base de datos definitiva de serie de tiempo para realizar el cálculo del pronóstico.

### **8.5.7. Índice Simplificado de calidad de Agua**

El ISQA, se obtuvo a partir de los parámetros físicoquímico como la Temperatura, Demanda Química de Oxígeno, Solidos Suspendidos Totales, Oxígeno Disuelto y

Conductividad Eléctrica. Su cálculo se hizo por mes, por año y por épocas estacionales. Para el cálculo se estimó los siguientes criterios y ecuaciones, (Reyes, 2017).

Ecuación de cálculo:  $ISQA = E(A + B + C + D)$   
**(3)**

En donde:

**E: temperatura del Agua (°C).** puede tomar valores comprendido entre 0,8 y 1 según:

$$E = 1 \text{ si } T \leq 20^{\circ}C$$

**(4)**

$$E = 1 - (T - 20) * 0,0125 \text{ si } T > 20^{\circ}C$$

**(5)**

**A: Demanda Química de Oxígeno:** Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:

$$A = 30 - DQO \text{ si } DQO \leq 10mg/L$$

**(6)**

$$A = 21 - (0,35 * DQO) \text{ si } \frac{60mg}{L} \geq DQO > 10mg/L$$

**(7)**

$$A = 0 \text{ si } DQO > 60mg/L$$

**(8)**

**B: Sólidos Suspendidos Totales (mg/L).** Puede tomar valor comprendidos entre 0 y 25 según:

$$B = 25 - (0,15 * SST) \text{ si } SST \leq 100mg/L$$

**(9)**

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

**(10)**

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

**(11)**

**C: Oxígeno Disuelto (mg/L).** Pueden tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:

$$C = 2,5 * OD \text{ si } OD < 10mg/L$$

(12)

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

(13)

**D: Conductividad (CE uS/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:

$$D = (3,6 - \log CE) * 15,4 \quad \text{si } CE \leq 4000\text{uS/cm}$$

(14)

$$D = 0 \quad \text{si } CE > 4000\text{uS/cm}$$

(15)

La interpretación del ISQA se basa en el resumen de cinco parámetros físicos y químicos en una escala de 0 a 100 puntos, con las características descritas en la tabla 5.

**Tabla 5.**

*Clasificación de la Calidad de Agua del ICA – ISQA*

Valor ICA - ISQA	Calidad	Color	Uso del Agua
90 - 100	Excelente		Todos los usos, estado natural del agua
70 - 90	Buena		Consumo Humano (tratamiento convencional), Uso recreativo por contacto directo y riego para cultivos poco resistente
50 - 70	Regular		Riego, Industrial, Consumo Humano (tratamiento especial)
25 - 50	Mala		Recreación Refrigeración Riego cultivo muy resistentes
0 - 25	Pésima		Inaceptable para consumo y riego

Nota: Adaptado a partir de (Gamboa, et al 2014; Torres, (2009); Reyes (2017).

### 8.5.8. Modelación matemática

Para efecto se utilizó el software minitab19, y el método de descomposición de series de tiempo, modelo aditivo tendencial más estacional.

Ecuación del modelo matemático:

$$F = TxI \tag{16}$$

Donde:

F = valor de pronóstico

T = nivel de tendencia

I = índice de estacionalidad.

Ecuación del índice de estacionalidad:

$$I = \frac{\bar{X}_i}{\bar{X}_g} \quad (17)$$

**Donde:**

I = índice de estacionalidad

$\bar{X}_i$ : media de los valores del periodo

i: periodos

$\bar{X}_g$ : media de los valores de la variable

Determinación del nivel de tendencia: desestacionalizar los valores de la serie mediante la ecuación:

$$\frac{X}{I} \quad (18)$$

Donde:

X: valores de la variable

I: índice de estacionalidad

Ecuación matemática de nivel de tendencia lineal:

$$T = a + bt \quad (19)$$

Donde:

t = periodo

T = nivel de la tendencia.

a y b = coeficientes evaluados para la serie de tiempo.

$$b = \frac{\sum D_t(t) - N(\bar{D})(\bar{t})}{\sum t^2 - N\bar{t}^2} \quad (20)$$

$$a = \bar{D} - b\bar{t} \quad (21)$$

Donde:

N = el número de muestras de la línea de tendencias.

Dt = la demanda real en el tiempo t.

D = demanda promedio para N periodos.

t = promedio de t durante N periodos.

## 8.6. Resultados

### 8.6.1. Conformación de la base de datos

La Tabla 6, hace referencia a la base de datos final, 2013-2019, la base de datos presenta valores de parámetros fisicoquímicos, respectivamente analizadas, y con discriminación o corrección de valores atípicos, siendo la base de datos definitiva para el cálculo del ISQA periodo 2013-2019.

**Tabla 6.**

*Base de Datos de Parámetros Fisicoquímicos Para el Cálculo del ISQA periodo 2013-2019*

Año	Meses	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CE (uS/cm)	Temperatura (°C)	OD (mg/L)
2013	Junio	5,0	49,0	202,0	11,6	7,3
	Julio	2,0	6,0	198,0	12,7	7,6
	Agosto	12,0	12,0	208,0	11,8	7,8
	Septiembre	9,0	3,0	211,0	12,8	7,9
	Octubre	41,0	38,0	151,0	11,5	7,8
	Noviembre	10,0	3,0	202,0	12,4	7,1
	Diciembre	22,0	12,0	199,0	13,0	7,9
2016	Junio	32,0	50,0	198,5	11,3	6,6
	Julio	1,0	50,0	188,3	14,3	7,6
	Agosto	28,0	50,0	211,6	15,6	7,3
	Septiembre	2,0	50,0	184,0	13,4	8,0
	Octubre	0,0	50,0	188,0	13,9	7,5
	Noviembre	20,0	50,0	199,0	14,2	7,4

Año	Meses	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CE (uS/cm)	Temperatura (°C)	OD (mg/L)
2018	Diciembre	1,0	50,0	209,9	14,1	7,5
	Junio	13,0	48,0	188,4	12,4	8,5
	Julio	18,0	48,0	203,4	12,6	8,3
	Agosto	0,0	50,0	180,5	12,2	8,3
	Septiembre	9,0	30,0	202,0	12,5	8,5
	Octubre	2,0	30,0	201,5	13,9	6,8
	Noviembre	12,6	30,0	210,0	14,6	8,4
	Diciembre	2,0	30,0	196,4	11,9	8,4
2019	Junio	3,0	5,0	174,6	12,5	8,7
	Julio	16,0	12,0	150,5	12,2	7,2
	Agosto	8,0	3,0	182,3	13,5	6,7
	Septiembre	4,0	1,0	198,9	14,4	6,8
	Octubre	8,0	4,0	195,0	13,4	6,9
	Noviembre	25,0	48,0	147,1	13,8	7,0
	Diciembre	12,6	30,1	189,5	13,1	7,5

Nota: Datos recuperados de la Secretaría del Ambiente del DMQ,2020.

## 8.6.2. Características Hidroclimáticas

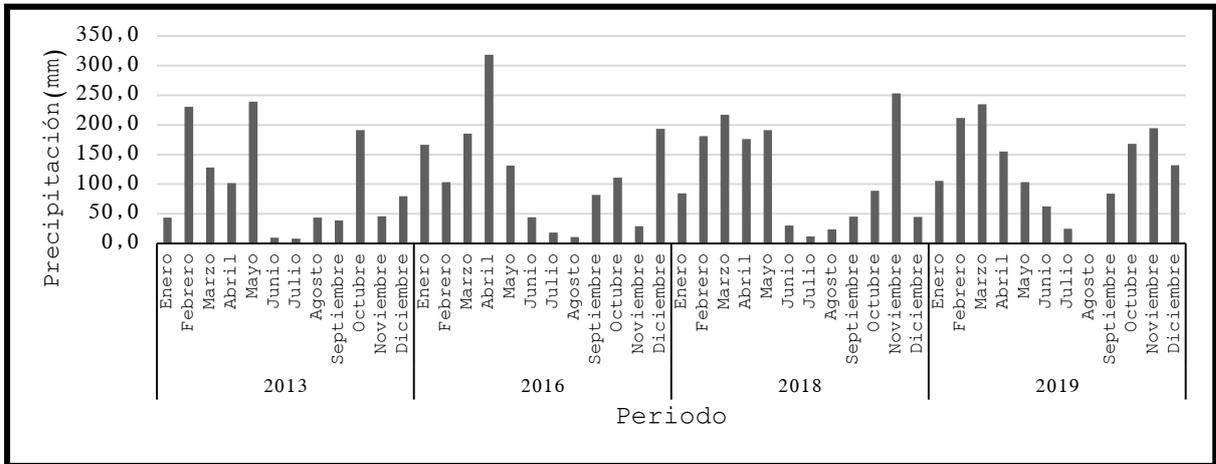
La base de datos de las variables precipitación(mm), temperatura (°C), evaporación potencial (mm), fue otorgado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), de la estación meteorológica Izobamba (M0003) situado a 12 km del sitio de estudio, río Pita (ver anexo 10). Para el análisis se utilizó el método estadístico descriptiva, como la media, máximos y mínimos con la finalidad de estimar su comportamiento espacial y temporal en el periodo 2013-2019

### 8.6.2.1. Precipitación

En la figura 9, se observa la variabilidad espacial y temporal de la variable precipitación, sus valores muestran un patrón de comportamiento estacional. Su valor promedio multianual fue de 114,4 mm, presentó un valor máximo de 318,7 mm, en el mes de abril del año 2016 y un valor mínimo de 0 mm en el mes de julio del 2019, se puede apreciar claramente los periodos bajos de precipitación.

**Figura 9.**

*Precipitación Media Mensual de la Estación Izobamba en el Periodo 2013-2019*



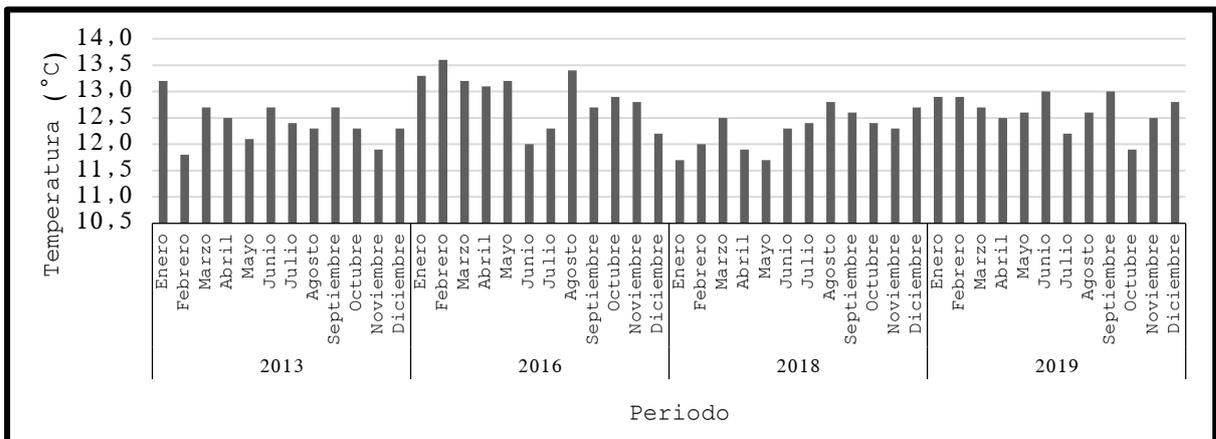
Nota: Elaboración propia, Datos recuperados del INAMHI, 2020.

**8.6.2.2. Temperatura**

En la figura 10, se aprecia la variabilidad espacial y temporal de la variable bioclimática temperatura, sus valores muestran un patrón de comportamiento estacional. Su valor promedio multianual fue de 12,5°C, presentó un valor máximo de 13,6 °C, en el mes de febrero del año 2016 y un valor mínimo de 11,7°C en los meses enero y mayo del año 2018, se observa que no presenta variación apreciable en sus valores.

**Figura 10.**

*Temperatura Media Mensual de la Estación Izobamba en el Periodo 2013-2019*



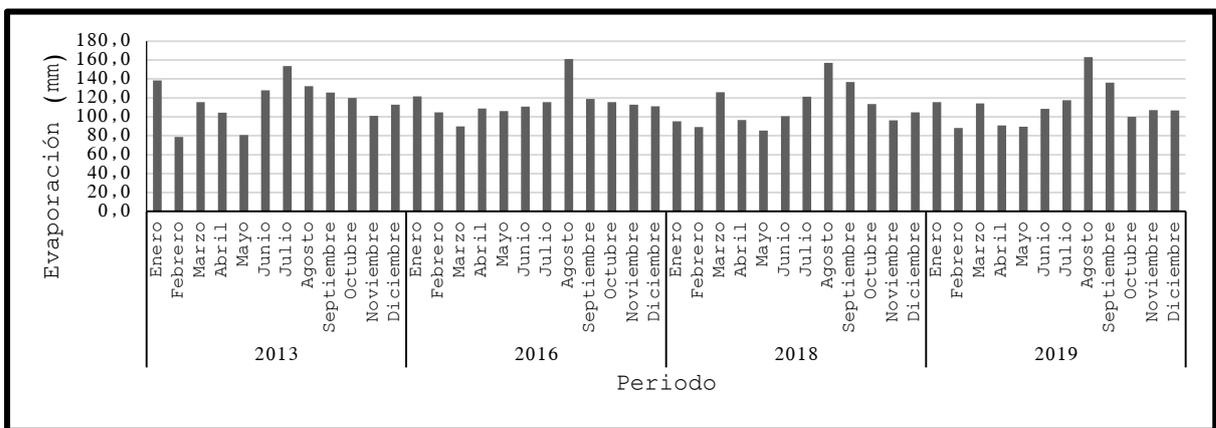
Nota: Elaboración propia, Datos recuperados del INAMHI, 2020.

### 8.6.2.3. Evaporación Potencial

La figura 11, muestra la variabilidad, espacial y temporal de la variable bioclimática evaporación potencial, sus valores muestran un patrón de comportamiento estacional anual. Su valor promedio multianual fue de 110,4 mm, presentó un máximo de concentración de 162,9 mm en el mes de agosto del año 2019 y una mínima de 78,6 mm, en el mes de febrero del año 2013, se observa que no presenta diferencias apreciables en la concentración de sus valores.

**Figura 11.**

*Evaporación Potencial Media Mensual de la Estación Izobamba en el Periodo 2013-2019*

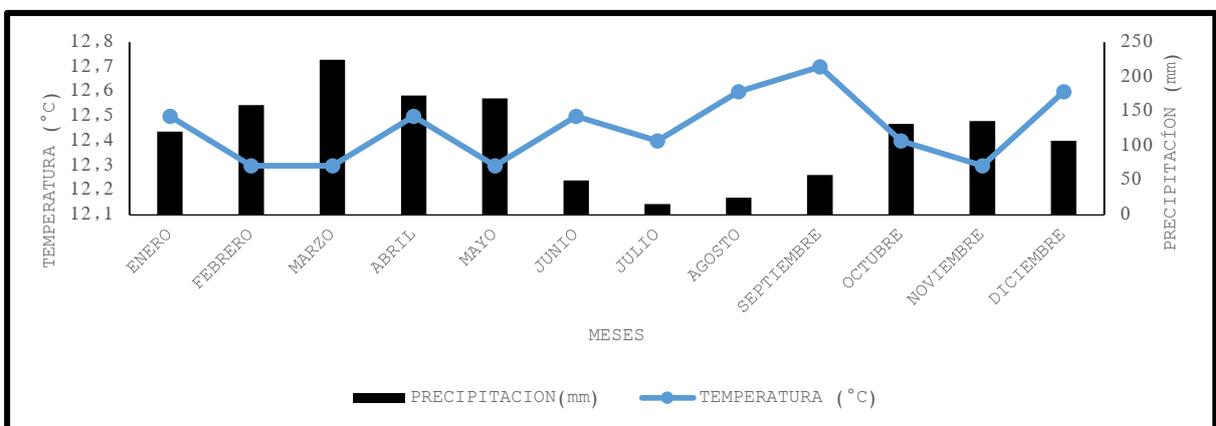


Nota: Elaboración propia, Datos recuperados del INAMHI, 2020.

### 8.6.2.4. Análisis de las épocas estacionales periodo 2013 – 2019

**Figura 12.**

*Diagrama Ombrotérmico de Gausson Estación “Izobamba”*



Nota: Elaboración propia, Datos recuperados del INAMHI, 2020.

La figura 12, presenta el diagrama Ombrotérmico de Gausson con el que se determinó dos épocas estacionales en el área de estudio, la época seca inicia desde el mes de junio hasta

el mes de septiembre, presentándose con las mínimas precipitaciones, de 15, 8 a 57,7 mm y la época de lluvia empieza desde el mes de octubre hasta el mes de mayo, determinándose las mayores precipitaciones que va desde 107,1 a 224,6mm.

Los meses más fríos pertenece a los meses de febrero, marzo, mayo y noviembre con 12,3°C y el mes más cálido es el mes de septiembre en el periodo 2013-2019.

### 8.6.3. Análisis de los Parámetros fisicoquímicos

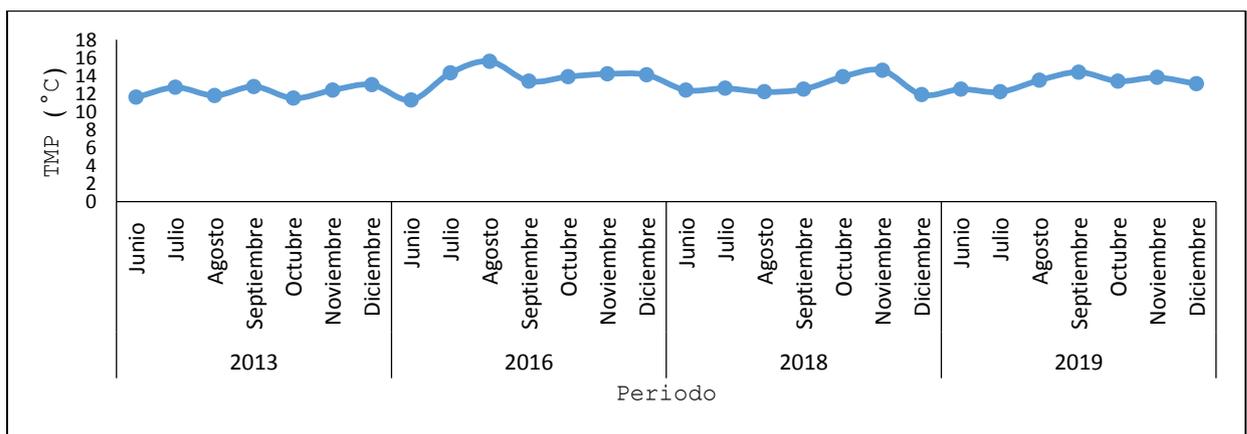
Los gráficos a continuación muestran la variación de los parámetros fisicoquímicos. Para el análisis se consideró los años 2013, 2016, 2018, 2019, de los meses de junio a diciembre.

#### 8.6.3.1. Temperatura

La figura 13, Muestra el comportamiento espacial y temporal del parámetro Temperatura. El valor promedio multianual de la temperatura fue de 13,1°C, el valor máximo de temperatura fue de 15,6 °C, en el mes de agosto del año 2016 y el valor mínimo fue de 11,3 °C en el mes de junio del año 2013. Se aprecia que la variabilidad de la temperatura en el agua del río Pita, no muestra una relación lógica con el clima de la zona, ya que en los meses de época lluviosa se presentan valores de temperaturas altas y viceversa.

**Figura 13.**

*Variación de la Concentración del Parámetro (T) en el Río Pita Periodo 2013 - 2019*



Nota: Elaboración propia

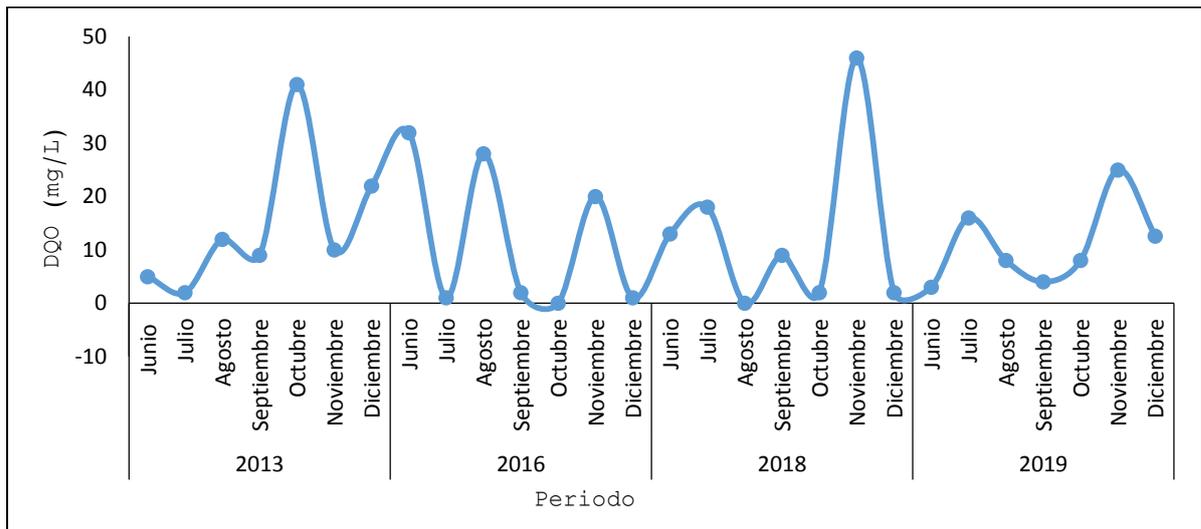
#### 8.6.3.2. Demanda Química de Oxígeno

La figura 14, muestra el comportamiento espacial y temporal del parámetro Demanda Química de Oxígeno. El valor promedio del DQO fue de 12,6 mgL<sup>-1</sup>, presentó un valor máximo de 46 mgL<sup>-1</sup>, en el mes de noviembre del año 2018 y un valor mínimo de 0 mgL<sup>-1</sup> en octubre

del 2016 y en agosto del 2018, se evidencia que en la época seca hay menos concentración del DQO debiendo ser lo contrario, suele ocurrir dicha anomalía por presentar descargas de aguas residuales cercanas al punto de muestreo.

**Figura 14.**

*Variación de la Concentración del DQO en el Río Pita Periodo 2013 - 2019*



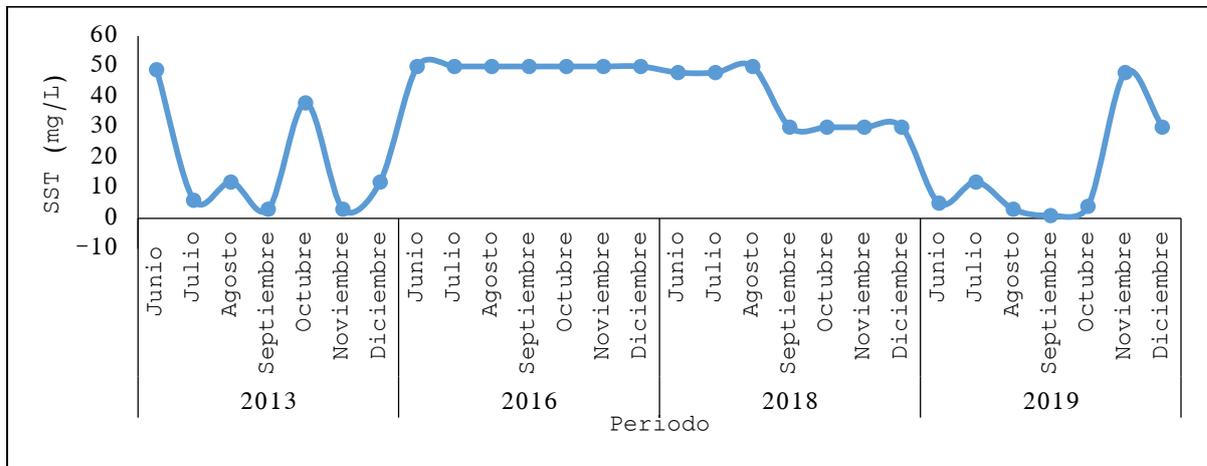
Nota: Elaboración propia

### 8.6.3.3. Sólidos Suspendidos Totales

La figura 15. Muestra el comportamiento espacial y temporal del parámetro sólidos Suspendidos totales. Presentó una concentración máxima de  $50 \text{ mgL}^{-1}$  en los meses de año 2018 y una concentración mínima de  $1 \text{ mgL}^{-1}$ , en el mes de septiembre del año 2019. Se evidencia que en el río Pita las mayores concentraciones de sólidos suspendidos totales se dan en la época de lluvia, esto se debe al arrastre de sedimentos acumulados en la época seca.

**Figura 15.**

Variación de la Concentración del Parámetro SST en el Río Pita Periodo 2013 - 2019



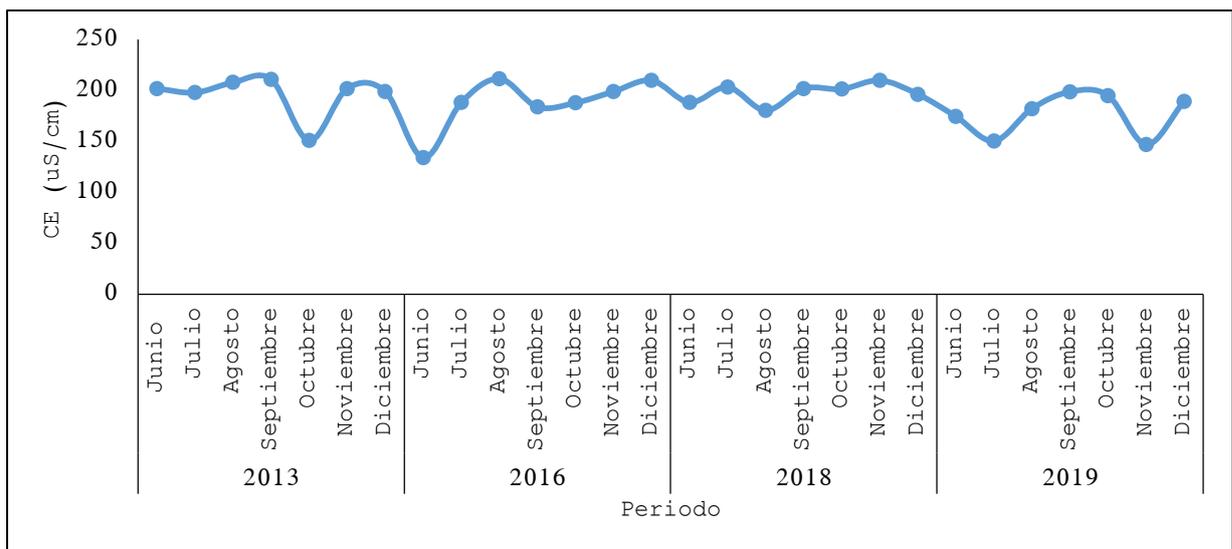
Nota: Elaboración propia

#### 8.6.3.4. Conductividad Eléctrica

La figura 16. Muestra el comportamiento espacial y temporal del parámetro Conductividad Eléctrica, presentó un valor máximo de 211,6 uS/cm en el mes de agosto del año 2016 y un valor mínimo de 134,2 uS/cm en el mes de junio del mismo año.

**Figura 16.**

Variación de la Concentración del Parámetro CE en el Río Pita Periodo 2013 - 2019



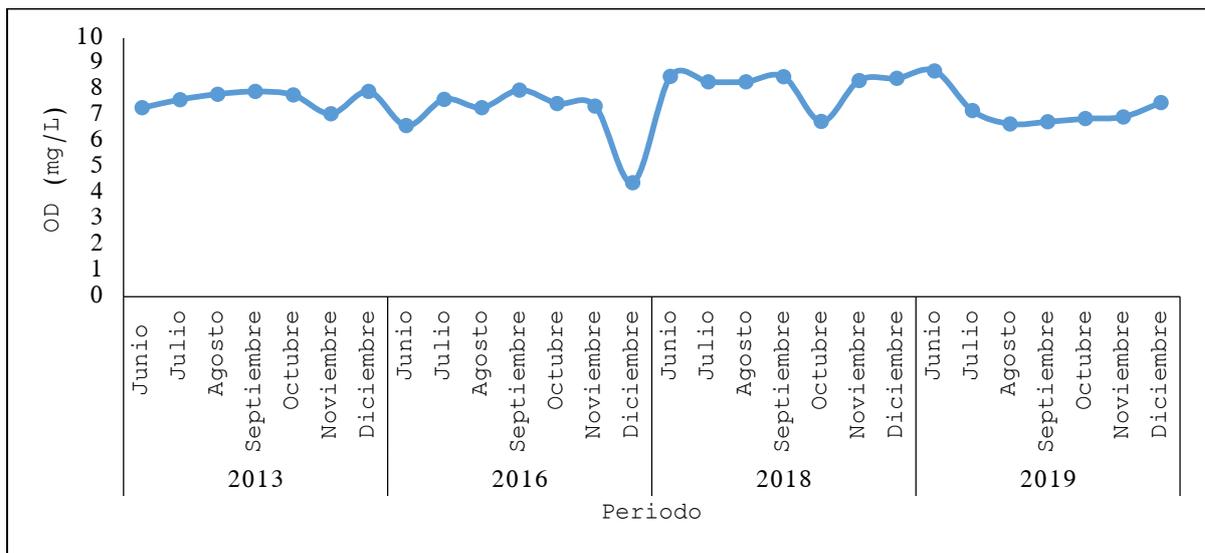
Nota: Elaboración propia

### 8.6.3.5. Oxígeno Disuelto

La figura 17, muestra el comportamiento espacial y temporal del parámetro Oxígeno Disuelto, presentó una concentración máxima de  $8,73 \text{ mgL}^{-1}$  en el mes de junio del año 2019 y una concentración mínima de  $4,41 \text{ mgL}^{-1}$ , en el mes de diciembre del año 2016. Se evidencia que en la época seca hay mayor concentración de oxígeno disuelto.

**Figura 17.**

*Variación de la Concentración del Parámetro OD en el Rio Pita Periodo 2013 - 2019*



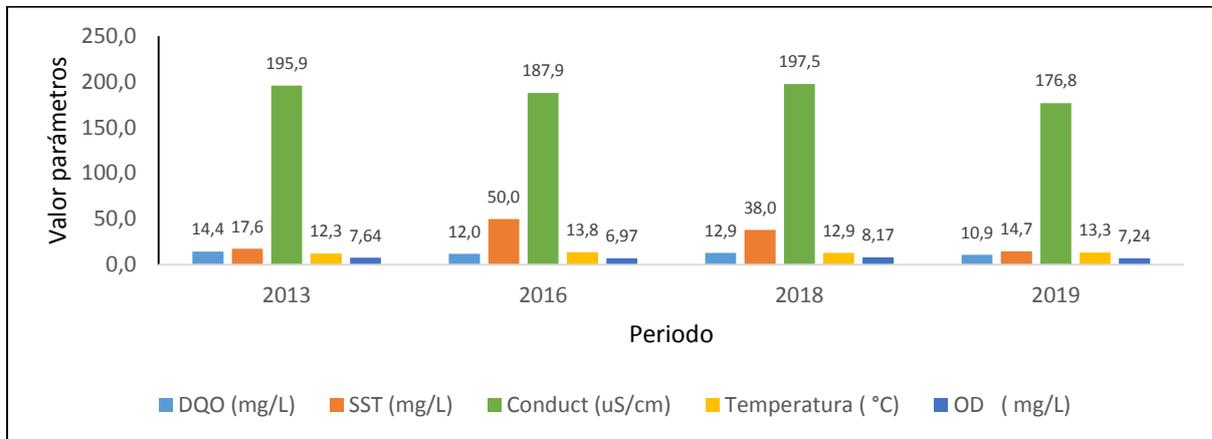
Nota: Elaboración propia

### 8.6.3.6. Concentraciones anuales de Parámetros Físicoquímicos

La figura 18, muestra los resultados de los 5 parámetros físicoquímicos estudiados, se estima que únicamente el parámetro Sólidos Suspendidos Totales presentó una gran diferencia de concentración alcanzando un valor máximo de  $50 \text{ mgL}^{-1}$ , en el año 2016 y un valor mínimo de  $14,7 \text{ mgL}^{-1}$  en el año del 2019.

**Figura 18.**

*Valores Anuales de Parámetros Fisicoquímico del Rio Pita Periodo 2013-2019*



Nota: Elaboración propia

#### 8.6.4. Índice Simplificado de calidad del Agua (ISQA) periodo 2013-2019

El índice simplificado de calidad del agua (ISQA) se calculó mediante la aplicación de las ecuaciones 3 hasta la ecuación 15, para el mismo se consideró las condiciones de cálculo del método. Los resultados fueron analizados con la tabla 5, en donde se estimó la calidad y uso del agua.

**Tabla 7.**

Calidad del Agua del Río Pita en Base a los Resultados del ISQA Mensuales y Anual, Periodo 2013-2019

Año	Mes	ISQA Mensual	Calidad Agua	ISQA Anual	Calidad Agua
2013	Junio	81,8	Buena	78,6	Buena
	Julio	92,2	Excelente		
	Agosto	80,3	Buena		
	Septiembre	86,0	Buena		
	Octubre	68,3	Buena		
	Noviembre	83,2	Buena		
	Diciembre	77,4	Buena		
2016	Junio	67,5	Buena	73,2	Buena
	Julio	87,0	Buena		
	Agosto	67,6	Buena		
	Septiembre	87,0	Buena		
	Octubre	87,6	Buena		
	Noviembre	71,0	Buena		
	Diciembre	78,2	Buena		
2018	Junio	77,0	Buena		Buena
	Julio	74,2	Buena		
	Agosto	90,0	Buena		
	Septiembre	83,7	Buena		
	Octubre	86,4	Buena		

Año	Mes	ISQA Mensual	Calidad Agua	ISQA Anual	Calidad Agua
	Noviembre	67,0	Buena	77,3	
	Diciembre	90,7	Excelente		
2019	Junio	95,0	Excelente	79,9	Buena
	Julio	79,5	Buena		
	Agosto	84,9	Buena		
	Septiembre	88,8	Buena		
	Octubre	84,8	Buena		
	Noviembre	70,5	Buena		
	Diciembre	77,2	Buena		

Nota: Elaboración propia. Datos tomados de la secretaria del Ambiente del DMQ.

La tabla 7. Muestra los resultados del ISQA, mensual en el periodo 2013-2019, su cálculo se evidencia en el anexo 13. Los valores del ISQA mensuales mostraron que el agua del río Pita, encuentra en un rango de calidad de 70-90, según la clasificación de calidad de agua ISQA (ver Tabla 5), estimada como calidad de agua buena, apto para consumo humano previo a tratamientos convencionales y utilizable para cultivos poco resistentes, y uso recreacional. Excepto los meses de julio del 2013, diciembre del 2018 y junio del 2019 presentaron valores del ISQA que se encuentran en el rango de calidad de 90 - 100, estimada como estado natural del agua de excelente calidad. Apto para todos los usos, purificación menor para consumo humano y no requiere tratamiento para riego. Los valores del ISQA anuales, mostraron que el agua del río Pita se encuentra en un rango de calidad de 70 a 90, clasificada como agua de buena calidad, apto para consumo humano previo a tratamientos convencionales, utilizable para cultivos poco resistente y uso recreacional.

**Tabla 8.**

*Calidad del Agua del Río Pita Según el ISQA Para la Época Seca y Lluviosa en el Periodo 2013-2019*

AÑO	ISQA ÉPOCA SECA	CALIDAD DE AGUA	ISQA ÉPOCA LUVIOSA	CALIDAD DE AGUA
2013	85,4	Buena	75,4	Buena
2016	73,2	Buena	77,6	Buena
2018	80,7	Buena	76,2	Buena
2019	86,7	Buena	75,8	Buena

Nota: Elaboración propia

La tabla 8, muestra los resultados del ISQA, para los dos periodos estacionales, época seca comprendida entre los meses de junio a septiembre y la época lluviosa comprende los meses de octubre a diciembre. El agua del río Pita en todos los años analizados que comprenden las dos épocas seca y lluviosa mantienen valores de ISQA entre el rango de 70-90, clasificada como agua de buena calidad, apto para consumo humano previo a tratamientos convencionales,

utilizable para cultivos poco resistente y uso recreacional, cabe recalcar que el cálculo del ISQA se evidencia en el anexo 13.

### 8.6.5. Base de datos final para la serie de tiempo

La Tabla 9, muestra la base de datos completada para la serie de tiempo periodo 2016-2019 y con la respectiva corrección de valores atípicos (ver Anexo 9) con la misma se realizó el pronóstico.

**Tabla 9.**

*Base de Datos de la Serie de Tiempo de los Parámetros Físicoquímicos del Río Pita Periodo 2016-2019*

Año	Meses	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CE (uS/cm)	TMP (°C)	OD (mg/L)
<b>2016</b>	Enero	17,6	42,9	158,9	12,5	6,9
	Febrero	17,6	50,0	178,1	14,0	7,6
	Marzo	30,0	50,0	177,2	13,7	7,5
	Abril	17,6	42,9	156,4	14,5	6,5
	Mayo	17,6	42,9	111,7	15,0	6,6
	Junio	32,0	50,0	134,2	11,3	6,6
	Julio	17,6	50,0	188,3	14,3	7,6
	Agosto	28,0	50,0	211,6	15,6	7,3
	Septiembre	17,6	50,0	184,0	13,4	8,0
	Octubre	17,6	50,0	188,0	13,9	7,5
	Noviembre	20,0	50,0	199,0	14,2	7,4
	Diciembre	17,6	50,0	209,9	14,1	7,5
<b>2017</b>	Enero	17,6	50,0	189,7	12,1	7,5
	Febrero	16,0	50,0	178,0	11,8	7,9
	Marzo	14,0	42,9	157,9	12,2	7,6
	Abril	16,0	50,0	176,8	11,8	7,5
	Mayo	7,0	50,0	188,2	14,9	7,4
	Junio	17,6	42,9	196,7	12,5	8,1
	Julio	17,6	42,9	212,4	12,7	7,9
	Agosto	21,0	42,9	173,9	13,2	7,1
	Septiembre	22,0	20,0	151,8	13,5	6,7
	Octubre	17,6	42,9	210,4	14,0	6,4
	Noviembre	17,6	42,9	219,3	14,7	7,9
	Diciembre	17,6	42,9	205,1	12,0	8,0
<b>2018</b>	Enero	18,0	50,0	170,8	11,6	7,8
	Febrero	9,0	29,8	139,1	12,9	7,3
	Marzo	17,6	42,9	184,2	12,3	7,7
	Abril	13,0	50,0	168,1	13,4	7,4
	Mayo	30,0	48,0	120,0	13,9	7,4
	Junio	13,0	48,0	188,4	12,4	8,5
	Julio	18,0	48,0	203,4	12,6	8,3
	Agosto	17,6	50,0	180,5	12,2	8,3
	Septiembre	9,0	30,0	202,0	12,5	8,5
	Octubre	17,6	30,0	201,5	13,9	6,8
	Noviembre	17,6	30,0	210,0	14,6	8,4
	Diciembre	17,6	30,0	196,4	11,9	8,4
<b>2019</b>	Enero	17,6	42,9	164,7	11,5	7,5
	Febrero	17,6	42,9	134,1	12,8	6,9
	Marzo	9,0	30,0	184,9	12,0	8,4

Año	Meses	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CE (uS/cm)	TMP (°C)	OD (mg/L)
	Abril	17,6	30,0	180,7	11,6	8,7
	Mayo	23,0	30,0	185,0	13,7	8,0
	Junio	17,6	42,9	174,6	12,5	8,7
	Julio	16,0	42,9	150,5	12,2	7,2
	Agosto	8,0	42,9	182,3	13,5	6,7
	Septiembre	17,6	42,9	198,9	14,4	6,8
	Octubre	8,0	42,9	195,0	13,4	6,9
	Noviembre	25,0	48,0	147,1	13,8	7,0
	Diciembre	17,6	42,9	189,4	11,8	8,1

Nota: Elaboración propia, Datos tomados de la secretaria del Ambiente del DMQ.

### 8.6.5.1. Análisis estadísticos de los datos de la serie de tiempo

La Tabla 10, Muestra el análisis estadístico que se realizó a la base de datos final de la serie de tiempo del periodo 2016-2019.

**Tabla 10.**

*Estadísticos Descriptivos de la Base de Datos de la Serie de Tiempo, periodo 2016-2019*

Parámetros Físicoquímicos	Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
T (°C)	13,1	13,1	13,4	1,1	11,3	15,6
DQO (mg/L)	17,6	17,6	17,6	5,3	7,0	32,0
SST (mg/L)	43,5	42,9	42,9	8,4	20,0	66,0
CE (uS/cm)	179,4	184,1	202,2	25,0	111,7	219,3
OD (mg/L)	7,6	7,5	7,5	0,6	6,4	8,7

Nota: Elaboración propia

### 8.6.6. Pronóstico de series de tiempo

Para el cálculo de pronóstico se utilizó las ecuaciones 16, 17, 18 y 19 del método matemático descomposición de series de tiempo, modelo aditivo tendencial más estacional, los cálculos de pronóstico realizados por parámetros se evidencia en los anexos 14 al 23 y el resultado de pronóstico se evidencia en el Anexo 24. A continuación se presenta los resultados por parámetros.

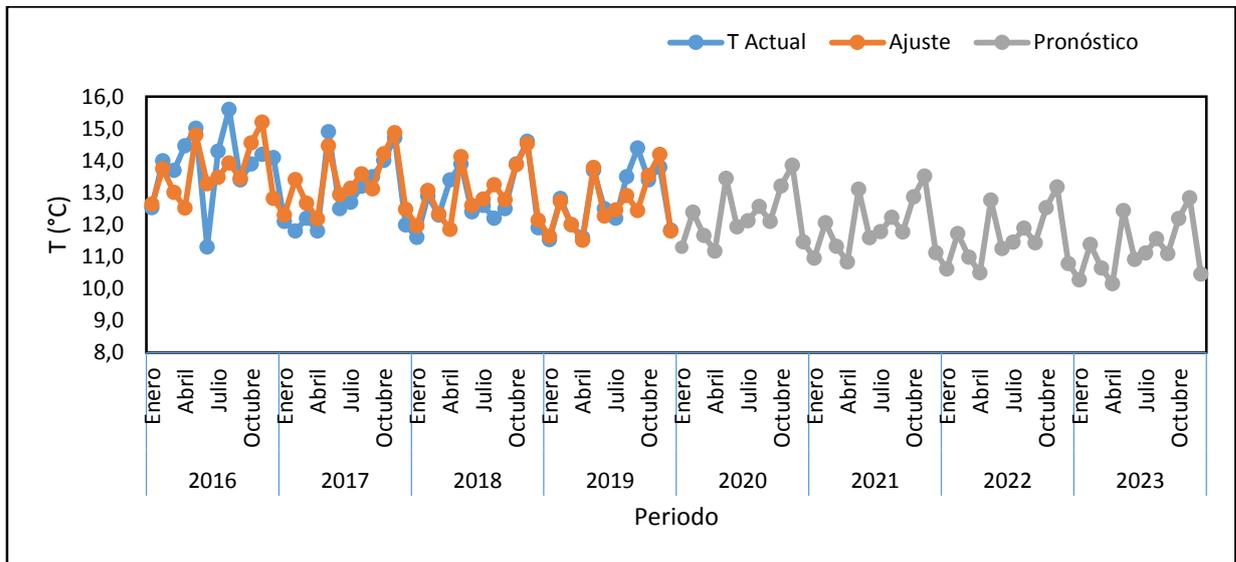
#### 8.6.6.1. Temperatura

Aplicando el método de descomposición de series de tiempo, modelo aditivo tendencial más estacional se obtuvo el pronóstico del parámetro temperatura para un periodo de 4 años

2020-2023, obteniendo de esta manera un total de 48 datos pronosticados con un 3,88% de error absoluto, se predice que el valor promedio interanual de temperatura será de  $11,8^{\circ}\text{C}$  y su valor máximo será de  $13,9^{\circ}\text{C}$  en noviembre 2020 y el valor mínimo será de  $10,2^{\circ}\text{C}$  en el mes de abril del año 2023. Se predice que en el transcurso de los 4 años futuros la concentración de la temperatura en el agua del río Pita disminuirá, ya que sus valores predicen un comportamiento de patrón tendencial negativa como se muestra en la figura 19.

**Figura 19.**

*Variación de Temperatura del Río Pita Para el Periodo 2020-2023*



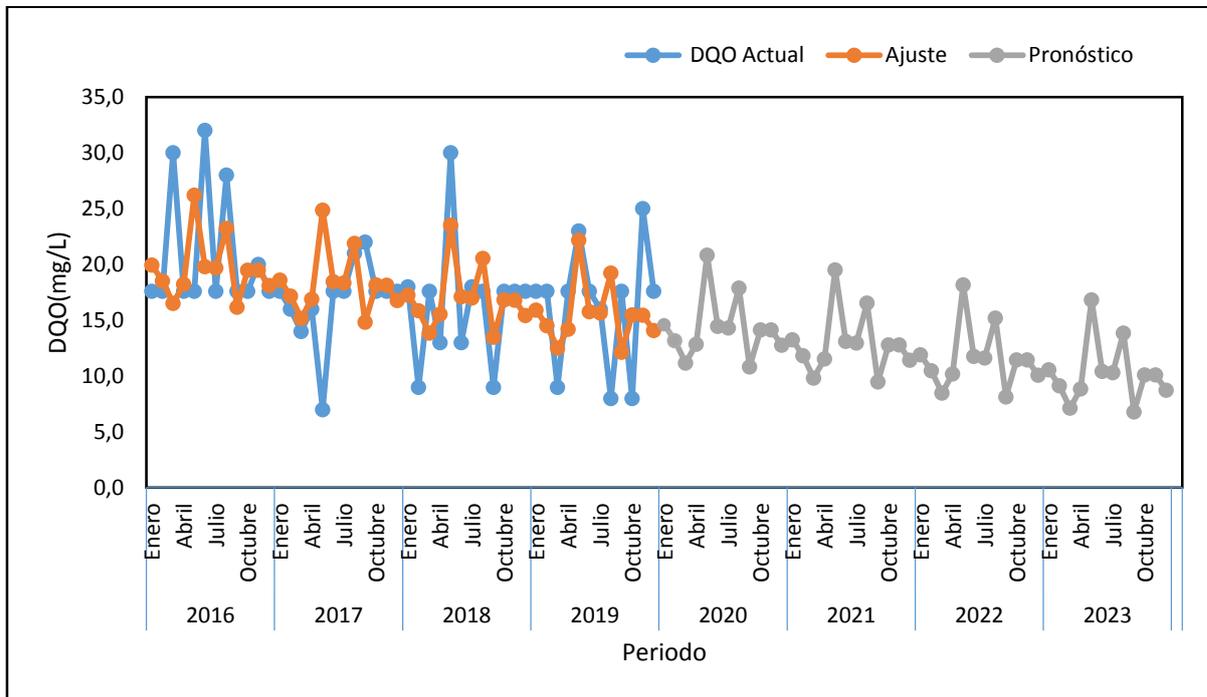
Nota: Elaboración propia

### 8.6.6.2. Demanda Química de Oxígeno

Aplicando el método de descomposición de series de tiempo, modelo aditivo tendencial más estacional se calculó el pronóstico del demanda química de oxígeno para el periodo 2020-2023, consiguiendo un total de 48 datos pronosticados con un 25,7% de error absoluto, se predijo que el valor promedio interanual del demanda química de oxígeno será de  $12,2 \text{ mgL}^{-1}$  y su mayor concentración fue de  $20,8 \text{ mgL}^{-1}$  en el mes de mayo del año 2020 y habrá menos concentración de demanda química de oxígeno en el mes de septiembre del año 2023 con un valor de  $6,8 \text{ mgL}^{-1}$  (ver Anexo 24). Se predice que en el transcurso de los 4 años futuros la concentración del Demanda Química de Oxígeno disminuirá, ya que sus valores predicen un comportamiento de patrón tendencial negativa como se muestra en la figura 20.

**Figura 20.**

*Variación del Demanda Química de Oxígeno en el Río Pita Para el Periodo 2020-2023*



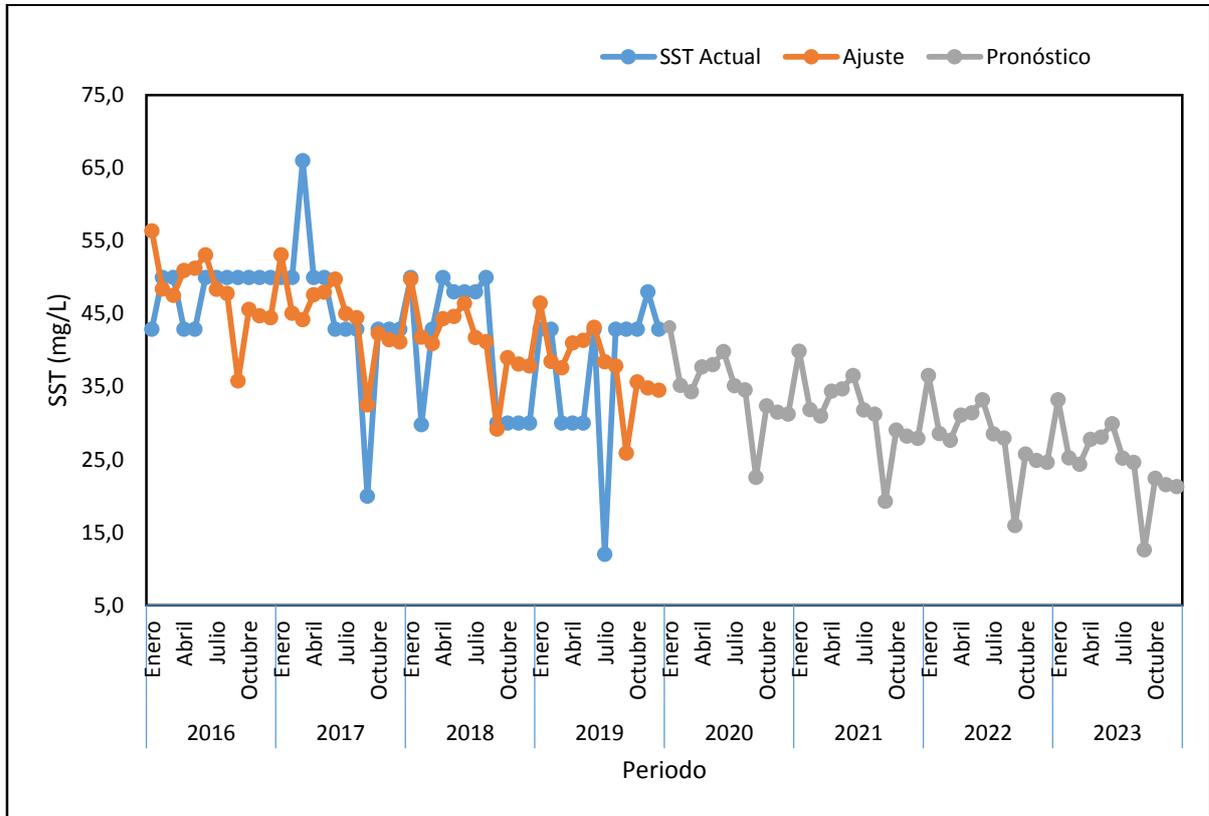
Nota: Elaboración propia

### 8.6.6.3. Sólidos Suspendedos Totales

Con el método de descomposición de series de tiempo, se estimó el pronóstico del parámetro Sólidos Suspendedos Totales para un periodo de 4 años futuros 2020-2023, consiguiendo un total de 48 datos pronosticados con un 19,6% de error absoluto, se predice que el valor promedio interanual de Sólidos Suspendedos totales será de  $29,7 \text{ mgL}^{-1}$  y su máxima concentración fue de  $43,2 \text{ mgL}^{-1}$  en el mes de enero del año 2020 y su valor mínimo de concentración será de  $12,6 \text{ mgL}^{-1}$  en el mes de septiembre del año 2023 (ver anexo 24). Se predice que en los 4 años futuros la concentración del parámetro Sólidos Suspendedos Totales irá disminuyendo, ya que sus valores predicen un comportamiento de patrón tendencial negativa, como se evidencia en la Figura 21.

**Figura 21.**

*Variación del Parámetro Sólidos Suspendedos Totales en el Río Pita Para el Periodo 2020-2023*



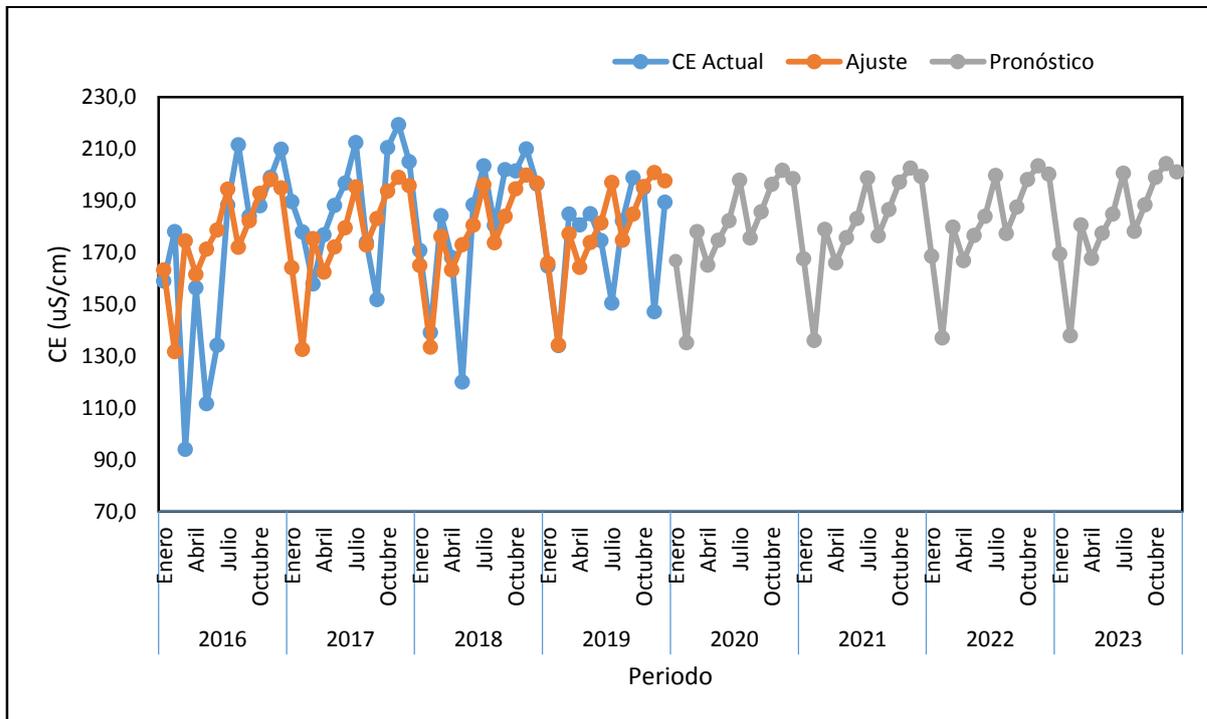
Nota: Elaboración propia

#### 8.6.6.4. Conductividad Eléctrica

Con el método de descomposición de series de tiempo, se estimó el pronóstico del parámetro Conductividad Eléctrica para un periodo de 4 años futuros 2020-2023, consiguiendo un total de 48 datos pronosticados con un 11,6% de error absoluto, se predice que el valor promedio interanual del parámetro Conductividad Eléctrica será de 181,2 uS/cm y su máxima concentración será de 204,3 uS/cm en el mes de noviembre del año 2023 y su valor mínimo de concentración fue de 135,2 uS/cm en el mes de febrero del año 2020 (ver anexo 24). Se predice que en los 4 años futuros la concentración del parámetro Conductividad Eléctrica se mantendrá entre los valores actuales, ya que no habría disminución o incremento considerables en su concentración, (ver Figura 22).

**Figura 22.**

*Variación del Parámetro Conductividad Eléctrica en el Río Pita Para el Periodo 2020-2023*



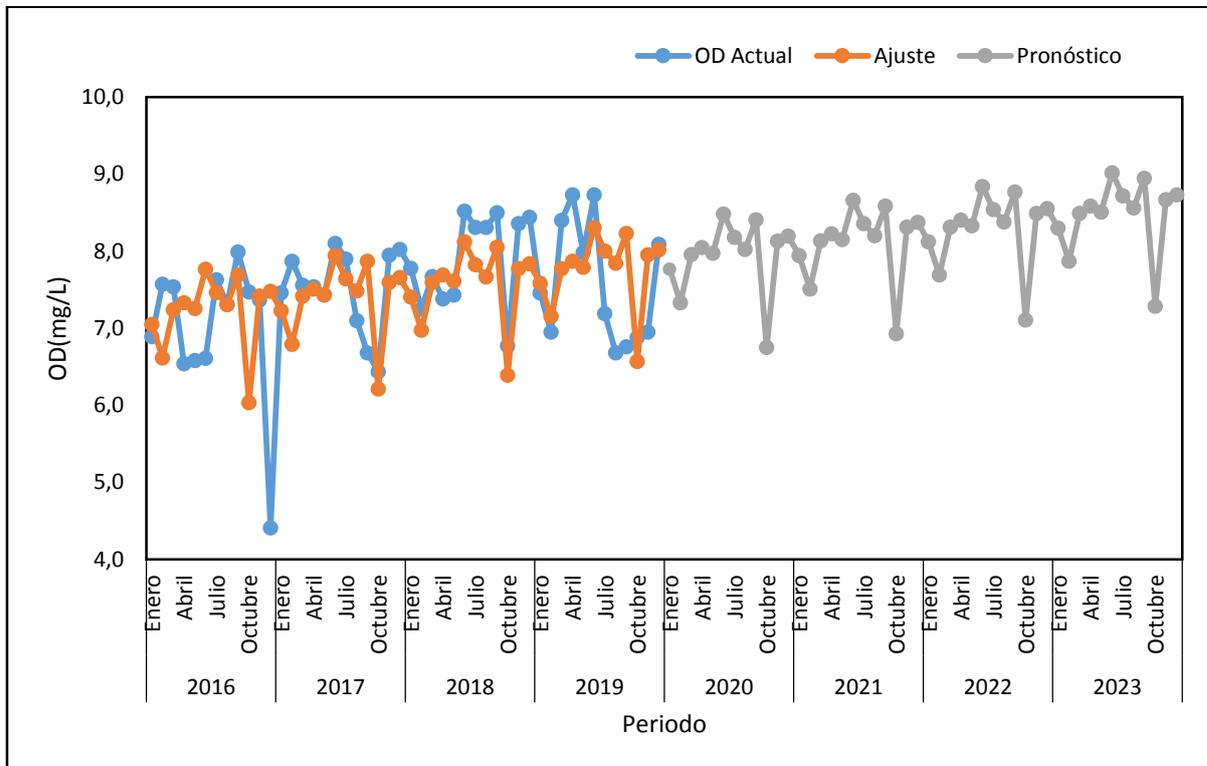
Nota: Elaboración propia

#### 8.6.6.5. Oxígeno Disuelto

Con el método de descomposición de series de tiempo, se obtuvo el pronóstico del parámetro Oxígeno Disuelto para el periodo 2020-2023, obteniendo un total de 48 datos pronosticados con un 7,7% de error absoluto, se predice que el valor promedio interanual del parámetro Oxígeno Disuelto será de  $8,2 \text{ mgL}^{-1}$  y su máxima concentración será de  $9,0 \text{ mgL}^{-1}$  en el mes de junio del año 2023 y su valor mínimo de concentración será de  $6,7 \text{ mgL}^{-1}$  en el mes de octubre del año 2020 (ver anexo 24). Se predice que en los 4 años futuros el río Pita tendrá un incremento de oxígeno disuelto en el agua, sus valores predicen un comportamiento de patrón tendencial positiva, (ver Figura 23).

**Figura 23.**

*Variación del Parámetro Oxígeno Disuelto en el Río Pita Para el Periodo 2020-2023*



Nota: Elaboración propia

### 8.6.7. Índice Simplificado de calidad de agua para el periodo 2020-2023

Con los valores de pronóstico obtenidos del resultado del método de descomposición de series de tiempo, (ver Anexo 24), se determinó el ISQA, por mes, año y por épocas estacionales, época seca y época lluviosa en un periodo de 4 años futuros 2020 – 2023, la estimación de la calidad del agua del río Pita periodo 2020-2023 se evidencia en la tabla 11.

**Tabla 11.**

*Calidad del Agua del Río Pita de acuerdo a la metodología ISQA periodo 2020-2023*

Año	Mes	ISQA Mensual	Calidad Agua	ISQA Anual	Calidad Agua
2020	Enero	76,1	Buena	77,4	Buena
	Febrero	78,1	Buena		
	Marzo	78,6	Buena		
	Abril	78,3	Buena		
	Mayo	74,8	Buena		
	Junio	77,8	Buena		
	Julio	77,3	Buena		

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>ISQA Mensual</b>	<b>Calidad Agua</b>	<b>ISQA Anual</b>	<b>Calidad Agua</b>
	Agosto	76,5	Buena		
	Septiembre	81,4	Buena		
	Octubre	74,2	Buena		
	Noviembre	77,6	Buena		
	Diciembre	78,4	Buena		
2021	Enero	77,4	Buena	78,8	Buena
	Febrero	79,4	Buena		
	Marzo	82,6	Buena		
	Abril	79,6	Buena		
	Mayo	76,2	Buena		
	Junio	79,2	Buena		
	Julio	78,6	Buena		
	Agosto	77,9	Buena		
	Septiembre	85,6	Buena		
	Octubre	75,6	Buena		
	Noviembre	79,0	Buena		
	Diciembre	79,8	Buena		
2022	Enero	78,8	Buena	80,1	Buena
	Febrero	80,8	Buena		
	Marzo	84,9	Buena		
	Abril	81,0	Buena		
	Mayo	77,6	Buena		
	Junio	80,6	Buena		
	Julio	80,0	Buena		
	Agosto	79,3	Buena		
	Septiembre	87,8	Buena		
	Octubre	77,0	Buena		
	Noviembre	80,4	Buena		
	Diciembre	81,2	Buena		
2023	Enero	80,2	Buena	81,5	Buena
	Febrero	85,2	Buena		
	Marzo	87,1	Buena		
	Abril	85,6	Buena		
	Mayo	79,0	Buena		
	Junio	82,0	Buena		
	Julio	81,4	Buena		
	Agosto	80,6	Buena		
	Septiembre	90,0	Buena		
	Octubre	78,4	Buena		
	Noviembre	81,8	Buena		
	Diciembre	85,9	Buena		

Nota: Elaboración propia

La tabla 11. Muestra los resultados del ISQA, mensual y anual en el periodo 2020-2023, su cálculo se evidencia en el anexo 25. Los valores del ISQA mensuales y anuales mostraron

que el agua del río Pita, durante el periodo 2020-2023 tomará valores entre 70-90, según la clasificación de calidad de agua ISQA (ver Tabla 5), estimada como calidad de agua buena, apto para consumo humano previo a tratamientos convencionales, utilizable para cultivos poco resistentes, y uso recreacional.

**Tabla 12.**

*Calidad del Agua del Río Pita Según el ISQA Para la Época Seca y Lluviosa en el Periodo 2020-2023*

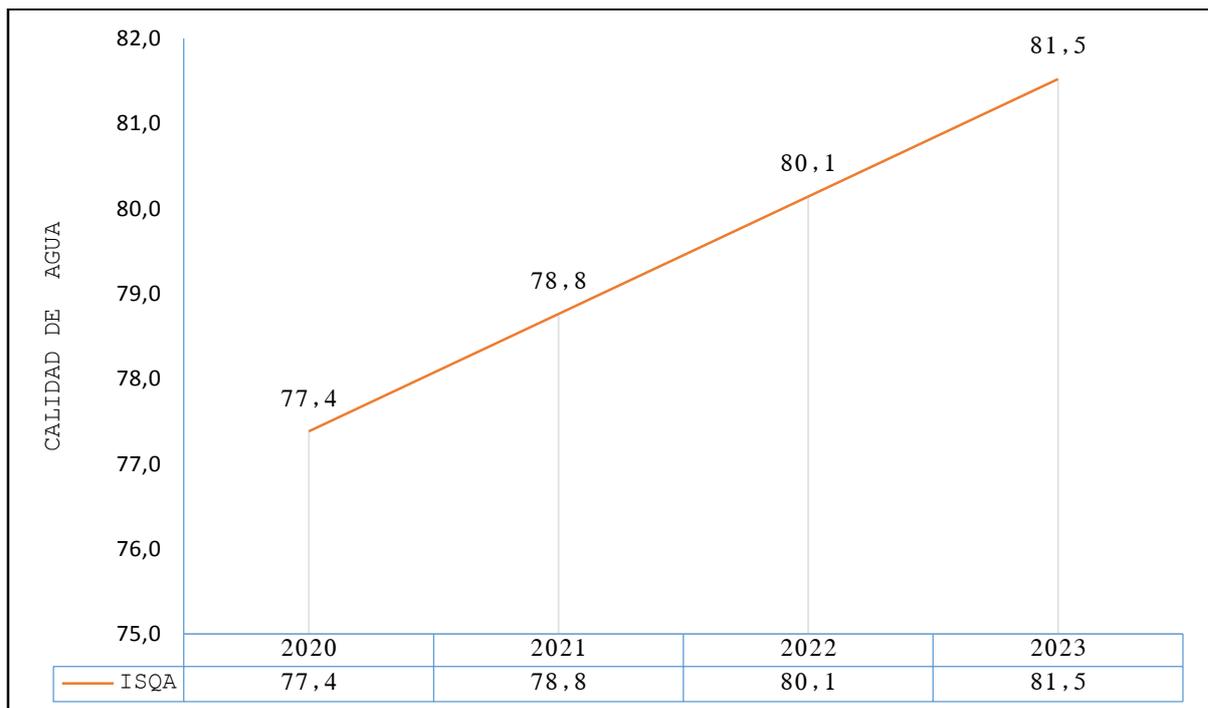
AÑO	ISQA ÉPOCA SECA	CALIDAD DE AGUA	ISQA ÉPOCA LUVIOSA	CALIDAD DE AGUA
2020	78,2	Buena	77,0	Buena
2021	79,6	Buena	78,3	Buena
2022	81,0	Buena	79,7	Buena
2023	82,4	Buena	81,1	Buena

Nota: Elaboración propia

La tabla 12, muestra los resultados del ISQA, para la época seca y época lluviosa, el agua del río Pita en las dos épocas seca y lluviosa tomarán valores de ISQA entre el rango de 70-90, clasificada como agua de buena calidad, apto para consumo humano previo a tratamientos convencionales, utilizable para cultivos poco resistente y uso recreacional, su cálculo se evidencia en el anexo 25.

**Figura 24.**

*Comportamiento Anual de la Calidad del Agua del Río Pita Periodo 2020-2023*

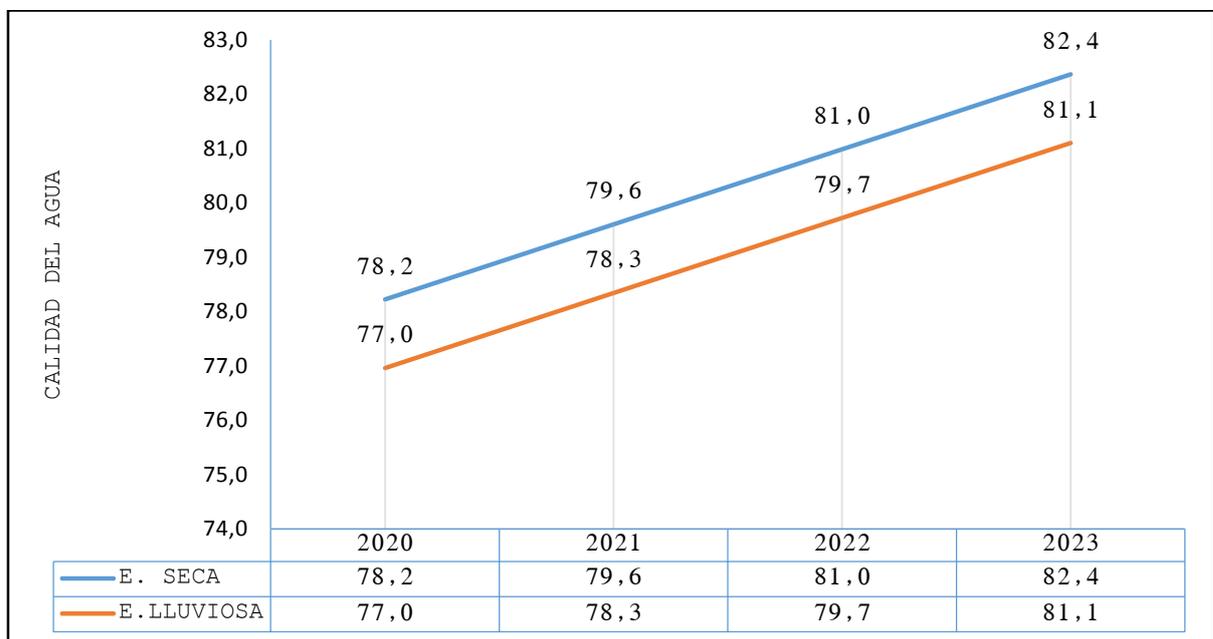


Nota: Elaboración propia

La figura 24, muestra el comportamiento de la calidad del agua del río Pita en los 4 años futuros 2020 – 2023. Se predice un valor de calidad de 77,4 para el 2020, y en el 2021 esta se incrementará a 78,8 de calidad, en el 2022 ascenderá a 80,1 y para el año 2023 la calidad del agua será de 81,5 lo que predice que la calidad del agua tendrá un comportamiento tendencial positivo en los 4 años futuros, manteniéndose en el rango de 70-90, según la clasificación de calidad de agua ISQA, estimada como calidad de agua buena, apto para consumo humano previo a tratamientos convencionales.

**Figura 25.**

*Comportamiento de la Calidad del Agua del Río Pita en la Época Seca y Lluviosa, Periodo 2020-2023*



Elaborado por: Ashanka Matteo, 2020.

La Figura 25, muestra el comportamiento de la calidad del agua del río Pita en dos épocas estacionales época seca y época lluviosa. Se predice que el valor del ISQA en la época seca se mantendrá por encima de los valores de la época de lluvia, pero manteniéndose en el rango de calidad de 70-90, según la clasificación de calidad de agua ISQA, estimada como calidad de agua buena, apto para consumo humano previo a tratamientos convencionales. De acuerdo a los resultados ISQA que se evidencian en el Anexo 25 y Figura 25, la calidad del agua se mantendrá en aumentando en las dos épocas estacionales durante los 4 años futuros, tomando un comportamiento tendencial positivo.

Según el ISQA en la época seca presento valores de calidad superiores que en la época lluviosa, esto fue debido a que el agua del río Pita presenta contaminación por sedimentos ya

que en la época de lluvia al aumentar su caudal, hay mayor concentración de sedimentos por ende disminuye la calidad del agua.

## 9. LA NARRACIÓN DEL CASO (DISCUSIÓN)

La variación de los parámetros fisicoquímicos durante el periodo 2013-2019, indican que el agua del río Pita tiene concentraciones de oxígeno disuelto que fluctúan entre  $6,9 \text{ mgL}^{-1}$  a  $8,1 \text{ mgL}^{-1}$  con una media de  $7,6 \text{ mgL}^{-1}$ , la concentración de oxígeno disuelto, es función de la temperatura, presión atmosférica y la salinidad del agua, (Gil, 2014), la usencia de diferencias significativas sobre los valores encontrados evidencian un buen estado del agua. Comparando con la normativa ecuatoriana TULSMA, libro VI, Anexo 1, Tabla 6 sobre criterios de calidad de agua para fines recreativos mediante contacto primario, sugiere un valor máximo permisible  $>6,0 \text{ mg/L}$ , por lo tanto, el parámetro Oxígeno Disuelto se encuentra dentro del límite máximo permisible establecidos por la normativa nacional. Los valores del parámetro demanda química de Oxígeno fluctuaron entre  $10,9 \text{ mgL}^{-1}$  a  $14,4 \text{ mgL}^{-1}$  con una media de  $11,3 \text{ mgL}^{-1}$ , siendo un valor considerable para el desarrollo de los microorganismos acuáticos, (Simbaña et al 2019). Los valores del parámetro temperatura fluctúan entre  $12,3$  a  $13,8^\circ\text{C}$  con una media de  $13,1^\circ\text{C}$ , a pesar de esto la temperatura no muestra grandes variaciones, debido a la escasez de descargas industriales y la baja actividad que puede influenciar este parámetro de forma significativa (Torres C. , 2015), se conoce que la temperatura es un parámetro indicador de calidad del agua y que a su vez está relaciona con el parámetro Oxígeno Disuelto, ya que al aumento de la temperatura el oxígeno disuelto disminuye y viceversa, el parámetro temperatura no está considerado en la normativa ecuatoriana (TULSMA) criterios de calidad de agua para fines recreativos, pero su valor no sobre pasa el límite máximo permisible, que según los estándares de calidad para aguas de uso recreacional de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 1986), que establece un límite máximo de  $32^\circ\text{C}$ . Los valores de conductividad eléctrica fluctúan entre  $176,8$  a  $197,5 \text{ uS/cm}$  con un promedio de  $189,5 \text{ uS/cm}$ , según lo obtenido se determina que el río Pita tiene una alta conductividad esto se debe a la excesiva concentración de sales y carbonatos (Peralta, 2019). El parámetro conductividad no está considerado en la normativa ecuatoriana (TULSMA), de calidad de agua para fines recreativos, pero su valor no sobre pasa el límite máximo permisible de conductividad, que según los estándares de calidad para aguas de uso recreacional de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 1986), que establece un máximo de  $1000 \text{ uS/cm}$  (EPA, 2012). Los valores de los sólidos suspendidos totales oscilaron entre  $14,7 \text{ mgL}^{-1}$  a  $50 \text{ mgL}^{-1}$  con un promedio de  $30,1 \text{ mgL}^{-1}$ , lo que mostró que existe bajas concentraciones de partículas

suspendidas en el agua del río Pita, las mayores concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales hace referencia a aguas de origen residual y por presentar altos grados de erosión del suelo, sus bajas concentraciones de sólidos Suspendidos Totales permitió comprobar que no existe exceso de sales y algunos rastros de compuestos orgánicos, por lo que también presenta una escasez de arrastre de material y sedimentos, razón por la cual los centros turísticos que utilizan el agua para recreación no presentan problemas en su uso (Torres C. , 2015). El parámetro Oxígeno Disuelto fue el único que aplica la normativa ecuatoriana TULSMA para el criterio de calidad de agua con fines recreativos.

Con la variable precipitación media anual y temperatura media anual perteneciente a la estación meteorológica Izobamba periodo 2013-2019, se determinó que la época seca inicia desde el mes de junio hasta septiembre y la época lluviosa corresponde desde el mes de octubre hasta mayo.

Los valores obtenidos del ISQA, presentaron variaciones de 78,6 para el año 2013, para el 2016 un valor de 73,2, para el 2018 un valor de 77,03 y para el 2019 un valor de 79,9 (ver Tabla 7), valores estimados en un rango de calidad de 70 a 90 clasificada por el ISQA como calidad de agua Buena, apto para consumo humano previo a tratamientos convencionales, utilizable para cultivos poco resistente y uso recreacional, sin embargo los meses de julio del 2013, diciembre del 2018 junio del 2019 mostraron valores pertenecientes al rango de calidad de 90 - 100, clasificada como estado natural del agua de excelente calidad, apto para todos los usos, purificación menor para consumo humano y no requiere tratamiento para riego. Los valores del ISQA en la época seca varió de 80,7 a 86,7 y para la época lluviosa varió de 75,4 a 77,60 sin embargo se mantuvieron entre el rango de calidad de 70-90 mostrando una calidad del agua buena, (ver Figura 8), se evidencia que el valor de ISQA es mayor en la época seca en relación a la Lluviosa, se suponía que en la época seca comúnmente el agua es mejor, pero en este caso no se cumplió dicho criterio, el río Pita durante su recorrido atraviesa zonas boscosas con niveles altos de erosión de suelo, se asume que durante la época de lluvia los sedimentos son arrastrados por el aumento del caudal de esta manera alterando la calidad del agua especialmente por presentar mayores concentraciones de sólidos suspendidos totales y conductividad eléctrica. La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo (2015), afirma que el río Pita en la época lluviosa recibe descargas de afluentes que al aumentar sus caudales desembocan al río Pita arrastrando sedimentos y sólidos provenientes de zonas urbanas aledañas al río, lo que origina mayor concentración de contaminantes alterando la calidad del río.

El modelo matemático aplicado para el pronóstico mostró bajos errores de pronóstico para los parámetros sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura sin embargo el parámetro demanda química de oxígeno tuvo un 25% de error de pronóstico. Plaza (2016), menciona que el error se eleva cuando hay una dispersión de datos que se aproximan a cero, lo que hace el MAPE es, dividir el error absoluto entre los datos reales, por tal razón los valores que se aproximan a cero influyen en el aumento significativo del MAPE.

El valor del ISQA para el año 2020 es de 77,4, para el año 2021 de 78,8, para el año 2022 de 80,1; para el año 2023 de 81,5, sus valores de calidad se mantendrán en el rango de 70-90, clasificada por el ISQA como calidad de agua Bueno, apto para consumo humano previo a tratamientos convencionales, utilizable para cultivos poco resistente y uso recreacional, (ver Tabla 11). Para la época lluviosa la calidad de agua varía de 77,0 a 81,1 y para la época seca varía de 78,2 a 82,4 (ver Tabla 12) manteniéndose en el rango de calidad de 70-90, clasificada como agua de calidad buena, se concluye que el uso apto del agua es para consumo humano previo a tratamientos convencionales, y precisamente para actividades recreativas. Según los resultados de calidad de agua ISQA presento un error de 7,45% de MAPE y una exactitud de pronóstico de 92,55 para el periodo 2020-2023 (ver anexo 26).

Los resultados de análisis de las concentraciones mostró que el agua del río Pita, tanto en el periodo histórico (2013-2019) como en el periodo de pronóstico (2020-2023) presentó bajas concentraciones de parámetros fisicoquímicos tales como Temperatura, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendido Totales, Conductividad eléctrica y Oxígeno Disuelto, siendo estos indicadores de calidad del agua, su baja concentración se debe a que el área de estudio, no está mayoritariamente influenciada por actividades antrópicas, al encontrarse en un zona boscosa, y alejada del sector urbano.

Estudios realizados anteriormente en la parte alta de la microcuenca del río Pita han demostrado que el agua se encuentra en un rango de calidad del 50-70, corroborando con los resultados obtenidos en el presente estudio, que el rango de calidad fue de 70-90, de esta manera aclarando que el agua del río Pita obedece a condiciones estables de uso, especialmente para consumo humano previo a tratamientos convencionales, recreación, turismo, y riego para cultivos poco resistentes, (Torres C. , 2015).

## 10. LECCIONES Y RECOMENDACIONES

### 10.1. Lecciones

- Según la normativa ecuatoriana TULSMA, Libro IV, Anexo I, Tabla 6, sobre criterios de calidad del agua para fines recreativos, el parámetro oxígeno disuelto no superó el límite máximo permisible y según los estándares de calidad del agua para fines recreacionales de la Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), los parámetros Temperatura y Conductividad Eléctrica no superaron los límites establecidos por dicha normativa.
- La época de seca en la zona de estudio se da en los meses de junio hasta septiembre y la época lluviosa en los meses de octubre hasta mayo.
- El índice de calidad del agua ISQA permitió evidenciar que la zona de Captación Molinuco del río Pita no ha sido influenciado por actividades antropogénicas, y presentó una calidad de agua Buena en el periodo 2013 - 2019, tanto en la época seca, como lluviosa mostrando valores que se encuentran en el rango de 70-90 según el ISQA, considerado apto para consumo humano únicamente con tratamientos convencionales, utilizable para cultivos poco resistentes y uso recreacional.
- La diferencia de los valores de calidad de agua ISQA en época lluviosa y seca se imputa a las precipitaciones y se estimó que el río Pita presenta contaminación de agua por sedimentos siendo su mayor concentración en la época de lluvia por ende alterando su calidad.
- El modelo matemático permitió predecir que para el periodo 2020-2023 el valor de calidad del agua tendrá un comportamiento tendencial positivo tanto en la época seca y lluviosa, ya que el valor de calidad seguirá aumentando en el transcurso de los 4 años futuros, pero se mantendrá en el mismo rango de calidad de 70-90, según la clasificación de calidad de agua ISQA, estimada como calidad de agua buena.
- Los resultados de la calidad del agua según el ISQA para el río Pita, dentro de los 4 años futuros (2020-2023) tuvo un error absoluto porcentual medio de 7,45% y una exactitud de pronóstico de 92,55%.

## 10.2. Recomendaciones

- Es importante mantener el sistema de monitoreo de las características física, químicas y biológicas con el fin de conservar la calidad del agua del río Pita, e implementar tratamientos convencionales o filtros de agua para que esta sea tratada y utilizada por la población aledañas al río en sus diferentes usos sin exponerse a riesgos u efectos secundarios.
- Realizar estudios sobre el cauce principal que considere los ingresos residuales y de afluentes para determinar los puntos de mayor contaminación en el transcurso del cauce del río Pita, y corroborar con los resultados obtenidos en el presente estudio en lo posible proponer medidas de mitigación.
- Es importante realizar estudios epidemiológicos en las comunidades aledañas a la libera del río Pita que utilizan el agua del río para diversas actividades domésticas, agrícolas, de recreación e industrias.
- Al implementar un modelo matemático es importante tomar en cuenta el método o modelo adecuado que se adapte a los datos de estudio y con el menor error de pronóstico, generalmente intentar pronosticar solo 6 periodos en el futuro, para que el resultado de predicción sea bastante cercano a la realidad.
- Para la evaluación de la calidad del agua aplicando la metodología ISQA, se recomienda hacerlo conjuntamente con alguna otra metodología para obtener mejores resultados, ya que la metodología ISQA solo toma en cuenta 5 parámetros fisicoquímico.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, R. M. (2010). *Instructivos de procesamiento de información Hidrometeorológica, Escuela Politécnica Nacional*. Quito, Ecuador.
- Caho, C., & López, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *vol 12*, 35 - 49.
- Campaña, R. G. (2015). *Evaluación Físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los Ríos Machangara y Monjas en el DMQ*. Quito.
- Carrillo, A. M., & Urgilés, C. P. (2016). *Determinación del índice de la calidad del Agua ICA - NSF de los ríos Mazar y Pindilig*. Cuenca, Ecuador.
- Casa, Vilca, J. (2016). Programa de conservación hídrica poyguio uku del centro turístico quillán, en la parroquia san miguelito del cantón Píllaro. 65.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del Agua; evolución y tendencia a nivel global. *vol 10*, 111-124.
- Chávez, N. J. (2016). *Determinación de la calidad del agua del río Maguazo por medio del método WQI. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO*. Riobamba - Chimborazo.
- CONAGUA. (2010). *Usos del Agua*. México: edición 2010.
- Consejo Metropolitano de Quito. (2012). *Plan Metropolitano de Desarrollo Distrito Metropolitano de Quito*. Quito, Ecuador.
- ECONET. (06 de 04 de 2020). *Fuentes de agua natural: 5 formas de abastecimiento de agua potable*. Obtenido de <https://www.econetdesatascos.com/fuentes-de-agua-natural-5-formas-de-abastecimiento-de-agua-potable/>
- EPA. (2012). *water Quality Standards Handbook*. Obtenido de <https://www.epa.gov/wqs-tech/water-quality-standards-handbook>
- EPMAPS. (2011). *Plan Maestro de Agua Potable 2010-2040*. . Obtenido de Disponible : [http://www.aguaquito.gob.ec/sites/default/files/documentos/plan\\_maestro\\_agua\\_potable.pdf](http://www.aguaquito.gob.ec/sites/default/files/documentos/plan_maestro_agua_potable.pdf)
- FAO. (1993). Gestión sobre la calidad del Agua; tendencias del uso del agua de calidad marginal en el riego. 2-60.
- FAO. (2002). *Agua y cultivos; logrando el uso óptimo del agua en la agricultura*. Roma.
- FONAG. (2014). *Caracterización biofísica y socioeconómica de la cuenca alta del Río Guayllabamba, con énfasis en las Subcuencas de los ríos Pita y San Pedro*. Quito, Ecuador.
- Fondo Ambiental DMQ. (2011). *Perspectivas del ambiente y cambio climático en el medio urbano" ECCO- Distrito Metropolitano de Quito*. . Quito, Ecuador.

- Fraile, J., & Fabara, J. (2009). La Sublime y Tragica historia del valle del Pita. *Revista Ecuador Terra Incognita*. N° 58. Obtenido de [http://www.terraecuador.net/revista\\_58/58\\_pita.html](http://www.terraecuador.net/revista_58/58_pita.html)
- Gamboa, R., Cifuentes, G., & Roccha, Z. (2014). *Diagnóstico fisicoquímico, biológico y microbiológicos de las aguas del Embalse de la Copa*. Boyacá, Colombia: Ediciones Universidad de Boyacá. All rights reserved.
- García, R. L. (2010). El ciclo hidrológico: experiencias prácticas para su comprensión. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 78-85.
- Gil, G. J. (2014). *Determinación de la Calidad del Agua mediante variables físico química, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del rio Garagoa*. Manizales, Colombia.
- Gómez, L., Torres , M., Mayorga, L., & Andre, L. (2014). *Programa para la descontaminación de los ríos de Quito - EPMAPS. (January)*,. Quito, Ecuador.
- Illanes, S. (2016). *Diseño de un sistema de detención de incendio para el campus de la matriz bajo la norma NFPA 72 en la Universidad Técnica de Cotopaxi*. Latacunga Cotopaxi.
- INEC. (22 de mayo de 2010). *Ecuador en Cifras - Censo Población y Vivienda 2010* . Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- JAPAC. (2016). *El agua dulce puede provenir de diferentes fuentes sobre la Tierra, Agua y salud para todos*. Obtenido de <http://japac.gob.mx/2016/04/01/cuales-son-las-cuatro-fuentes-de-agua-dulce/>
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos. (2014). *Usos y aprovechamiento del agua*. Obtenido de <http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/LEYD-E-RECURSOS-HIDRICOS-II-SUPLEMENTO-RO-305-6-08-204.pdf>
- Liñero, I., Balarezzo, V., Eraso, H., Pacheco, F., Ramos , C., Muzo, R., & Calva, C. (2016). Calidad del agua de un río andino ecuatoriano a través del uso de macroinvertebrados. *UNED*, 69-75.
- MAE. (2015). *Libro VI Calidad-Ambiental.pdf*. Quito, Ecuador.
- Miguel, A., Lado, J., Martínez, V., Leal, M., & García, R. (2009). El ciclo hidrológico: experiencias prácticas para su comprensión. *Enseñanza de las ciencias de la tierra*, 78-85.
- MINITAB. (2019). *Introducción a Minitab 19, página oficial MINITABf*. Obtenido de [https://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/getting-started/MinitabGettingStarted\\_ESMX.pdf](https://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/getting-started/MinitabGettingStarted_ESMX.pdf)
- Municipio del DMQ. (2011). *Plan de Desarrollo 2012-2022*. Obtenido de [http://www.centrocultural-quito.com/imagesFTP/13644.Plan\\_de\\_Desarrollo\\_Local\\_2012\\_2022.pdf](http://www.centrocultural-quito.com/imagesFTP/13644.Plan_de_Desarrollo_Local_2012_2022.pdf)
- Peña, D. (2010). *Análisis de series temporales*. Madrid-España: Alianza.

- Peralta, P. J. (2019). *DETERMINACIÓN DEL CAUDAL Y CALIDAD DE AGUA MEDIANTE BIOINDICADORES EN LOS PÁRAMOS DE LA COMUNIDAD EL CALVARIO, UBICADO EN EL CANTÓN TISALEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA*. Riobamba.
- Plaza, L. (2016). *Modelación matemática en ingeniería*. Colombia: Editorial UCEVA Tuluá, vol.7 no.13.
- Reyes, Q. P. (2017). Evaluación de la Calidad del Agua en el Humedal la Tembladera utilizando el índice de contaminación.
- Rivera, M. J. (2008). *Determinacion de los indices de calidad y Coeficiente cinético de auto depuración del agua, en la parte alta de la cuenca del rio Naranjo*. Guatemala.
- Sánchez, H. M. (2005). El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santander, Colombia. *Revista de la facultas de ciencias Basicas Universidad de Pamplona* , 54 -67.
- Secretaria Nacional De Gestion de Riesgo. (2015). *Analisis de vulnerabilidad canton Rumiñahui*. . Obtenido de <http://repositorio.cedia.org.ec/bitstream/123456789/857/1/Perfil%20territorial%20RUMINAHUI.pdf>
- SENAGUA. (2010). *Informe de Gestion 2008-2010. Una gestion diferernte de los recursos hidricos*. Quito, Ecuador.
- Simbaña, K., Romero, D., Llenez, G., Benavides, D., & Navarrete, H. (2019). Evaluación de la calidad del agua del rio Pita, (Ecuador), implicación para la conservación de la vida acuática y silvestre. 71- 97.
- SNET. (2012). *Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Índice de Calidad de Agua General ICA*. . Obtenido de <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf>
- Terán, M. P. (2019). *Determinación del índice simplificado de Calidad del Agua (ISQA) de la zona urbana de la Parroquia de Pacto Provincia de Pichincha*. Quito, Ecuador.
- Torres, C. (2015). *Estudio de la calidad fisicoquímica, microbiológica y biológica del agua en el rio Pita del canton Rumiñahui*. Quito.
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índice de la calidad del Agua en fuentes Superficiales utilizados en la producción de agua para consumo humano, una revisión crítica. *Revista ingenierías universidad de Madellin*, 79 -90.
- TULSMA. (2015). *Libro VI Anexo I. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Acuerdo No. 061*. Quito,Ecuador.
- UNESCO. (2015). *Agua para un mundo sostenible*:. Obtenido de [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary\\_SPA\\_web.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_SPA_web.pdf)
- Unidad del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del DMQ. (2014). Diagnóstico del territorio del DMQ. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

- UNIPAMPLONA. (2010). *Índices de calidad (ICA) y de contaminación (ICO) del agua de importancia mundial: Departamento de investigación del Agua, universidad de Pamplona, Colombia*. Obtenido de [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home\\_10/recu](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_10/recu)
- Universidad Central del Ecuador. (2010). *Estrategias hacia la sustentabilidad*. Obtenido de <http://estrategiasecuador.blogspot.com/2010/05/recursos-hidricos-en-el-ecuador.html>
- USEPA. (1986). *Ambient Water quality criteria for bacteria*. Washinton: EPA 440/5-84-002.
- Vélez, C. J., & Nieto, F. P. (2016). *Validación de medidas de evaluación para el pronóstico para la tasa de cambio en Colombia*. Bogotá.
- Villa, A. M. (2011). *Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del rio Yacuambi. Propuesta de tratamiento y control de la contaminación*. Cadiz, España.
- Villarreal, F. (2016). *Introducción a los Modelos de Pronósticos; Universidad del Sur- Departamento de Matemática*. Argentina.
- Yumbo, K., Lleer, V., Espinoza, W., Campos, D., Castro, R., & Chirinos, D. (2018). Determinación de la calidad de aguas mediante indicadores biológicos y físico-químico en el río Paján. 32- 40.
- Yungán, Z. (2015). *Estudio de la Calidad del agua en los afluentes de la Microcuenca del río Blanco para determinar las causas de la degradación y alternativas de manejo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Riobamba - Ecuador.



País	Estados Unidos		UNEP-GEMS		Unión Europea	España	Brasil		Colombia		Frec*
	ICA NSF 1970	ICA Dinius 1987	DWQI		UWQ 12007	ISQA 1982	IAP		ICA Rojas 1991	ICAUCA 2004	
			HWQ 12007	AWQ 12007			IQA 1975	ISTO 2002			
Parámetro											
Hierro				x							0.10
Cobre			x								0.10
Boro			x								0.10
Níquel								x			0.10
Cianuro					x						0.10
Selenio					x						0.10
PFTHM								x			0.10
Aluminio Disuelto								x			0.10
Cobre disuelto								x			0.10
Hierro Disuelto								x			0.10
Total, Parámetros	9	12	18		12	5	20		6	10	

Nota: obtenido de (Torres et al, 2009).

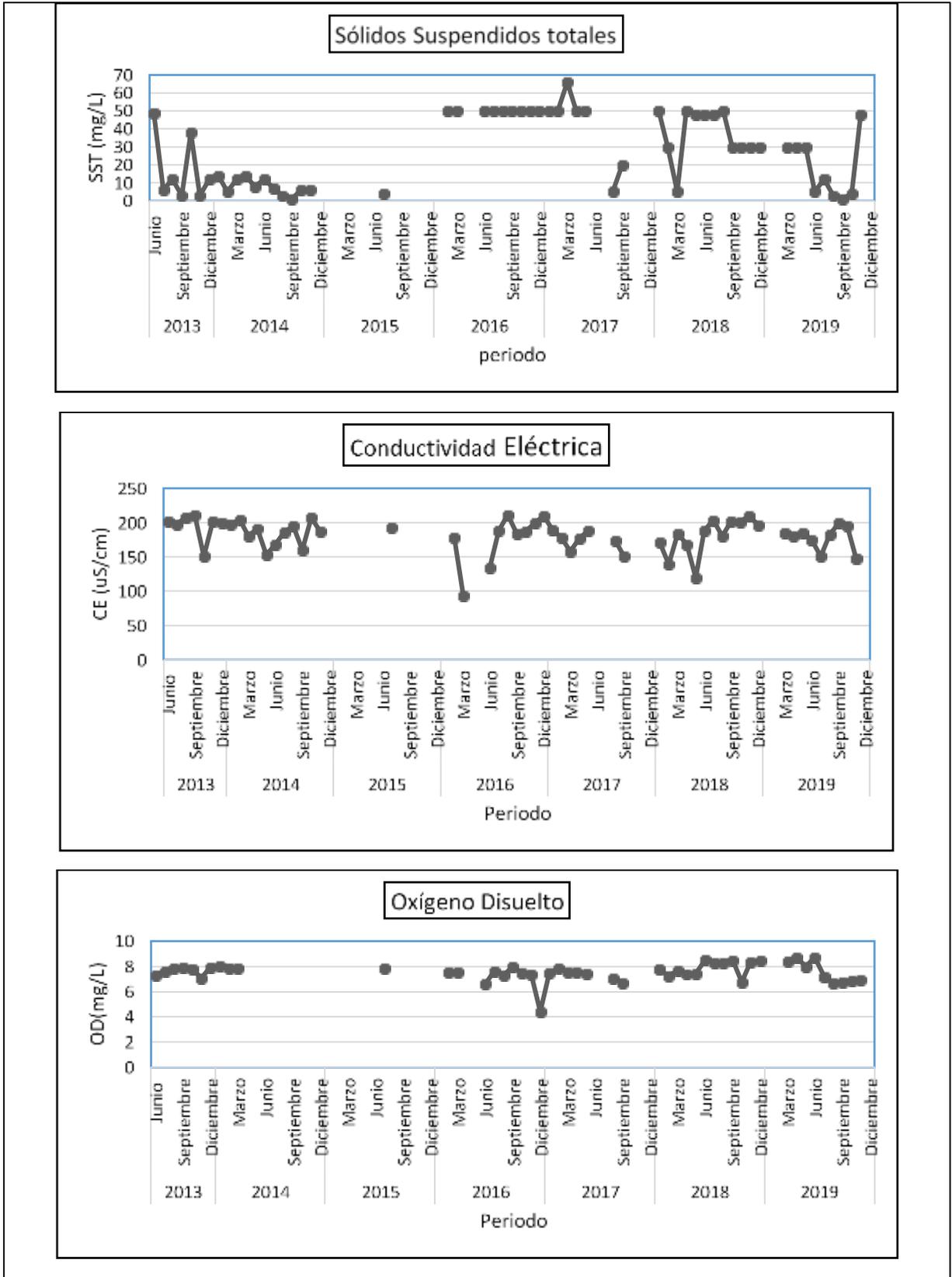
**Anexo 2.***Base de Datos Inicial Periodo 2013-2019*

Sitio muestreo:		Río Pita; Captación Molinucco EEQ, (2013-2019).					
Coordenadas UTM:		17N	0780446 S	9982087 E			
PARÁMETROS		Demanda Química de Oxígeno	Sólidos Suspendidos Totales	Conductividad Eléctrica	Temperatura	Oxígeno Disuelto	
Año	Meses	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CE (uS/cm)	TMP (°C)	OD (mg/L)	
2013	Junio	5	49	202	11,6	7,3	
	Julio	2	6	198	12,7	7,62	
	Agosto	12	12	208	11,8	7,83	
	Septiembre	9	3	211	12,8	7,93	
	Octubre	41	38	151	11,5	7,8	
	Noviembre	10	3	202	12,4	7,07	
	Diciembre	22	12	199	13	7,93	
2014	Enero	7	14	198	11,5	8,03	
	Febrero	10	5	204	12,5	7,86	
	Marzo	8	12	180,4	12,4	7,87	
	Abril	7	14	191	13,1		
	Mayo	8	8	153	13,3		
	Junio	3	12	168	13		
	Julio	11	7	185,9	12,1		
	Agosto	0	3	194,8	13,5		
	Septiembre			1	160	14	
	Octubre			6	207	14,9	
	Noviembre			6	186,6	14,2	
	Diciembre						
2015	Julio	0	4	193,1	12,5	7,86	
2016	Enero						
	Febrero	5	50	178,1	14	7,57	
	Marzo	30	50	94,05	13,7	7,54	
	Abril						
	Mayo						
	Junio	32	50	134,2	11,3	6,61	
	Julio	1	50	188,3	14,3	7,63	
	Agosto	28	50	211,6	15,6	7,31	
	Septiembre	2	50	184	13,4	7,99	
	Octubre	0	50	188	13,9	7,47	
	Noviembre	20	50	199	14,2	7,37	
	Diciembre	1	50	209,9	14,1	4,41	
2017	Enero	3	50	189,7	12,1	7,46	
	Febrero	16	50	178	11,8	7,87	
	Marzo	14	66	157,9	12,2	7,56	
	Abril	16	50	176,8	11,8	7,54	
	Mayo	7	50	188,2	14,9	7,43	
	Junio						
	Julio						

Sitio muestreo:		Rio Pita; Captación Molinucco EEQ, (2013-2019).				
Coordenadas UTM:		17N	0780446 S	9982087 E		
PARÁMETROS		Demanda Química de Oxígeno	Sólidos Suspendidos Totales	Conductividad Eléctrica	Temperatura	Oxígeno Disuelto
Año	Meses	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CE (uS/cm)	TMP (°C)	OD (mg/L)
2018	Agosto	21	5	173,9	13,2	7,1
	Septiembre	22	20	151,8	13,5	6,68
	Octubre					
	Noviembre					
	Diciembre					
	Enero	18	50	170,8	11,6	7,78
	Febrero	9	29,8	139,1	12,9	7,25
	Marzo	2	5	184,2	12,3	7,67
	Abril	13	50	168,1	13,4	7,38
	Mayo	30	48	120	13,9	7,43
	Junio	13	48	188,4	12,4	8,52
	Julio	18	48	203,4	12,6	8,31
Agosto	0	50	180,5	12,2	8,31	
Septiembre	9	30	202	12,5	8,5	
Octubre	2	30	201,5	13,9	6,77	
Noviembre	46	30	210	14,6	8,36	
Diciembre	2	30	196,4	11,9	8,44	
2019	Enero					
	Febrero					
	Marzo	9	30	184,9	12	8,4
	Abril	6	30	180,7	11,6	8,73
	Mayo	23	30	185	13,7	7,98
	Junio	3	5	174,6	12,5	8,73
	Julio	16	12	150,5	12,2	7,19
	Agosto	8	3	182,3	13,5	6,68
	Septiembre	4	1	198,9	14,4	6,76
	Octubre	8	4	195	13,4	6,88
	Noviembre	25	48	147,1	13,8	6,95
	Diciembre	12,6	30,1	189,5	13,1	7,5

Nota: Elaboración propia, Datos tomados de secretaria del Ambiente del DMQ,2020.





Nota: Elaboración propia; Datos tomados de la secretaria del Ambiente del DMQ.

**Anexo 4.***Base de Datos Parámetros Físicos Químicos Periodo 2013-2019*

Ubicación:		Rio Pita; Captación Molinucco EEQ, (2013-2019).				
PARÁMETROS		Demanda Química de Oxígeno	Sólidos Suspendidos Totales	Conductividad Eléctrica	Temperatura	Oxígeno Disuelto
Año	Meses	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CE (uS/cm)	TMP (°C)	OD (mg/L)
2013	Junio	5	49	202	11,6	7,3
	Julio	2	6	198	12,7	7,62
	Agosto	12	12	208	11,8	7,83
	Septiembre	9	3	211	12,8	7,93
	Octubre	41	38	151	11,5	7,8
	Noviembre	10	3	202	12,4	7,07
	Diciembre	22	12	199	13	7,93
2016	Junio	32	50	134,2	11,3	6,61
	Julio	1	50	188,3	14,3	7,63
	Agosto	28	50	211,6	15,6	7,31
	Septiembre	2	50	184	13,4	7,99
	Octubre	0	50	188	13,9	7,47
	Noviembre	20	50	199	14,2	7,37
	Diciembre	1	50	209,9	14,1	4,41
2018	Junio	13	48	188,4	12,4	8,52
	Julio	18	48	203,4	12,6	8,31
	Agosto	0	50	180,5	12,2	8,31
	Septiembre	9	30	202	12,5	8,5
	Octubre	2	30	201,5	13,9	6,77
	Noviembre	46	30	210	14,6	8,36
	Diciembre	2	30	196,4	11,9	8,44
2019	Junio	3	5	174,6	12,5	8,73
	Julio	16	12	150,5	12,2	7,19
	Agosto	8	3	182,3	13,5	6,68
	Septiembre	4	1	198,9	14,4	6,76
	Octubre	8	4	195	13,4	6,88
	Noviembre	25	48	147,1	13,8	6,95
	Diciembre	12,6	30,1	189,5	13,1	7,5

Nota: Elaboración propia: Datos tomados de la secretaria del Ambiente del DMQ.

## Anexo 5.

## Prueba Z Score en la Base de Datos de concentraciones Fisicoquímicas del Río Pita Periodo 2013-2019

Año	Meses	DQO (mg/L)	Z	SST (mg/L)	Z	CE (uS/cm)	Z	T(°C)	Z	OD (mg/L)	Z
2013	Junio	5	-0,61	49	0,96	202	0,60	11,6	-1,36	7,3	-0,24
	Julio	2	-0,85	6	-1,22	198	0,41	12,7	-0,33	7,62	0,13
	Agosto	12	-0,04	12	-0,92	208	0,89	11,8	-1,17	7,83	0,37
	Septiembre	9	-0,28	3	-1,37	211	1,04	12,8	-0,24	7,93	0,49
	Octubre	41	2,28	38	0,40	151	-1,86	11,5	-1,46	7,8	0,34
	Noviembre	10	-0,20	3	-1,37	202	0,60	12,4	-0,61	7,07	-0,50
	Diciembre	22	0,76	12	-0,92	199	0,46	13	-0,05	7,93	0,49
2016	Junio	32	1,56	50	1,01	134,2	-2,67	11,3	-1,64	6,61	-1,03
	Julio	1	-0,93	50	1,01	188,3	-0,06	14,3	1,16	7,63	0,14
	Agosto	28	1,24	50	1,01	211,6	1,07	15,6	2,38	7,31	-0,23
	Septiembre	2	-0,85	50	1,01	184	-0,27	13,4	0,32	7,99	0,56
	Octubre	0	-1,01	50	1,01	188	-0,07	13,9	0,79	7,47	-0,04
	Noviembre	20	0,60	50	1,01	199	0,46	14,2	1,07	7,37	-0,16
	Diciembre	1	-0,93	50	1,01	209,9	0,98	14,1	0,97	4,41	-3,55
2018	Junio	13	0,04	48	0,91	188,4	-0,05	12,4	-0,61	8,52	1,16
	Julio	18	0,44	48	0,91	203,4	0,67	12,6	-0,43	8,31	0,92
	Agosto	0	-1,01	50	1,01	180,5	-0,43	12,2	-0,80	8,31	0,92
	Septiembre	9	-0,28	30	0,00	202	0,60	12,5	-0,52	8,5	1,14
	Octubre	2	-0,85	30	0,00	201,5	0,58	13,9	0,79	6,77	-0,85
	Noviembre	46	2,68	30	0,00	210	0,99	14,6	1,44	8,36	0,98
	Diciembre	2	-0,85	30	0,00	196,4	0,33	11,9	-1,08	8,44	1,07
2019	Junio	3	-0,77	5	-1,27	174,6	-0,72	12,5	-0,52	8,73	1,41
	Julio	16	0,28	12	-0,92	150,5	-1,88	12,2	-0,80	7,19	-0,36
	Agosto	8	-0,37	3	-1,37	182,3	-0,35	13,5	0,41	6,68	-0,95
	Septiembre	4	-0,69	1	-1,48	198,9	0,45	14,4	1,26	6,76	-0,86
	Octubre	8	-0,37	4	-1,32	195	0,27	13,4	0,32	6,88	-0,72
	Noviembre	25	1,00	48	0,91	147,1	-2,05	13,8	0,69	6,95	-0,64
	Diciembre	12,6	0,00	30,1	0,00	189,5	0,00	13,1	0,04	7,5	-0,01
<b>Media:</b>		12,6		30,1		189,5		13,1		7,5	
<b>Max:</b>		46		50		211,6		15,6		8,73	
<b>Min:</b>		0		1		134,2		11,3		4,41	
<b>Desv:</b>		12,5		19,7		20,7		1,1		0,9	

■ Datos atípicos identificados con la prueba Z. ■ Datos atípicos identificados con el método de los cuartiles o diagrama de cajas y bigotes.

Nota: Elaboración propia

**Anexo 6.***Base de Datos Inicial de Series de Tiempo Periodo 2016-2019*

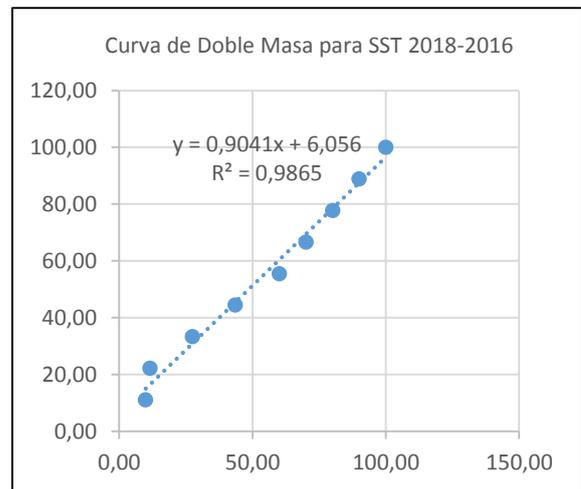
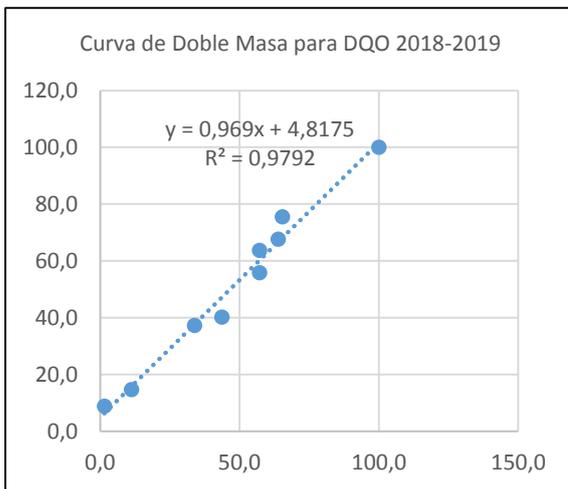
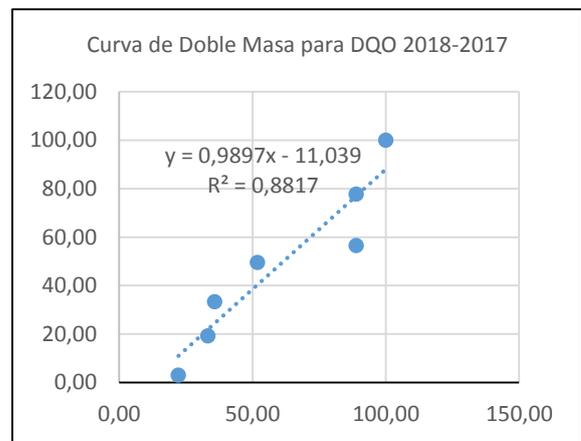
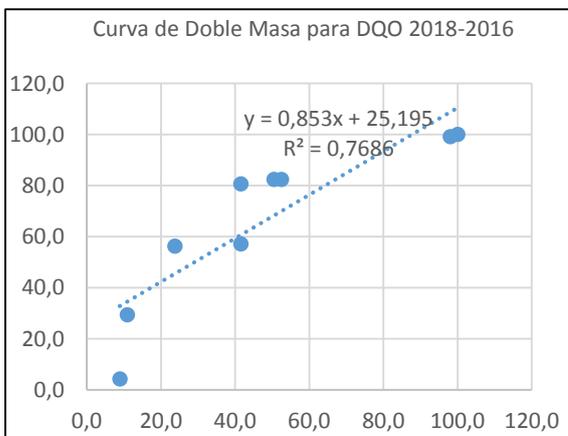
<b>Año</b>	<b>Meses</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>SST (mg/L)</b>	<b>CE (uS/cm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>
2016	Enero					
	Febrero	5	50	178,1	14	7,57
	Marzo	30	50	94,05	13,7	7,54
	Abril					
	Mayo					
	Junio	32	50	134,2	11,3	6,61
	Julio	1	50	188,3	14,3	7,63
	Agosto	28	50	211,6	15,6	7,31
	Septiembre	2	50	184	13,4	7,99
	Octubre	0	50	188	13,9	7,47
	Noviembre	20	50	199	14,2	7,37
	Diciembre	1	50	209,9	14,1	4,41
2017	Enero	3	50	189,7	12,1	7,46
	Febrero	16	50	178	11,8	7,87
	Marzo	14	66	157,9	12,2	7,56
	Abril	16	50	176,8	11,8	7,54
	Mayo	7	50	188,2	14,9	7,43
	Junio					
	Julio					
	Agosto	21	5	173,9	13,2	7,1
	Septiembre	22	20	151,8	13,5	6,68
	Octubre					
	Noviembre					
	Diciembre					
2018	Enero	18	50	170,8	11,6	7,78
	Febrero	9	29,8	139,1	12,9	7,25
	Marzo	2	5	184,2	12,3	7,67
	Abril	13	50	168,1	13,4	7,38
	Mayo	30	48	120	13,9	7,43
	Junio	13	48	188,4	12,4	8,52
	Julio	18	48	203,4	12,6	8,31
	Agosto	0	50	180,5	12,2	8,31
	Septiembre	9	30	202	12,5	8,5
	Octubre	2	30	201,5	13,9	6,77
	Noviembre	46	30	210	14,6	8,36
	Diciembre	2	30	196,4	11,9	8,44
2019	Enero					
	Febrero					
	Marzo	9	30	184,9	12	8,4
	Abril	6	30	180,7	11,6	8,73
	Mayo	23	30	185	13,7	7,98
	Junio	3	5	174,6	12,5	8,73
	Julio	16	12	150,5	12,2	7,19
	Agosto	8	3	182,3	13,5	6,68

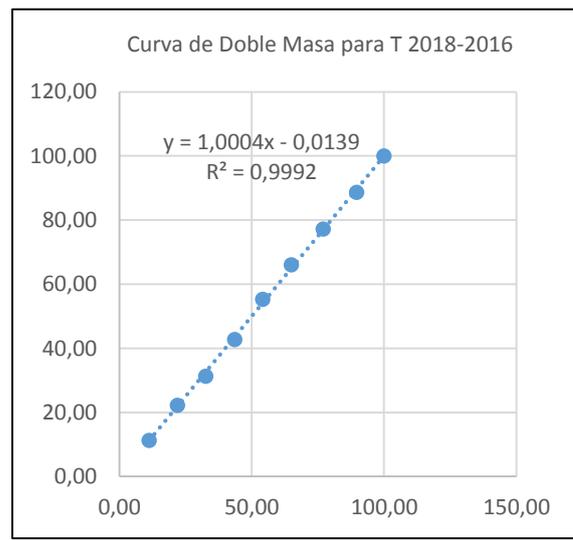
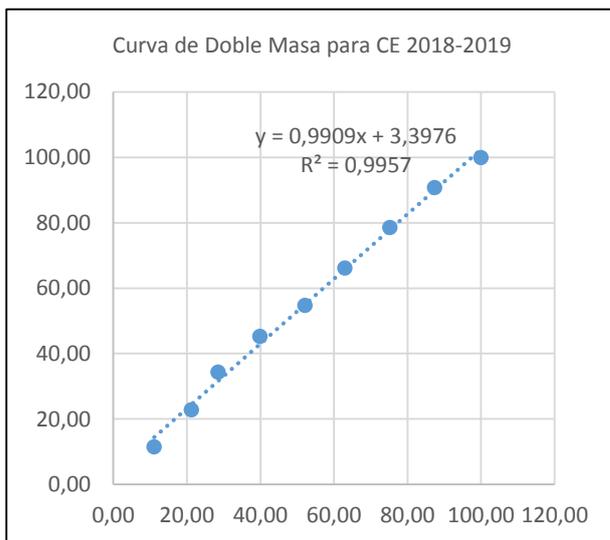
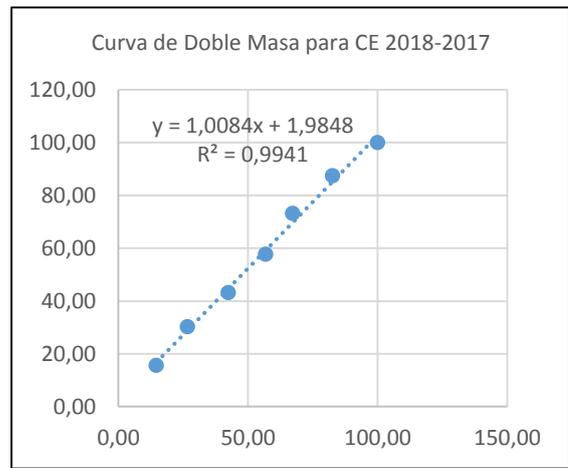
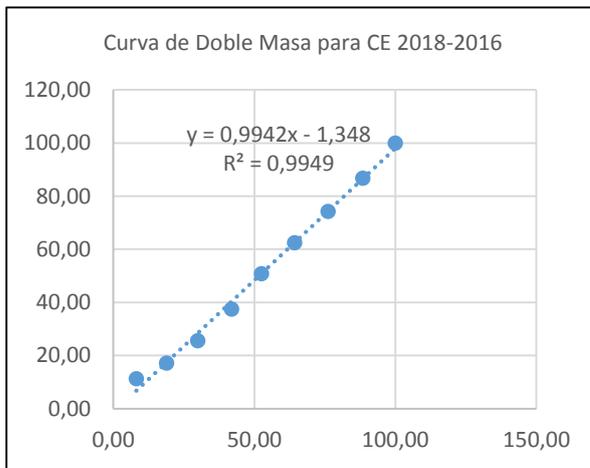
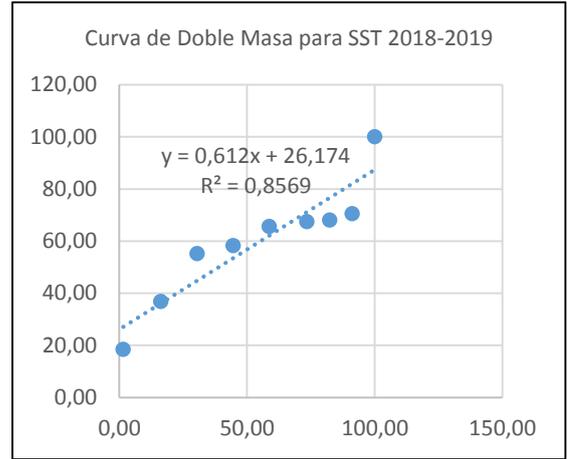
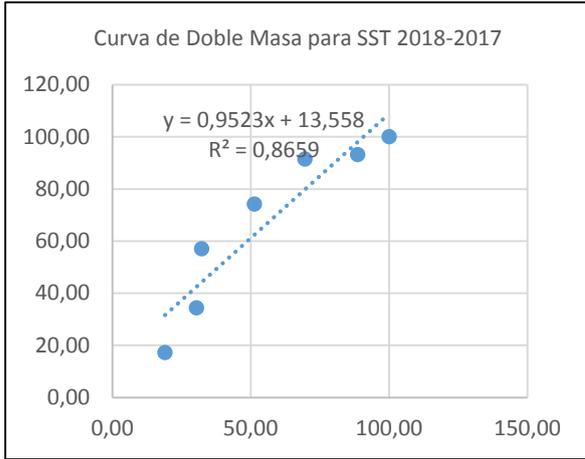
Año	Meses	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CE (uS/cm)	T (°C)	OD (mg/L)
	Septiembre	4	1	198,9	14,4	6,76
	Octubre	8	4	195	13,4	6,88
	Noviembre	25	48	147,1	13,8	6,95
	Diciembre					

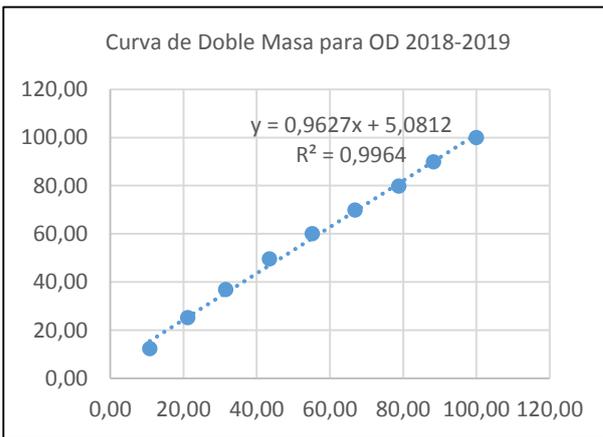
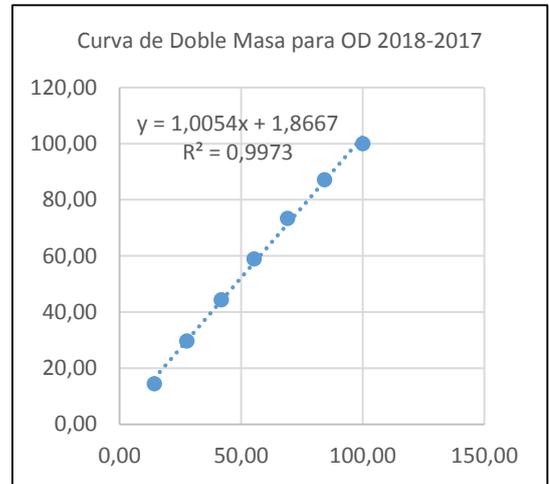
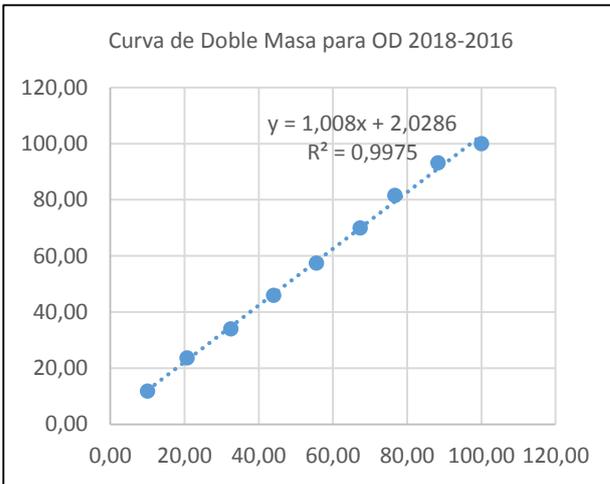
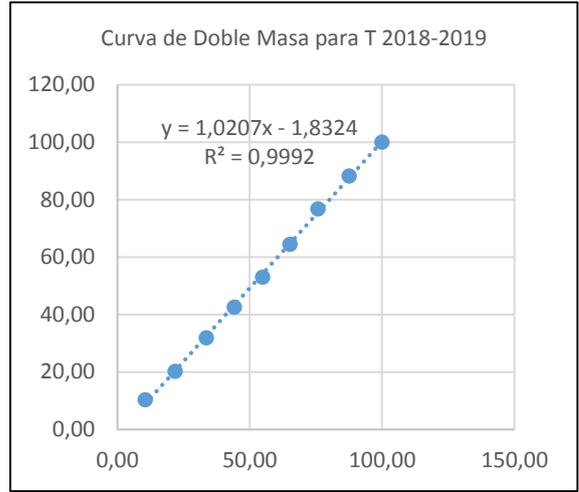
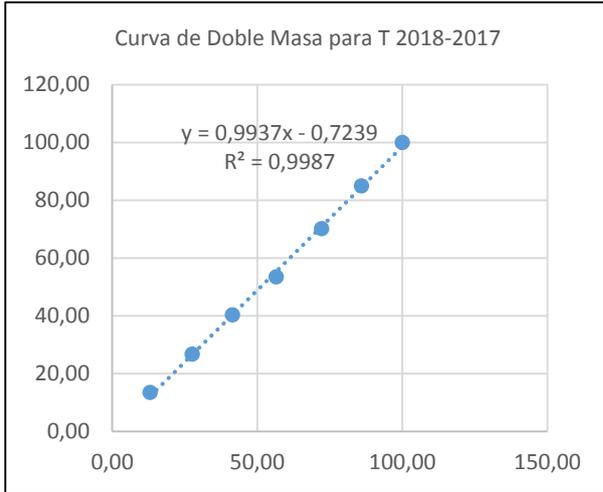
Nota: Elaboración propia, Datos tomados de la secretaria del Ambiente del DMQ.

**Anexo 7.**

*Curvas de Doble Masa - Análisis de Consistencia de Datos*







Nota: Elaboración propia

## Anexo 8.

## Interpolación de la Base de Datos y Prueba de Valores Z Periodo 2016-2019

Año	Meses	DQO (mg/L)	Z	SST (mg/L)	Z	CE (uS/cm)	Z	T (°C)	Z	OD (mg/L)	Z
2016	Enero	21,2	0,57	74,8	1,89	158,9	-0,7	12,5	-0,5	6,9	-0,77
	Febrero	5,0	-0,73	50,0	0,61	178,1	0,0	14,0	0,8	7,6	0,10
	Marzo	30,0	1,28	50,0	0,61	94,1	-3,0	13,7	0,5	7,5	0,07
	Abril	15,3	0,10	74,8	1,89	156,4	-0,8	14,5	1,2	6,5	-1,23
	Mayo	35,3	1,71	71,8	1,73	111,7	-2,4	15,0	1,7	6,6	-1,17
	Junio	32,0	1,44	50,0	0,61	134,2	-1,6	11,3	-1,7	6,6	-1,13
	Julio	1,0	-1,05	50,0	0,61	188,3	0,4	14,3	1,1	7,6	0,18
	Agosto	28,0	1,12	50,0	0,61	211,6	1,2	15,6	2,3	7,3	-0,23
	Septiembre	2,0	-0,97	50,0	0,61	184,0	0,2	13,4	0,3	8,0	0,65
	Octubre	0,0	-1,13	50,0	0,61	188,0	0,4	13,9	0,7	7,5	-0,02
	Noviembre	20,0	0,48	50,0	0,61	199,0	0,8	14,2	1,0	7,4	-0,15
	Diciembre	1,0	-1,05	50,0	0,61	209,9	1,2	14,1	0,9	4,4	-3,97
2017	Enero	3,0	-0,89	50,0	0,61	189,7	0,4	12,1	-0,9	7,5	-0,04
	Febrero	16,0	0,16	50,0	0,61	178,0	0,0	11,8	-1,2	7,9	0,49
	Marzo	14,0	-0,01	66,0	1,43	157,9	-0,7	12,2	-0,8	7,6	0,09
	Abril	16,0	0,16	50,0	0,61	176,8	0,0	11,8	-1,2	7,5	0,07
	Mayo	7,0	-0,57	50,0	0,61	188,2	0,4	14,9	1,6	7,4	-0,08
	Junio	15,9	0,15	53,2	0,77	196,7	0,7	12,5	-0,6	8,1	0,79
	Julio	22,0	0,64	53,2	0,77	212,4	1,2	12,7	-0,4	7,9	0,53
	Agosto	21,0	0,56	5,0	-1,71	173,9	-0,1	13,2	0,1	7,1	-0,50
	Septiembre	22,0	0,64	20,0	-0,94	151,8	-0,9	13,5	0,4	6,7	-1,04
	Octubre	2,4	-0,93	33,2	-0,26	210,4	1,2	14,0	0,8	6,4	-1,36
	Noviembre	56,2	3,39	33,2	-0,26	219,3	1,5	14,7	1,5	7,9	0,59
	Diciembre	2,4	-0,93	33,2	-0,26	205,1	1,0	12,0	-1,0	8,0	0,69
2018	Enero	18,0	0,32	50,0	0,61	170,8	-0,2	11,6	-1,4	7,8	0,37
	Febrero	9,0	-0,41	29,8	-0,43	139,1	-1,4	12,9	-0,2	7,3	-0,31
	Marzo	2,0	-0,97	5,0	-1,71	184,2	0,2	12,3	-0,7	7,7	0,23
	Abril	13,0	-0,09	50,0	0,61	168,1	-0,3	13,4	0,3	7,4	-0,14
	Mayo	30,0	1,28	48,0	0,51	120,0	-2,1	13,9	0,7	7,4	-0,08
	Junio	13,0	-0,09	48,0	0,51	188,4	0,4	12,4	-0,7	8,5	1,33
	Julio	18,0	0,32	48,0	0,51	203,4	0,9	12,6	-0,5	8,3	1,06
	Agosto	0,0	-1,13	50,0	0,61	180,5	0,1	12,2	-0,8	8,3	1,06
	Septiembre	9,0	-0,41	30,0	-0,42	202,0	0,9	12,5	-0,6	8,5	1,30
	Octubre	2,0	-0,97	30,0	-0,42	201,5	0,9	13,9	0,7	6,8	-0,93
	Noviembre	46,0	2,57	30,0	-0,42	210,0	1,2	14,6	1,4	8,4	1,12
	Diciembre	2,0	-0,97	30,0	-0,42	196,4	0,7	11,9	-1,1	8,4	1,23

Año	Meses	DQO (mg/L)	Z	SST (mg/L)	Z	CE (uS/cm)	Z	T (°C)	Z	OD (mg/L)	Z
2019	Enero	13,8	-0,02	24,0	-0,73	164,7	-0,5	11,5	-1,4	7,5	-0,04
	Febrero	6,9	-0,58	14,3	-1,23	134,1	-1,6	12,8	-0,3	6,9	-0,69
	Marzo	9,0	-0,41	30,0	-0,42	184,9	0,3	12,0	-1,0	8,4	1,17
	Abril	6,0	-0,65	30,0	-0,42	180,7	0,1	11,6	-1,4	8,7	1,60
	Mayo	23,0	0,72	30,0	-0,42	185,0	0,3	13,7	0,5	8,0	0,63
	Junio	3,0	-0,89	5,0	-1,71	174,6	-0,1	12,5	-0,6	8,7	1,60
	Julio	16,0	0,16	12,0	-1,35	150,5	-1,0	12,2	-0,8	7,2	-0,39
	Agosto	8,0	-0,49	3,0	-1,81	182,3	0,2	13,5	0,4	6,7	-1,04
	Septiembre	4,0	-0,81	1,0	-1,92	198,9	0,8	14,4	1,2	6,8	-0,94
	Octubre	8,0	-0,49	4,0	-1,76	195,0	0,6	13,4	0,3	6,9	-0,78
	Noviembre	25,0	0,88	48,0	0,51	147,1	-1,1	13,8	0,6	7,0	-0,69
	Diciembre	1,5	-1,01	14,4	-1,22	189,4	0,4	11,8	-1,2	8,1	0,77
Media		14,1		38,2		177,6		13,1		7,5	
Desv. Est		12,4		19,4		27,9		1,1		0,8	

 Valores atípicos identificados con la prueba Z y Método de los cuartiles

 Datos completados con el método de los promedios de series estocásticas.

Nota: Elaboración propia

## Anexo 9.

Base de datos final de Serie de Tiempo Sin Datos Atípicos Periodo 2016-2019

PARÁMETROS		Demanda Química de Oxígeno	Sólidos Suspendidos Totales	Conductividad Eléctrica	Temperatura	Oxígeno Disuelto
Año	Meses	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	CE (uS/cm)	TMP (°C)	OD (mg/L)
2016	Enero	17,6	42,9	158,9	12,5	6,9
	Febrero	17,6	50,0	178,1	14,0	7,6
	Marzo	30,0	50,0	117,6	13,7	7,5
	Abril	17,6	42,9	156,4	14,5	6,5
	Mayo	17,6	42,9	111,7	15,0	6,6
	Junio	32,0	50,0	134,2	11,3	6,6
	Julio	17,6	50,0	188,3	14,3	7,6
	Agosto	28,0	50,0	211,6	15,6	7,3
	Septiembre	17,6	50,0	184,0	13,4	8,0
	Octubre	17,6	50,0	188,0	13,9	7,5
	Noviembre	20,0	50,0	199,0	14,2	7,4
	Diciembre	17,6	50,0	209,9	14,1	7,5
2017	Enero	17,6	50,0	189,7	12,1	7,5
	Febrero	16,0	50,0	178,0	11,8	7,9
	Marzo	14,0	66,0	157,9	12,2	7,6
	Abril	16,0	50,0	176,8	11,8	7,5
	Mayo	7,0	50,0	188,2	14,9	7,4
	Junio	17,6	42,9	196,7	12,5	8,1
	Julio	17,6	42,9	212,4	12,7	7,9
	Agosto	21,0	42,9	173,9	13,2	7,1
	Septiembre	22,0	20,0	151,8	13,5	6,7
	Octubre	17,6	42,9	210,4	14,0	6,4
	Noviembre	17,6	42,9	219,3	14,7	7,9
	Diciembre	17,6	42,9	205,1	12,0	8,0
2018	Enero	18,0	50,0	170,8	11,6	7,8
	Febrero	9,0	29,8	139,1	12,9	7,3
	Marzo	17,6	42,9	184,2	12,3	7,7
	Abril	13,0	50,0	168,1	13,4	7,4
	Mayo	30,0	48,0	120,0	13,9	7,4
	Junio	13,0	48,0	188,4	12,4	8,5
	Julio	18,0	48,0	203,4	12,6	8,3
	Agosto	17,6	50,0	180,5	12,2	8,3
	Septiembre	9,0	30,0	202,0	12,5	8,5
	Octubre	17,6	30,0	201,5	13,9	6,8
	Noviembre	17,6	30,0	210,0	14,6	8,4
	Diciembre	17,6	30,0	196,4	11,9	8,4
2019	Enero	17,6	42,9	164,7	11,5	7,5
	Febrero	17,6	42,9	134,1	12,8	6,9
	Marzo	9,0	30,0	184,9	12,0	8,4
	Abril	17,6	30,0	180,7	11,6	8,7
	Mayo	23,0	30,0	185,0	13,7	8,0

PARÁMETROS		Demanda Química de Oxígeno	Sólidos Suspendidos Totales	Conductividad Eléctrica	Temperatura	Oxígeno Disuelto
Año	Meses	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>SST (mg/L)</b>	<b>CE (uS/cm)</b>	<b>TMP (°C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>
	Junio	17,6	42,9	174,6	12,5	8,7
	Julio	16,0	12,0	150,5	12,2	7,2
	Agosto	8,0	42,9	182,3	13,5	6,7
	Septiembre	17,6	42,9	198,9	14,4	6,8
	Octubre	8,0	42,9	195,0	13,4	6,9
	Noviembre	25,0	48,0	147,1	13,8	7,0
	Diciembre	17,6	42,9	189,4	11,8	8,1
	Media	17,6	42,9	177,6	13,1	7,5
	Desv. Est.	5,3	9,5	27,9	1,1	0,8

 Datos atípicos corregidos por método de la media aritmética

Nota: Elaboración propia

## Anexo 10.

## Serie Mensuales de Datos Meteorológico

Temperatura Media Mensual (°C)														04/07/2020	
NOMBRE: IZOBAMBA							CODIGO: M0003								
PERIODO: 2013 - 2019			LATITUD: 0G 21' 57.33" S			LONGITUD: 78G 33' 18.46"W			ELEVACION:			3058.00			
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA	
2013	13.2	11.8	12.7	12.5	12.1	12.7	12.4	12.3	12.7	12.3	11.9	12.3	148.9	12.4	
2014	12.2	12.3	11.8	12.8	12.2	12.2	12.8	11.8	12.1	12.1	12.4	12.3	147.0	12.2	
2015	12.5	12.5	12.5	12.6	12.4	13.1	12.7	13.3	13.7	13.0	12.9	14.1	155.3	12.9	
2016	13.3	13.6	13.2	13.1	13.2	12.0	12.3	13.4	12.7	12.9	12.8	12.2	154.7	12.8	
2017	11.7	11.4	11.3	12.3	12.0	12.3	12.3	12.3	12.7	12.7	11.9	12.2	145.1	12.0	
2018	11.7	12.0	12.5	11.9	11.7	12.3	12.4	12.8	12.6	12.4	12.3	12.7	147.3	12.2	
2019	12.9	12.9	12.7	12.5	12.6	13.0	12.2	12.6	13.0	11.9	12.5	12.8	151.6	12.6	
media	12.5	12.3	12.3	12.5	12.3	12.5	12.4	12.6	12.7	12.4	12.3	12.6	149.9	12.4	
mínima	11.7	11.4	11.3	11.9	11.7	12.0	12.2	11.8	12.1	11.9	11.9	12.2		11.3	
máxima	13.3	13.6	13.2	13.1	13.2	13.1	12.8	13.4	13.7	13.0	12.9	14.1		14.1	

Evaporación Potencial Media Mensual (mm)														04/07/2020	
NOMBRE: IZOBAMBA							CODIGO: M0003								
PERIODO: 2013 - 2019			LATITUD: 0G 21' 57.33" S			LONGITUD: 78G 33' 18.46"W			ELEVACION:			3058.00			
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA	
2013	138.4	78.6	115.5	104.2	80.8	128.0	153.5	132.3	125.7	119.8	101.1	112.7	1390.6	115.8	
2014	107.4	82.5	76.8	96.8	77.6	97.5	144.4	128.6	120.3	94.0	94.9	99.1	1219.9	101.6	
2015	101.1	102.1	90.7	107.0	100.3	127.9	129.4	140.6	150.1	109.2	104.3	132.9	1395.6	116.3	
2016	121.7	104.8	89.9	108.7	106.0	110.9	115.4	161.0	118.7	115.4	112.7	111.0	1376.2	114.6	
2017	90.8	68.2	81.8	92.6	88.1	102.6	136.9	115.9	120.7	121.1	106.1	107.6	1232.4	102.7	
2018	95.2	89.3	126.0	96.7	85.4	100.6	121.2	156.8	136.6	113.4	96.2	104.7	1322.1	110.1	
2019	115.4	88.1	114.2	90.8	89.6	108.5	117.5	162.9	136.2	100.0	107.1	106.8	1337.1	111.4	
media	110.0	87.6	99.2	99.5	89.6	110.8	131.1	142.5	129.7	110.4	103.2	110.6	1324.8	110.4	
mínima	90.8	68.2	76.8	90.8	77.6	97.5	115.4	115.9	118.7	94.0	94.9	99.1		68.2	
máxima	138.4	104.8	126.0	108.7	106.0	128.0	153.5	162.9	150.1	121.1	112.7	132.9		162.9	

Precipitación Total Mensual (mm)														04/07/2020	
NOMBRE: IZOBAMBA							CODIGO: M0003								
PERIODO: 2013 - 2019			LATITUD: 0G 21' 57.33" S			LONGITUD: 78G 33' 18.46"W			ELEVACION:			3058.00			
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA	
2013	43.7	230.5	128.1	101.9	239.0	9.8	8.3	43.5	38.9	191.5	45.9	79.6	1160.7	96.7	
2014	177.9	135.4	242.3	141.6	186.9	43.3	12.5	49.9	78.5	132.1	112.8	79.8	1393.0	116.0	
2015	94.9	78.9	233.3	152.2	102.4	10.6	30.0	6.6	21.4	118.2	193.4	49.7	1091.6	90.9	
2016	166.6	103.7	185.2	318.7	131.4	44.3	18.4	10.6	82.0	110.9	28.9	193.3	1394.0	116.1	
2017	171.3	170.6	331.1	163.5	227.7	149.7	5.1	42.1	53.8	113.0	124.4	170.4	1722.7	143.5	
2018	84.9	181.3	217.4	176.1	191.5	30.2	12.0	23.9	45.4	89.1	253.1	44.7	1349.6	112.4	
2019	105.5	212.0	235.1	155.4	103.6	62.5	24.9	0.0	84.0	168.0	194.8	132.3	1478.1	123.1	
suma	844.8	1112.4	1572.5	1209.4	1182.5	350.4	111.2	176.6	404.0	922.8	953.3	749.8	9589.7	799.1	
media	120.6	158.9	224.6	172.7	168.9	50.0	15.8	25.2	57.7	131.8	136.1	107.1	1369.9	114.1	
mínima	43.7	78.9	128.1	101.9	102.4	9.8	5.1	0.0	21.4	89.1	28.9	44.7		0.0	
máxima	177.9	230.5	331.1	318.7	239.0	149.7	30.0	49.9	84.0	191.5	253.1	193.3		331.1	

Nota. Datos tomados de la secretaria del Ambiente del DMQ.

**Anexo 11.***Datos Meteorológicos Medias Mensuales, Periodo 2013 – 2019*

Estación:		IZOBAMBA (2013-2019).					
Código:	M0003	LATITUD:	0G 21' 57.33" S	LONGITUD:	78G 33' 18.46"W	ELEVACION:	3058.00
Variables		Precipitación	Temperatura	Evaporación Potencial			
Año	Meses	(mm)	(°C)	(mm)			
2013	Enero	43,7	13,2	138,4			
	Febrero	230,5	11,8	78,6			
	Marzo	128,1	12,7	115,5			
	Abril	101,9	12,5	104,2			
	Mayo	239,0	12,1	80,8			
	Junio	9,8	12,7	128,0			
	Julio	8,3	12,4	153,5			
	Agosto	43,5	12,3	132,3			
	Septiembre	38,9	12,7	125,7			
	Octubre	191,5	12,3	119,8			
	Noviembre	45,9	11,9	101,1			
	Diciembre	79,6	12,3	112,7			
2016	Enero	166,6	13,3	121,7			
	Febrero	103,7	13,6	104,8			
	Marzo	185,2	13,2	89,9			
	Abril	318,7	13,1	108,7			
	Mayo	131,4	13,2	106,0			
	Junio	44,3	12,0	110,9			
	Julio	18,4	12,3	115,4			
	Agosto	10,6	13,4	161,0			
	Septiembre	82,0	12,7	118,7			
	Octubre	110,9	12,9	115,4			
	Noviembre	28,9	12,8	112,7			
	Diciembre	193,3	12,2	111,0			
2018	Enero	84,9	11,7	95,2			
	Febrero	181,3	12,0	89,3			
	Marzo	217,4	12,5	126,0			
	Abril	176,1	11,9	96,7			
	Mayo	191,5	11,7	85,4			
	Junio	30,2	12,3	100,6			
	Julio	12,0	12,4	121,2			
	Agosto	23,9	12,8	156,8			
	Septiembre	45,4	12,6	136,6			
	Octubre	89,1	12,4	113,4			
	Noviembre	253,1	12,3	96,2			
	Diciembre	44,7	12,7	104,7			
2019	Enero	105,5	12,9	115,4			
	Febrero	212,0	12,9	88,1			
	Marzo	235,1	12,7	114,2			
	Abril	155,4	12,5	90,8			

Estación:	IZOBAMBA (2013-2019).			
Código:	M0003	LATITUD: 0G 21' 57.33" S	LONGITUD: 78G 33' 18.46"W	ELEVACION: 3058.00
Variables		Precipitación	Temperatura	Evaporación Potencial
Año	Meses	(mm)	(°C)	(mm)
	Mayo	103,6	12,6	89,6
	Junio	62,5	13,0	108,5
	Julio	24,9	12,2	117,5
	Agosto	0,0	12,6	162,9
	Septiembre	84,0	13,0	136,2
	Octubre	168,0	11,9	100,0
	Noviembre	194,8	12,5	107,1
	Diciembre	132,3	12,8	106,8

Nota; Elaboración propia; Datos tomados del INAMHI, 2020.

## Anexo 12.

### Valores Medios Anuales de Parámetros Climatológicas Periodo 2013 – 2019

MESES	PERIODO 2013 - 2019											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Precipitación (Mm)</b>	120,6	158,9	224,6	172,7	168,9	50,0	15,8	25,2	57,7	131,8	136,1	107,1
<b>Temperatura (°C)</b>	12,5	12,3	12,3	12,5	12,3	12,5	12,4	12,6	12,7	12,4	12,3	12,6
<b>Evaporación (Mm)</b>	110,0	87,6	99,2	99,5	89,6	110,8	131,1	142,5	129,7	110,4	103,2	110,6

Nota; Elaboración propia; Datos tomados del INAMHI, 2020.

## Anexo 13.

### Cálculo del ISQA Mensual, Anual y por Épocas del Río Pita en el Periodo 2013-2019

Año	Mes	T °C	Valor subíndice E	DQO mg/L	Valor subíndice A	SST mg/L	Valor subíndice B	OD mg/L	Valor subíndice C	CE uS/cm (0,86)	Valor subíndice D	ISQA	Calidad de Agua
2013	Jun	11,6	1,0	5,0	25,0	49,0	17,7	7,3	18,3	173,7	20,9	<b>81,8</b>	Buena
	Jul	12,7	1,0	2,0	28,0	6,0	24,1	7,6	19,1	170,3	21,1	<b>92,2</b>	Excelente
	Agos	11,8	1,0	12,0	16,8	12,0	23,2	7,8	19,6	178,9	20,8	<b>80,3</b>	Buena
	Sep.	12,8	1,0	9,0	21,0	3,0	24,6	7,9	19,8	181,5	20,7	<b>86,0</b>	Buena
	Oct	11,5	1,0	41,0	6,7	38,0	19,3	7,8	19,5	129,9	22,9	<b>68,3</b>	Buena
	Nov	12,4	1,0	10,0	20,0	3,0	24,6	7,1	17,7	173,7	20,9	<b>83,2</b>	Buena
	Dic	13,0	1,0	22,0	13,3	12,0	23,2	7,9	19,8	171,1	21,0	<b>77,4</b>	Buena
<b>ANUAL</b>		<b>12,3</b>	<b>1,0</b>	<b>14,4</b>	<b>16,0</b>	<b>17,6</b>	<b>22,4</b>	<b>7,6</b>	<b>19,1</b>	<b>168,4</b>	<b>21,2</b>	<b>78,6</b>	Buena
2016	Jun	11,3	1,0	32,0	9,8	50,0	17,5	6,6	16,5	115,4	23,7	<b>67,5</b>	Buena
	Jul	14,3	1,0	1,0	29,0	50,0	17,5	7,6	19,1	161,9	21,4	<b>87,0</b>	Buena
	Agos	15,6	1,0	28,0	11,2	50,0	17,5	7,3	18,3	182,0	20,6	<b>67,6</b>	Buena
	Sep.	13,4	1,0	2,0	28,0	50,0	17,5	8,0	20,0	158,2	21,6	<b>87,0</b>	Buena

Año	Mes	T °C	Valor subíndice E	DQO mg/L	Valor subíndice A	SST mg/L	Valor subíndice B	OD mg/L	Valor subíndice C	CE uS/cm (0,86)	Valor subíndice D	ISQA	Calidad de Agua
	Oct	13,9	1,0	0,0	30,0	50,0	17,5	7,5	18,7	161,7	21,4	<b>87,6</b>	Buena
	Nov	14,2	1,0	20,0	14,0	50,0	17,5	7,4	18,4	171,1	21,0	<b>71,0</b>	Buena
	Dic	14,1	1,0	1,0	29,0	50,0	17,5	4,4	11,0	180,5	20,7	<b>78,2</b>	Buena
<b>ANUAL</b>		<b>13,8</b>	<b>1,0</b>	<b>12,0</b>	<b>16,8</b>	<b>50,0</b>	<b>17,5</b>	<b>7,0</b>	<b>17,4</b>	<b>161,6</b>	<b>21,4</b>	<b>73,2</b>	Buena
	Jun	12,4	1,0	13,0	16,5	48,0	17,8	8,5	21,3	162,0	21,4	<b>77,0</b>	Buena
	Jul	12,6	1,0	18,0	14,7	48,0	17,8	8,3	20,8	174,9	20,9	<b>74,2</b>	Buena
	Agos	12,2	1,0	0,0	30,0	50,0	17,5	8,3	20,8	155,2	21,7	<b>90,0</b>	Buena
2018	Sep.	12,5	1,0	9,0	21,0	30,0	20,5	8,5	21,3	173,7	20,9	<b>83,7</b>	Buena
	Oct	13,9	1,0	2,0	28,0	30,0	20,5	6,8	16,9	173,3	21,0	<b>86,4</b>	Buena
	Nov	14,6	1,0	46,0	4,9	30,0	20,5	8,4	20,9	180,6	20,7	<b>67,0</b>	Buena
	Dic	11,9	1,0	2,0	28,0	30,0	20,5	8,4	21,1	168,9	21,1	<b>90,7</b>	excelente
<b>ANUAL</b>		<b>12,9</b>	<b>1,0</b>	<b>12,9</b>	<b>16,5</b>	<b>38,0</b>	<b>19,3</b>	<b>8,2</b>	<b>20,4</b>	<b>169,8</b>	<b>21,1</b>	<b>77,3</b>	Buena
	Jun	12,5	1,0	3,0	27,0	5,0	24,3	8,7	21,8	150,2	21,9	<b>95,0</b>	excelente
	Jul	12,2	1,0	16,0	15,4	12,0	23,2	7,2	18,0	129,4	22,9	<b>79,5</b>	Buena
	Agos	13,5	1,0	8,0	22,0	3,0	24,6	6,7	16,7	156,8	21,6	<b>84,9</b>	Buena
2019	sep.	14,4	1,0	4,0	26,0	1,0	24,9	6,8	16,9	171,1	21,0	<b>88,8</b>	Buena
	Oct	13,4	1,0	8,0	22,0	4,0	24,4	6,9	17,2	167,7	21,2	<b>84,8</b>	Buena
	Nov	13,8	1,0	25,0	12,3	48,0	17,8	7,0	17,4	126,5	23,1	<b>70,5</b>	Buena
	Dic	13,1	1,0	12,6	16,6	30,1	20,5	7,5	18,8	163,0	21,4	<b>77,2</b>	Buena
<b>ANUAL</b>		<b>13,3</b>	<b>1,0</b>	<b>10,9</b>	<b>17,2</b>	<b>14,7</b>	<b>22,8</b>	<b>7,2</b>	<b>18,1</b>	<b>152,1</b>	<b>21,8</b>	<b>79,9</b>	Buena
Época seca	2013	12,2	1,0	7,0	23,0	17,5	22,4	7,7	19,2	176,1	20,9	<b>85,4</b>	Buena
	2016	13,7	1,0	15,8	15,5	50,0	17,5	7,4	18,5	154,4	21,7	<b>73,2</b>	Buena
	2018	12,4	1,0	10,0	20,0	44,0	18,4	8,4	21,0	166,5	21,2	<b>80,7</b>	Buena
	2019	13,2	1,0	7,8	22,3	5,3	24,2	7,3	18,4	151,9	21,8	<b>86,7</b>	Buena
Época Lluviosa	2013	12,3	1,0	24,3	12,5	17,7	22,4	7,6	19,0	158,2	21,6	<b>75,4</b>	Buena
	2016	14,1	1,0	7,0	23,0	50,0	17,5	6,4	16,0	171,1	21,0	<b>77,6</b>	Buena
	2018	13,5	1,0	16,7	15,2	30,0	20,5	7,9	19,6	174,3	20,9	<b>76,2</b>	Buena
	2019	13,4	1,0	16,4	15,3	27,4	20,9	7,1	17,8	152,4	21,8	<b>75,8</b>	Buena

Nota; Elaboración propia

**Anexo 14.***Método de Descomposición de Series de Tiempo de Temperatura*

Modelo aditivo

Datos	Temperatura ( °C)
Longitud	48
Número de valores faltantes	0

Ecuación de tendencia ajustada

$$Y_t = 13,802 - 0,02814 \times t$$

Índices estacionales

Período	Índice
1	-1,13221
2	-0,00064
3	-0,70780
4	-1,16613
5	1,13829
6	-0,35301
7	-0,13023
8	0,34544
9	-0,09312
10	1,03418
11	1,71470
12	-0,64946

Medidas de exactitud

MAPE	3,88449
MAD	0,51427
MSD	0,57349

Nota; Elaboración propia

**Anexo 15.***Datos de Ajuste Tendencial, Estacionalidad y Error, de la Temperatura*

Tiempo	Temperatura ( °C)	Tendencia	Estacional	Eliminar tendencia	Ignorar ciclo estacional	Predecir	Error
1	12,5256	13,7739	-1,13221	-1,24829	13,6578	12,6417	-0,11608
2	14,0000	13,7457	-0,00064	0,25426	14,0006	13,7451	0,25490
3	13,7000	13,7176	-0,70780	-0,01759	14,4078	13,0098	0,69020
4	14,4692	13,6895	-1,16613	0,77976	15,6353	12,5233	1,94589
5	15,0091	13,6613	1,13829	1,34779	13,8708	14,7996	0,20950
6	11,3000	13,6332	-0,35301	-2,33317	11,6530	13,2802	-1,98017
7	14,3000	13,6050	-0,13023	0,69497	14,4302	13,4748	0,82520
8	15,6000	13,5769	0,34544	2,02311	15,2546	13,9223	1,67767
9	13,4000	13,5487	-0,09312	-0,14875	13,4931	13,4556	-0,05563
10	13,9000	13,5206	1,03418	0,37939	12,8658	14,5548	-0,65479
11	14,2000	13,4925	1,71470	0,70753	12,4853	15,2072	-1,00717
12	14,1000	13,4643	-0,64946	0,63567	14,7495	12,8149	1,28514
13	12,1000	13,4362	-1,13221	-1,33619	13,2322	12,3040	-0,20397
14	11,8000	13,4080	-0,00064	-1,60804	11,8006	13,4074	-1,60741
15	12,2000	13,3799	-0,70780	-1,17990	12,9078	12,6721	-0,47211
16	11,8000	13,3518	-1,16613	-1,55176	12,9661	12,1856	-0,38563
17	14,9000	13,3236	1,13829	1,57638	13,7617	14,4619	0,43809
18	12,4977	13,2955	-0,35301	-0,79773	12,8508	12,9425	-0,44473
19	12,6993	13,2673	-0,13023	-0,56802	12,8296	13,1371	-0,43778
20	13,2000	13,2392	0,34544	-0,03920	12,8546	13,5846	-0,38464
21	13,5000	13,2111	-0,09312	0,28894	13,5931	13,1179	0,38206
22	14,0096	13,1829	1,03418	0,82665	12,9754	14,2171	-0,20753
23	14,7151	13,1548	1,71470	1,56031	13,0004	14,8695	-0,15438
24	11,9938	13,1266	-0,64946	-1,13283	12,6433	12,4772	-0,48336
25	11,6000	13,0985	-1,13221	-1,49850	12,7322	11,9663	-0,36628
26	12,9000	13,0704	-0,00064	-0,17035	12,9006	13,0697	-0,16972
27	12,3000	13,0422	-0,70780	-0,74221	13,0078	12,3344	-0,03442
28	13,4000	13,0141	-1,16613	0,38593	14,5661	11,8479	1,55206
29	13,9000	12,9859	1,13829	0,91407	12,7617	14,1242	-0,22422
30	12,4000	12,9578	-0,35301	-0,55779	12,7530	12,6048	-0,20479
31	12,6000	12,9296	-0,13023	-0,32965	12,7302	12,7994	-0,19942
32	12,2000	12,9015	0,34544	-0,70151	11,8546	13,2470	-1,04695
33	12,5000	12,8734	-0,09312	-0,37337	12,5931	12,7802	-0,28024
34	13,9000	12,8452	1,03418	1,05477	12,8658	13,8794	0,02059
35	14,6000	12,8171	1,71470	1,78291	12,8853	14,5318	0,06822
36	11,9000	12,7889	-0,64946	-0,88895	12,5495	12,1395	-0,23948
37	11,5311	12,7608	-1,13221	-1,22973	12,6633	11,6286	-0,09752
38	12,8233	12,7327	-0,00064	0,09068	12,8240	12,7320	0,09132
39	12,0000	12,7045	-0,70780	-0,70452	12,7078	11,9967	0,00328
40	11,6000	12,6764	-1,16613	-1,07638	12,7661	11,5103	0,08975
41	13,7000	12,6482	1,13829	1,05176	12,5617	13,7865	-0,08653
42	12,5000	12,6201	-0,35301	-0,12010	12,8530	12,2671	0,23291
43	12,2000	12,5920	-0,13023	-0,39196	12,3302	12,4617	-0,26172
44	13,5000	12,5638	0,34544	0,93618	13,1546	12,9093	0,59074
45	14,4000	12,5357	-0,09312	1,86432	14,4931	12,4426	1,95745
46	13,4000	12,5075	1,03418	0,89246	12,3658	13,5417	-0,14172
47	13,8000	12,4794	1,71470	1,32060	12,0853	14,1941	-0,39409
48	11,8293	12,4513	-0,64946	-0,62197	12,4788	11,8018	0,02750

Nota; Elaboración propia

**Anexo 16.***Método de Descomposición de Series de Tiempo del Demanda Química de Oxígeno*

Modelo aditivo

Datos	DQO (mg/L)
Longitud	48
Número de valores faltantes	0

Ecuación de tendencia ajustada

$$Y_t = 20,34 - 0,1117 \times t$$

Índices estacionales

Período	Índice
1	-0,28681
2	-1,59514
3	-3,48681
4	-1,67014
5	6,42153
6	0,12986
7	0,11319
8	3,78819
9	-3,17014
10	0,27153
11	0,37153
12	-0,88681

Medidas de exactitud

MAPE	25,7963
MAD	3,5747
MSD	27,9307

Nota; Elaboración propia

**Anexo 17.***Datos de Ajuste Tendencial, Estacionalidad y Error del DQO*

Tiempo	DQO (mg/L)	Tendencia	Estacional	Eliminar tendencia	Ignorar ciclo estacional	Predecir	Error
1	17,6	20,2284	-0,28681	-2,6284	17,8868	19,9416	-2,3416
2	17,6	20,1167	-1,59514	-2,5167	19,1951	18,5216	-0,9216
3	30,0	20,0050	-3,48681	9,9950	33,4868	16,5182	13,4818
4	17,6	19,8934	-1,67014	-2,2934	19,2701	18,2232	-0,6232
5	17,6	19,7817	6,42153	-2,1817	11,1785	26,2032	-8,6032
6	32,0	19,6700	0,12986	12,3300	31,8701	19,7999	12,2001
7	17,6	19,5584	0,11319	-1,9584	17,4868	19,6715	-2,0715
8	28,0	19,4467	3,78819	8,5533	24,2118	23,2349	4,7651
9	17,6	19,3350	-3,17014	-1,7350	20,7701	16,1649	1,4351
10	17,6	19,2233	0,27153	-1,6233	17,3285	19,4949	-1,8949
11	20,0	19,1117	0,37153	0,8883	19,6285	19,4832	0,5168
12	17,6	19,0000	-0,88681	-1,4000	18,4868	18,1132	-0,5132
13	17,6	18,8883	-0,28681	-1,2883	17,8868	18,6015	-1,0015
14	16,0	18,7767	-1,59514	-2,7767	17,5951	17,1815	-1,1815
15	14,0	18,6650	-3,48681	-4,6650	17,4868	15,1782	-1,1782
16	16,0	18,5533	-1,67014	-2,5533	17,6701	16,8832	-0,8832
17	7,0	18,4417	6,42153	-11,4417	0,5785	24,8632	-17,8632
18	17,6	18,3300	0,12986	-0,7300	17,4701	18,4599	-0,8599
19	17,6	18,2183	0,11319	-0,6183	17,4868	18,3315	-0,7315
20	21,0	18,1067	3,78819	2,8933	17,2118	21,8949	-0,8949
21	22,0	17,9950	-3,17014	4,0050	25,1701	14,8249	7,1751
22	17,6	17,8833	0,27153	-0,2833	17,3285	18,1549	-0,5549
23	17,6	17,7717	0,37153	-0,1717	17,2285	18,1432	-0,5432
24	17,6	17,6600	-0,88681	-0,0600	18,4868	16,7732	0,8268
25	18,0	17,5483	-0,28681	0,4517	18,2868	17,2615	0,7385
26	9,0	17,4367	-1,59514	-8,4367	10,5951	15,8415	-6,8415
27	17,6	17,3250	-3,48681	0,2750	21,0868	13,8382	3,7618
28	13,0	17,2133	-1,67014	-4,2133	14,6701	15,5432	-2,5432
29	30,0	17,1017	6,42153	12,8983	23,5785	23,5232	6,4768
30	13,0	16,9900	0,12986	-3,9900	12,8701	17,1199	-4,1199
31	18,0	16,8783	0,11319	1,1217	17,8868	16,9915	1,0085
32	17,6	16,7667	3,78819	0,8333	13,8118	20,5549	-2,9549
33	9,0	16,6550	-3,17014	-7,6550	12,1701	13,4849	-4,4849
34	17,6	16,5433	0,27153	1,0567	17,3285	16,8149	0,7851
35	17,6	16,4317	0,37153	1,1683	17,2285	16,8032	0,7968
36	17,6	16,3200	-0,88681	1,2800	18,4868	15,4332	2,1668
37	17,6	16,2083	-0,28681	1,3917	17,8868	15,9215	1,6785
38	17,6	16,0967	-1,59514	1,5033	19,1951	14,5015	3,0985
39	9,0	15,9850	-3,48681	-6,9850	12,4868	12,4982	-3,4982
40	17,6	15,8733	-1,67014	1,7267	19,2701	14,2032	3,3968
41	23,0	15,7616	6,42153	7,2384	16,5785	22,1832	0,8168
42	17,6	15,6500	0,12986	1,9500	17,4701	15,7798	1,8202
43	16,0	15,5383	0,11319	0,4617	15,8868	15,6515	0,3485
44	8,0	15,4266	3,78819	-7,4266	4,2118	19,2148	-11,2148
45	17,6	15,3150	-3,17014	2,2850	20,7701	12,1448	5,4552
46	8,0	15,2033	0,27153	-7,2033	7,7285	15,4748	-7,4748
47	25,0	15,0916	0,37153	9,9084	24,6285	15,4632	9,5368
48	17,6	14,9800	-0,88681	2,6200	18,4868	14,0932	3,5068

Nota; Elaboración propia

**Anexo 18.***Método de Descomposición de Series de Tiempo del Sólidos Suspendidos Totales*

Modelo aditivo

Datos	SST (mg/L)
Longitud	48
Número de valores faltantes	0

Ecuación de tendencia ajustada

$$Y_t = 49,65 - 0,2757 \times t$$

Índices estacionales

Período	Índice
1	7,0097
2	-0,6986
3	-1,3111
4	2,3931
5	2,9847
6	5,0681
7	0,6347
8	0,3389
9	-11,3653
10	-1,2903
11	-1,8819
12	-1,8819

Medidas de exactitud

MAPE	19,6316
MAD	6,5096
MSD	73,4307

Nota; Elaboración propia

## Anexo 19.

### Datos de Ajuste Tendencial, Estacionalidad y Error SST

Tiempo	SST (mg/L)	Tendencia	Estacional	Eliminar tendencia	Ignorar ciclo estacional	Predecir	Error
1	42,9	49,3762	7,0097	-6,4762	35,8903	56,3860	-13,4860
2	50,0	49,1006	-0,6986	0,8994	50,6986	48,4019	1,5981
3	50,0	48,8249	-1,3111	1,1751	51,3111	47,5138	2,4862
4	42,9	48,5492	2,3931	-5,6492	40,5069	50,9423	-8,0423
5	42,9	48,2735	2,9847	-5,3735	39,9153	51,2583	-8,3583
6	50,0	47,9979	5,0681	2,0021	44,9319	53,0659	-3,0659
7	50,0	47,7222	0,6347	2,2778	49,3653	48,3569	1,6431
8	50,0	47,4465	0,3389	2,5535	49,6611	47,7854	2,2146
9	50,0	47,1708	-11,3653	2,8292	61,3653	35,8056	14,1944
10	50,0	46,8952	-1,2903	3,1048	51,2903	45,6049	4,3951
11	50,0	46,6195	-1,8819	3,3805	51,8819	44,7376	5,2624
12	50,0	46,3438	-1,8819	3,6562	51,8819	44,4619	5,5381
13	50,0	46,0682	7,0097	3,9318	42,9903	53,0779	-3,0779
14	50,0	45,7925	-0,6986	4,2075	50,6986	45,0939	4,9061
15	66,0	45,5168	-1,3111	20,4832	67,3111	44,2057	21,7943
16	50,0	45,2411	2,3931	4,7589	47,6069	47,6342	2,3658
17	50,0	44,9655	2,9847	5,0345	47,0153	47,9502	2,0498
18	42,9	44,6898	5,0681	-1,7898	37,8319	49,7578	-6,8578
19	42,9	44,4141	0,6347	-1,5141	42,2653	45,0488	-2,1488
20	42,9	44,1384	0,3389	-1,2384	42,5611	44,4773	-1,5773
21	20,0	43,8628	-11,3653	-23,8628	31,3653	32,4975	-12,4975
22	42,9	43,5871	-1,2903	-0,6871	44,1903	42,2968	0,6032
23	42,9	43,3114	-1,8819	-0,4114	44,7819	41,4295	1,4705
24	42,9	43,0358	-1,8819	-0,1358	44,7819	41,1538	1,7462
25	50,0	42,7601	7,0097	7,2399	42,9903	49,7698	0,2302
26	29,8	42,4844	-0,6986	-12,6844	30,4986	41,7858	-11,9858
27	42,9	42,2087	-1,3111	0,6913	44,2111	40,8976	2,0024
28	50,0	41,9331	2,3931	8,0669	47,6069	44,3261	5,6739
29	48,0	41,6574	2,9847	6,3426	45,0153	44,6421	3,3579
30	48,0	41,3817	5,0681	6,6183	42,9319	46,4498	1,5502
31	48,0	41,1060	0,6347	6,8940	47,3653	41,7408	6,2592
32	50,0	40,8304	0,3389	9,1696	49,6611	41,1693	8,8307
33	30,0	40,5547	-11,3653	-10,5547	41,3653	29,1894	0,8106
34	30,0	40,2790	-1,2903	-10,2790	31,2903	38,9887	-8,9887
35	30,0	40,0033	-1,8819	-10,0033	31,8819	38,1214	-8,1214
36	30,0	39,7277	-1,8819	-9,7277	31,8819	37,8457	-7,8457
37	42,9	39,4520	7,0097	3,4480	35,8903	46,4617	-3,5617
38	42,9	39,1763	-0,6986	3,7237	43,5986	38,4777	4,4223
39	30,0	38,9007	-1,3111	-8,9007	31,3111	37,5895	-7,5895
40	30,0	38,6250	2,3931	-8,6250	27,6069	41,0180	-11,0180
41	30,0	38,3493	2,9847	-8,3493	27,0153	41,3340	-11,3340
42	42,9	38,0736	5,0681	4,8264	37,8319	43,1417	-0,2417
43	12,0	37,7980	0,6347	-25,7980	11,3653	38,4327	-26,4327
44	42,9	37,5223	0,3389	5,3777	42,5611	37,8612	5,0388
45	42,9	37,2466	-11,3653	5,6534	54,2653	25,8813	17,0187
46	42,9	36,9709	-1,2903	5,9291	44,1903	35,6807	7,2193
47	48,0	36,6953	-1,8819	11,3047	49,8819	34,8133	13,1867
48	42,9	36,4196	-1,8819	6,4804	44,7819	34,5377	8,3623

Nota; Elaboración propia

**Anexo 20.***Método de Descomposición de Series de Tiempo de la Conductividad Eléctrica*

Modelo aditivo	
Datos	Conduct (uS/cm)
Longitud	48
Número de valores faltantes	0
Ecuación de tendencia ajustada	
$Y_t = 175,83 + 0,074 \times t$	
Índices estacionales	
Período	Índice
1	-12,6676
2	-44,2671
3	-1,5338
4	-14,5454
5	-4,9259
6	2,4563
7	18,0725
8	-4,3672
9	5,7203
10	16,2560
11	21,5227
12	18,2794
Medidas de exactitud	
MAPE	11,632
MAD	17,676
MSD	653,320

Nota; Elaboración propia

**Anexo 21.***Dato de Ajuste Tendencial, Estacionalidad y Error, CE*

Tiempo	Conduct (uS/cm)	Tendencia	Estacional	Eliminar tendencia	Ignorar ciclo estacional	Predecir	Error
1	158,948	175,899	-12,6676	-16,9517	171,615	163,232	-4,2840
2	178,100	175,973	-44,2671	2,1271	222,367	131,706	46,3943
3	94,050	176,046	-1,5338	-81,9964	95,584	174,513	-80,4626
4	156,435	176,120	-14,5454	-19,6850	170,980	161,575	-5,1395
5	111,673	176,194	-4,9259	-64,5208	116,599	171,268	-59,5949
6	134,200	176,267	2,4563	-42,0671	131,744	178,723	-44,5234
7	188,300	176,341	18,0725	11,9593	170,227	194,413	-6,1132
8	211,600	176,414	-4,3672	35,1857	215,967	172,047	39,5530
9	184,000	176,488	5,7203	7,5122	178,280	182,208	1,7919
10	188,000	176,561	16,2560	11,4386	171,744	192,817	-4,8174
11	199,000	176,635	21,5227	22,3650	177,477	198,158	0,8424
12	209,900	176,709	18,2794	33,1915	191,621	194,988	14,9121
13	189,700	176,782	-12,6676	12,9179	202,368	164,114	25,5855
14	178,000	176,856	-44,2671	1,1443	222,267	132,589	45,4115
15	157,900	176,929	-1,5338	-19,0292	159,434	175,395	-17,4954
16	176,800	177,003	-14,5454	-0,2028	191,345	162,457	14,3426
17	188,200	177,076	-4,9259	11,1236	193,126	172,150	16,0495
18	196,747	177,150	2,4563	19,5968	194,290	179,606	17,1405
19	212,411	177,223	18,0725	35,1878	194,339	195,296	17,1153
20	173,900	177,297	-4,3672	-3,3971	178,267	172,930	0,9702
21	151,800	177,371	5,7203	-25,5706	146,080	183,091	-31,2909
22	210,427	177,444	16,2560	32,9829	194,171	193,700	16,7269
23	219,304	177,518	21,5227	41,7859	197,781	199,040	20,2633
24	205,101	177,591	18,2794	27,5098	186,822	195,871	9,2304
25	170,800	177,665	-12,6676	-6,8649	183,468	164,997	5,8027
26	139,100	177,738	-44,2671	-38,6385	183,367	133,471	5,6287
27	184,200	177,812	-1,5338	6,3880	185,734	176,278	7,9218
28	168,100	177,886	-14,5454	-9,7856	182,645	163,340	4,7599
29	120,000	177,959	-4,9259	-57,9592	124,926	173,033	-53,0333
30	188,400	178,033	2,4563	10,3673	185,944	180,489	7,9110
31	203,400	178,106	18,0725	25,2937	185,327	196,179	7,2212
32	180,500	178,180	-4,3672	2,3201	184,867	173,813	6,6874
33	202,000	178,253	5,7203	23,7466	196,280	183,974	18,0263
34	201,500	178,327	16,2560	23,1730	185,244	194,583	6,9170
35	210,000	178,401	21,5227	31,5994	188,477	199,923	10,0768
36	196,400	178,474	18,2794	17,9259	178,121	196,754	-0,3535
37	164,712	178,548	-12,6676	-13,8355	177,380	165,880	-1,1679
38	134,142	178,621	-44,2671	-44,4792	178,409	134,354	-0,2121
39	184,900	178,695	-1,5338	6,2052	186,434	177,161	7,7390
40	180,700	178,768	-14,5454	1,9316	195,245	164,223	16,4771
41	185,000	178,842	-4,9259	6,1581	189,926	173,916	11,0839
42	174,600	178,916	2,4563	-4,3155	172,144	181,372	-6,7718
43	150,500	178,989	18,0725	-28,4891	132,427	197,062	-46,5616
44	182,300	179,063	-4,3672	3,2374	186,667	174,695	7,6046
45	198,900	179,136	5,7203	19,7638	193,180	184,856	14,0435
46	195,000	179,210	16,2560	15,7902	178,744	195,466	-0,4658
47	147,100	179,283	21,5227	-32,1833	125,577	200,806	-53,7060
48	189,400	179,357	18,2794	10,0428	171,120	197,636	-8,2366

Nota; Elaboración propia

**Anexo 22.***Método de Descomposición de Series de Tiempo del Parámetro Oxígeno Disuelto*

Modelo aditivo

Datos OD ( mg/L)  
 Longitud 48  
 Número de valores faltantes 0

Ecuación de tendencia ajustada

$$Y_t = 7,124 + 0,01492 \times t$$

Índices estacionales

Período	Índice
1	-0,09015
2	-0,53827
3	0,07069
4	0,14835
5	0,05737
6	0,55239
7	0,23616
8	0,06356
9	0,43418
10	-1,23934
11	0,12835
12	0,17668

Medidas de exactitud

MAPE 7,77352  
 MAD 0,53107  
 MSD 0,56550

Nota; Elaboración propia

## Anexo 23.

*Datos de Ajuste Tendencial, Estacionalidad y Error, Oxígeno Disuelto*

Tiempo	OD (mg/L)	Tendencia	Estacional	Eliminar tendencia	Ignorar ciclo estacional	Predecir	Error
1	6,89231	7,13860	-0,09015	-0,24630	6,98245	7,04846	-0,15615
2	7,57000	7,15352	-0,53827	0,41648	8,10827	6,61525	0,95475
3	7,54000	7,16843	0,07069	0,37157	7,46931	7,23912	0,30088
4	6,53795	7,18335	0,14835	-0,64540	6,38959	7,33170	-0,79376
5	6,58224	7,19826	0,05737	-0,61602	6,52487	7,25564	-0,67340
6	6,61000	7,21318	0,55239	-0,60318	6,05761	7,76557	-1,15557
7	7,63000	7,22810	0,23616	0,40190	7,39384	7,46426	0,16574
8	7,31000	7,24301	0,06356	0,06699	7,24644	7,30657	0,00343
9	7,99000	7,25793	0,43418	0,73207	7,55582	7,69211	0,29789
10	7,47000	7,27284	-1,23934	0,19716	8,70934	6,03351	1,43649
11	7,37000	7,28776	0,12835	0,08224	7,24165	7,41611	-0,04611
12	4,41000	7,30267	0,17668	-2,89267	4,23332	7,47936	-3,06936
13	7,46000	7,31759	-0,09015	0,14241	7,55015	7,22744	0,23256
14	7,87000	7,33250	-0,53827	0,53750	8,40827	6,79424	1,07576
15	7,56000	7,34742	0,07069	0,21258	7,48931	7,41811	0,14189
16	7,54000	7,36233	0,14835	0,17767	7,39165	7,51069	0,02931
17	7,43000	7,37725	0,05737	0,05275	7,37263	7,43462	-0,00462
18	8,09965	7,39217	0,55239	0,70748	7,54726	7,94456	0,15509
19	7,90001	7,40708	0,23616	0,49293	7,66384	7,64324	0,25676
20	7,10000	7,42200	0,06356	-0,32200	7,03644	7,48556	-0,38556
21	6,68000	7,43691	0,43418	-0,75691	6,24582	7,87109	-1,19109
22	6,43599	7,45183	-1,23934	-1,01584	7,67532	6,21249	0,22350
23	7,94754	7,46674	0,12835	0,48080	7,81919	7,59509	0,35245
24	8,02359	7,48166	0,17668	0,54194	7,84691	7,65834	0,36525
25	7,78000	7,49657	-0,09015	0,28343	7,87015	7,40643	0,37357
26	7,25000	7,51149	-0,53827	-0,26149	7,78827	6,97322	0,27678
27	7,67000	7,52640	0,07069	0,14360	7,59931	7,59709	0,07291
28	7,38000	7,54132	0,14835	-0,16132	7,23165	7,68967	-0,30967
29	7,43000	7,55623	0,05737	-0,12623	7,37263	7,61361	-0,18361
30	8,52000	7,57115	0,55239	0,94885	7,96761	8,12354	0,39646
31	8,31000	7,58607	0,23616	0,72393	8,07384	7,82223	0,48777
32	8,31000	7,60098	0,06356	0,70902	8,24644	7,66454	0,64546
33	8,50000	7,61590	0,43418	0,88410	8,06582	8,05008	0,44992
34	6,77000	7,63081	-1,23934	-0,86081	8,00934	6,39148	0,37852
35	8,36000	7,64573	0,12835	0,71427	8,23165	7,77408	0,58592
36	8,44000	7,66064	0,17668	0,77936	8,26332	7,83733	0,60267
37	7,45788	7,67556	-0,09015	-0,21768	7,54803	7,58541	-0,12753
38	6,94982	7,69047	-0,53827	-0,74065	7,48809	7,15221	-0,20238
39	8,40000	7,70539	0,07069	0,69461	8,32931	7,77608	0,62392
40	8,73000	7,72030	0,14835	1,00970	8,58165	7,86866	0,86134
41	7,98000	7,73522	0,05737	0,24478	7,92263	7,79259	0,18741
42	8,73000	7,75013	0,55239	0,97987	8,17761	8,30253	0,42747
43	7,19000	7,76505	0,23616	-0,57505	6,95384	8,00121	-0,81121
44	6,68000	7,77997	0,06356	-1,09997	6,61644	7,84353	-1,16353
45	6,76000	7,79488	0,43418	-1,03488	6,32582	8,22906	-1,46906
46	6,88000	7,80980	-1,23934	-0,92980	8,11934	6,57046	0,30954
47	6,95000	7,82471	0,12835	-0,87471	6,82165	7,95306	-1,00306
48	8,09055	7,83963	0,17668	0,25093	7,91387	8,01631	0,07424

Nota; Elaboración propia

**Anexo 24.***Resultados del Pronóstico de Parámetros Físicoquímico, Período 2020-2023*

<b>Pronóstico</b>		<b>2020-2023</b>				
<b>Ubicación</b>		<b>Rio Pita; Captación de Molinucco EEQ.</b>				
<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>SST (mg/L)</b>	<b>CE (uS/cm)</b>	<b>TPM (°C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>
2020	Enero	14,6	43,2	166,8	11,3	7,8
	Febrero	13,2	35,2	135,2	12,4	7,3
	Marzo	11,2	34,3	178,0	11,7	8,0
	Abril	12,9	37,7	165,1	11,2	8,0
	Mayo	20,8	38,0	174,8	13,4	8,0
	Junio	14,4	39,8	182,3	11,9	8,5
	Julio	14,3	35,1	197,9	12,1	8,2
	Agosto	17,9	34,6	175,6	12,6	8,0
	Septiembre	10,8	22,6	185,7	12,1	8,4
	Octubre	14,1	32,4	196,3	13,2	6,7
	Noviembre	14,1	31,5	201,7	13,9	8,1
	Diciembre	12,8	31,2	198,5	11,5	8,2
2021	Enero	13,2	39,8	167,6	11,0	7,9
	Febrero	11,8	31,9	136,1	12,1	7,5
	Marzo	9,8	31,0	178,9	11,3	8,1
	Abril	11,5	34,4	166,0	10,8	8,2
	Mayo	19,5	34,7	175,7	13,1	8,2
	Junio	13,1	36,5	183,1	11,6	8,7
	Julio	13,0	31,8	198,8	11,8	8,4
	Agosto	16,5	31,2	176,5	12,2	8,2
	Septiembre	9,5	19,3	186,6	11,8	8,6
	Octubre	12,8	29,1	197,2	12,9	6,9
	Noviembre	12,8	28,2	202,6	13,5	8,3
	Diciembre	11,4	27,9	199,4	11,1	8,4
2022	Enero	11,9	36,5	168,5	10,6	8,1
	Febrero	10,5	28,6	137,0	11,7	7,7
	Marzo	8,5	27,7	179,8	11,0	8,3
	Abril	10,2	31,1	166,9	10,5	8,4
	Mayo	18,2	31,4	176,6	12,8	8,3
	Junio	11,8	33,2	184,0	11,3	8,8
	Julio	11,6	28,5	199,7	11,4	8,5
	Agosto	15,2	27,9	177,3	11,9	8,4
	Septiembre	8,1	16,0	187,5	11,4	8,8
	Octubre	11,5	25,8	198,1	12,5	7,1
	Noviembre	11,4	24,9	203,5	13,2	8,5
	Diciembre	10,1	24,6	200,3	10,8	8,6
2023	Enero	10,6	33,2	169,4	10,3	8,3
	Febrero	9,1	25,2	137,9	11,4	7,9
	Marzo	7,1	24,4	180,7	10,6	8,5
	Abril	8,8	27,8	167,8	10,2	8,6
	Mayo	16,8	28,1	177,4	12,4	8,5
	Junio	10,4	29,9	184,9	10,9	9,0

<b>Pronóstico</b>		<b>2020-2023</b>				
<b>Ubicación</b>		<b>Rio Pita; Captación de Molinucco EEQ.</b>				
<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>SST (mg/L)</b>	<b>CE (uS/cm)</b>	<b>TPM (°C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>
	Julio	10,3	25,2	200,6	11,1	8,7
	Agosto	13,9	24,6	178,2	11,6	8,6
	Septiembre	6,8	12,6	188,4	11,1	8,9
	Octubre	10,1	22,4	199,0	12,2	7,3
	Noviembre	10,1	21,6	204,3	12,8	8,7
	Diciembre	8,7	21,3	201,2	10,5	8,7
	Media	12,2	29,7	181,2	11,8	8,2
	Máxima	20,8	43,2	204,3	13,9	9,0
	Mínima	6,8	12,6	135,2	10,2	6,7

Nota; Elaboración propia

## Anexo 25.

## Cálculo del ISQA Mensual, Anual y por Épocas del Río Pita Periodo 2020-2023

Año	Mes	T °C	Valor subíndice E	DQO (mg/L)	Valor subíndice A	SST (mg/L)	Valor subíndice B	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Valor subíndice C	CE uS/cm (0,86)	Valor subíndice D	ISQA	Calidad de Agua
2020	Ene	11,3	1,0	14,6	15,9	43,2	18,5	7,8	19,4	143,4	22,2	<b>76,1</b>	Buena
	Feb	12,4	1,0	13,2	16,4	35,2	19,7	7,3	18,3	116,3	23,6	<b>78,1</b>	Buena
	Mar	11,7	1,0	11,2	17,1	34,3	19,9	8,0	19,9	153,1	21,8	<b>78,6</b>	Buena
	Abr	11,2	1,0	12,9	16,5	37,7	19,3	8,0	20,1	142,0	22,3	<b>78,3</b>	Buena
	May	13,4	1,0	20,8	13,7	38,0	19,3	8,0	19,9	150,3	21,9	<b>74,8</b>	Buena
	Jun	11,9	1,0	14,4	15,9	39,8	19,0	8,5	21,2	156,7	21,6	<b>77,8</b>	Buena
	Jul	12,1	1,0	14,3	16,0	35,1	19,7	8,2	20,5	170,2	21,1	<b>77,3</b>	Buena
	Ago.	12,6	1,0	17,9	14,7	34,6	19,8	8,0	20,1	151,0	21,9	<b>76,5</b>	Buena
	Sep.	12,1	1,0	10,8	17,2	22,6	21,6	8,4	21,0	159,7	21,5	<b>81,4</b>	Buena
	Oct	13,2	1,0	14,1	16,1	32,4	20,1	6,7	16,9	168,9	21,1	<b>74,2</b>	Buena
	Nov	13,9	1,0	14,1	16,1	31,5	20,3	8,1	20,3	173,5	21,0	<b>77,6</b>	Buena
	Dic	11,5	1,0	12,8	16,5	31,2	20,3	8,2	20,5	170,7	21,1	<b>78,4</b>	Buena
<b>ANUAL</b>		<b>12,3</b>	<b>1,0</b>	<b>14,3</b>	<b>16,0</b>	<b>34,6</b>	<b>19,8</b>	<b>7,9</b>	<b>19,8</b>	<b>154,7</b>	<b>21,7</b>	<b>77,4</b>	Buena
2021	Ene	11,0	1,0	13,2	16,4	39,8	19,0	7,9	19,9	144,2	22,2	<b>77,4</b>	Buena
	Feb	12,1	1,0	11,8	16,9	31,9	20,2	7,5	18,8	117,1	23,6	<b>79,4</b>	Buena
	Mar	11,3	1,0	9,8	20,2	31,0	20,4	8,1	20,3	153,9	21,8	<b>82,6</b>	Buena
	Abr	10,8	1,0	11,5	17,0	34,4	19,8	8,2	20,6	142,8	22,3	<b>79,6</b>	Buena
	May	13,1	1,0	19,5	14,2	34,7	19,8	8,2	20,4	151,1	21,9	<b>76,2</b>	Buena
	Jun	11,6	1,0	13,1	16,4	36,5	19,5	8,7	21,7	157,5	21,6	<b>79,2</b>	Buena
	Jul	11,8	1,0	13,0	16,5	31,8	20,2	8,4	20,9	171,0	21,1	<b>78,6</b>	Buena
	Agos	12,2	1,0	16,5	15,2	31,2	20,3	8,2	20,5	151,8	21,9	<b>77,9</b>	Buena
	sep.	11,8	1,0	9,5	20,5	19,3	22,1	8,6	21,5	160,5	21,5	<b>85,6</b>	Buena
	Oct	12,9	1,0	12,8	16,5	29,1	20,6	6,9	17,3	169,6	21,1	<b>75,6</b>	Buena
	Nov	13,5	1,0	12,8	16,5	28,2	20,8	8,3	20,8	174,2	20,9	<b>79,0</b>	Buena
	Dic	11,1	1,0	11,4	17,0	27,9	20,8	8,4	20,9	171,5	21,0	<b>79,8</b>	Buena
<b>ANUAL</b>		<b>11,9</b>	<b>1,0</b>	<b>12,9</b>	<b>16,5</b>	<b>31,3</b>	<b>20,3</b>	<b>8,1</b>	<b>20,3</b>	<b>155,4</b>	<b>21,7</b>	<b>78,8</b>	Buena
2022	Ene	10,6	1,0	11,9	16,8	36,5	19,5	8,1	20,3	144,9	22,2	<b>78,8</b>	Buena
	Feb	11,7	1,0	10,5	17,3	28,6	20,7	7,7	19,2	117,8	23,5	<b>80,8</b>	Buena
	Mar	11,0	1,0	8,5	21,5	27,7	20,9	8,3	20,8	154,6	21,7	<b>84,9</b>	Buena
	Abr	10,5	1,0	10,2	17,4	31,1	20,3	8,4	21,0	143,5	22,2	<b>81,0</b>	Buena
	May	12,8	1,0	18,2	14,6	31,4	20,3	8,3	20,8	151,8	21,8	<b>77,6</b>	Buena
	Jun	11,3	1,0	11,8	16,9	33,2	20,0	8,8	22,1	158,3	21,6	<b>80,6</b>	Buena
	Jul	11,4	1,0	11,6	16,9	28,5	20,7	8,5	21,3	171,8	21,0	<b>80,0</b>	Buena
	Agos.	11,9	1,0	15,2	15,7	27,9	20,8	8,4	21,0	152,5	21,8	<b>79,3</b>	Buena
	Sep.	11,4	1,0	8,1	21,9	16,0	22,6	8,8	21,9	161,3	21,4	<b>87,8</b>	Buena
	Oct	12,5	1,0	11,5	17,0	25,8	21,1	7,1	17,8	170,4	21,1	<b>77,0</b>	Buena
	Nov	13,2	1,0	11,4	17,0	24,9	21,3	8,5	21,2	175,0	20,9	<b>80,4</b>	Buena
	Dic	10,8	1,0	10,1	17,5	24,6	21,3	8,6	21,4	172,2	21,0	<b>81,2</b>	Buena
<b>ANUAL</b>		<b>11,6</b>	<b>1,0</b>	<b>11,6</b>	<b>16,9</b>	<b>28,0</b>	<b>20,8</b>	<b>8,3</b>	<b>20,7</b>	<b>156,2</b>	<b>21,7</b>	<b>80,1</b>	Buena
2023	Ene	10,3	1,0	10,6	17,3	33,2	20,0	8,3	20,8	145,7	22,1	<b>80,2</b>	Buena
	Feb	11,4	1,0	9,1	20,9	25,2	21,2	7,9	19,7	118,6	23,5	<b>85,2</b>	Buena

Año	Mes	T °C	Valor subíndice E	DQO (mg/L)	Valor subíndice A	SST (mg/L)	Valor subíndice B	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Valor subíndice C	CE uS/cm (0,86)	Valor subíndice D	ISQA	Calidad de Agua
	Mar	10,6	1,0	7,1	22,9	24,4	21,3	8,5	21,2	155,4	21,7	<b>87,1</b>	Buena
	Abr	10,2	1,0	8,8	21,2	27,8	20,8	8,6	21,5	144,3	22,2	<b>85,6</b>	Buena
	May	12,4	1,0	16,8	15,1	28,1	20,8	8,5	21,3	152,6	21,8	<b>79,0</b>	Buena
	Jun	10,9	1,0	10,4	17,4	29,9	20,5	9,0	22,5	159,0	21,5	<b>82,0</b>	Buena
	Jul	11,1	1,0	10,3	17,4	25,2	21,2	8,7	21,8	172,5	21,0	<b>81,4</b>	Buena
	Ago.	11,6	1,0	13,9	16,2	24,6	21,3	8,6	21,4	153,3	21,8	<b>80,6</b>	Buena
	Sep.	11,1	1,0	6,8	23,2	12,6	23,1	8,9	22,4	162,0	21,4	<b>90,1</b>	Buena
	Oct	12,2	1,0	10,1	17,5	22,4	21,6	7,3	18,2	171,1	21,0	<b>78,4</b>	Buena
	Nov	12,8	1,0	10,1	17,5	21,6	21,8	8,7	21,7	175,7	20,9	<b>81,8</b>	Buena
	Dic	10,5	1,0	8,7	21,3	21,3	21,8	8,7	21,8	173,0	21,0	<b>85,9</b>	Buena
<b>ANUAL</b>		<b>11,3</b>	<b>1,0</b>	<b>10,2</b>	<b>17,4</b>	<b>24,7</b>	<b>21,3</b>	<b>8,5</b>	<b>21,2</b>	<b>156,9</b>	<b>21,6</b>	<b>81,5</b>	Buena
Época seca	2020	12,2	1,0	14,4	16,0	33,0	20,0	8,3	20,7	159,4	21,5	<b>78,2</b>	Buena
	2021	11,8	1,0	13,0	16,4	29,7	20,5	8,5	21,1	160,2	21,5	<b>79,6</b>	Buena
	2022	11,5	1,0	11,7	16,9	26,4	21,0	8,6	21,6	160,9	21,5	<b>81,0</b>	Buena
	2023	11,2	1,0	10,3	17,4	23,1	21,5	8,8	22,0	161,7	21,4	<b>82,4</b>	Buena
Época Lluviosa	2020	12,3	1,0	14,2	16,0	35,4	19,7	7,8	19,4	152,3	21,8	<b>77,0</b>	Buena
	2021	12,0	1,0	12,9	16,5	32,1	20,2	7,9	19,9	153,0	21,8	<b>78,3</b>	Buena
	2022	11,6	1,0	11,5	17,0	28,8	20,7	8,1	20,3	153,8	21,8	<b>79,7</b>	Buena
	2023	11,3	1,0	10,2	17,4	25,5	21,2	8,3	20,8	154,6	21,7	<b>81,1</b>	Buena

Nota; Elaboración propia

**Anexo 26.***Cálculo de los Errores del Pronóstico de la Calidad de Agua del Río Pita*

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>ISQA REAL</b>	<b>ISQA AJUSTE</b>	<b>MAPE</b>
2016	Junio	81,8	77,9	0,048899756
	Julio	92,2	76,3	0,161605206
	Agosto	80,3	81,2	0,04732254
	Septiembre	86	86,5	0,053488372
	Octubre	68,3	83,9	0,086383602
	Noviembre	83,2	74,8	0,067307692
	Diciembre	77,4	82,1	0,012919897
2017	Junio	67,5	78,2	0,173333333
	Julio	87	76,6	0,096551724
	Agosto	67,6	81,6	0,152366864
	Septiembre	87	86,9	0,016091954
	Octubre	87,6	84,2	0,136986301
	Noviembre	71	75,2	0,112676056
	Diciembre	78,2	82,4	0,020460358
2018	Junio	77	78,5	0,046753247
	Julio	74,2	76,9	0,078167116
	Agosto	90	81,9	0,118888889
	Septiembre	83,7	87,2	0,048984468
	Octubre	86,4	84,5	0,108796296
	Noviembre	67	75,5	0,2000000
2019	Diciembre	90,7	82,8	0,104740904
	Junio	95	78,9	0,136842105
	Julio	79,5	77,3	0,023899371
	Agosto	84,9	82,2	0,050647821
	Septiembre	88,8	87,5	0,01463964
	Octubre	84,8	84,8	0,075471698
	Noviembre	70,5	75,8	0,160283688
	Diciembre	77,2	83,1	0,112694301
				<b>7,45%</b>

Nota; Elaboración propia

**Anexo 27.**

*Criterios de Calidad del Agua Destinadas a Fines Recreativos Mediante (TULSMA)*

<b>TABLA 6: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA FINES RECREATIVOS MEDIANTE CONTACTO PRIMARIO*</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CRITERIO DE CALIDAD</b>
Parásitos Nemátodos Intestinales			Ausencia
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	200
Coliformes Totales	NMP	NMP/100 ml	2000
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Grasas y aceites	Película visible		Ausencia
Material Flotante	Visible		Ausencia
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	>80
pH	pH		6,5 - 8,3
Relación Nitrógeno-Fósforo Total			15:1
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
La visibilidad al disco Secchi será de por lo menos 2m de profundidad			
*Siempre y cuando no se refiera a piscinas.			

Nota: TULSMA,2015.

**Anexo 28.***Aval de Traducción*

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 de tesis al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL** de la **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES: MATTEO ANTHONY ASHANKA VARGAS**, cuyo título versa **“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO PITA, UBICADO DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, 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, SEPTIEMBRE del 2020

Atentamente,

**MARÍA FERNANDA AGUAIZA IZA**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
**C.C. 050345849-9**



CENTRO  
DE IDIOMAS

## Anexo 29.

*Curriculum Vitae del Autor*

<b>I.-DATOS PERSONALES</b>	
Nombres: Apellidos: Documento de identidad: Fecha de nacimiento: Lugar de nacimiento: Provincia: Nacionalidad: Estado civil: Grupo Sanguíneo: Domicilio: Celular: Email: Profesión: Idiomas:	Matteo Anthony Ashanka Vargas 1600704660 10 de Julio de 1995 Puyo Pastaza Ecuatoriana Soltero O+ Quito (San Luis) 0979009185 matteo10794@outlook.com Estudiante Español (100%) Francés (80%) Inglés (80%)
	
<b>II.- Formación Académica</b>	
<b>Estudios Primarios</b> Institución Educativa:	Escuela Fiscal "VERACRUZ"
<b>Estudios Secundarios</b> Institución Educativa:	Unidad Educativa "DOCE DE MAYO"
<b>Estudios Superiores</b> Institución Superior: Carrera:	Universidad Técnica de Cotopaxi Ingeniería en Medio Ambiente
<b>III.- Cursos y Seminarios</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Certificado de participación en el "I Seminario internacional en Fiscalización, Seguimiento y Control Ambiental" Organizado por Asesoría de desarrollo Nacional ADN Consultorías y Servicios S.A, Latacunga 4 de mayo del 2018, con una duración de 40 horas.</li> <li>- Certificado de participación en el Seminario "Sujetos de Control en Planes de Manejo Ambiental, Planes de Acción, Planes de Emergencia y Auditoría" Organizado por el GADPC, Latacunga 21 de noviembre del 2018, duración 40 horas.</li> <li>- Certificado de aprobación en el "Curso-taller Diseño de plantas de Tratamientos de Aguas Residuales, 5 de julio del 2019 con una duración 120 horas.</li> <li>- Certificado de participación en la "I Jornada de Difusión de la Investigación Ambiental" Latacunga, 17 de julio del 2019.</li> <li>- Certificado de participación en la "I Jornada de Difusión de la Investigación Ambiental" Latacunga, 07 de febrero del 2020.</li> <li>- Certificado de Suficiencia en el idioma inglés</li> <li>- Certificado de Suficiencia en el idioma francés</li> <li>- Certificado de pasantías en el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Cotopaxi, Departamento de Calidad Ambiental (Fiscalización Ambiental), octubre 2019-febrero 2020. Duración 320 horas</li> <li>- Certificado de pasantías en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria "Santa Catalina" (INIAP), Departamento de Análisis de Suelos, Agua y Cobertura Vegetal Quito, periodo febrero -abril 2020, con una duración de 200 horas.</li> </ul>	