



**Evaluación de la concentración de contaminantes emergentes en el río Tahuando, en
Ibarra - Ecuador**

García Campaña, Abigaíl Alejandra

Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Geógrafa y del Medio
Ambiente

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto, Ph.D.

24 de julio del 2020



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Evaluación de la concentración de contaminantes emergentes en el río Tahuando, en Ibarra - Ecuador**” fue realizado por la señorita **García Campaña, Abigail Alejandra** el mismo que ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 12 de junio del 2020

Firma:

Una firma manuscrita en tinta azul que dice "Bolaños D.R.G.".

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto, Ph.D.

C.C.: 1715206593



Document Information

Analyzed document	Tesis_Abigail_García.docx (D74828935)
Submitted	6/12/2020 11:28:00 PM
Submitted by	CAROLINA DEL ROCIO MONTERO CALDERÓN
Submitter email	cdmontero@uce.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	cdmontero.uce@analysis.arkund.com

Firma:

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Bolaños D.Rob". The signature is written in a cursive style and is underlined.

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto, Ph.D.

C.C.: 1715206593



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

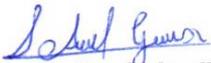
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **García Campaña, Abigaíl Alejandra**, con cédula de ciudadanía 1722488234, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Evaluación de la concentración de contaminantes emergentes en el río Tahuando, en Ibarra - Ecuador”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 24 de julio del 2020

Firma:


García Campaña, Abigaíl Alejandra
C.C.: 1722488234



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **García Campaña, Abigaíl Alejandra**, con cédula de ciudadanía 1722488234, autorizo a la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Evaluación de la concentración de contaminantes emergentes en el río Tahuando, en Ibarra - Ecuador”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 24 de julio del 2020

Firma:

Una firma manuscrita en tinta azul que corresponde al nombre de la titular.

García Campaña, Abigaíl Alejandra

C.C.: 1722488234

Dedicatoria

Este trabajo de titulación es dedicado especialmente a mi padre, Henry, que aunque no esté físicamente conmigo lo llevo siempre en mi corazón. A mi madre, Martha, por siempre motivarme a seguir adelante, a pesar de las dificultades que la vida te presenta. Gracias por todos los valores que me han inculcado, sobretodo, gracias por el amor que me han entregado.

A mis hermanas, Gaby y Dama, por ser mi fortaleza y demostrarme que siempre se puede cuando lo deseas. A mis sobrinos, Dante, Martín y Rebeca, por ser la luz de mi vida.

A mis amigos, por demostrarme su cariño y apoyo en todo momento. Gracias por formar parte de esta aventura, por las risas, enojos, bromas, llantos, por todos aquellos momentos compartidos a lo largo de estos años. No duden que cuentan conmigo, cuando lo necesiten.

A mis profesores, por toda la enseñanza que me han brindado a lo largo de mi formación académica.

Agradecimientos

A Dios, por las bendiciones que me han brindado a lo largo de mi vida, por poner en mi camino los medios y las personas necesarias, para culminar con éxito esta etapa académica.

A mi familia, por ser el motor de mi vida, por su amor y apoyo incondicional en cada paso que doy. Son mi razón para superarme día tras día.

A mi director de tesis, Dr. Darío Bolaños, por el apoyo y compromiso brindado, para poder lograr esta meta.

Al director del CENCINAT, Dr. Luis Cumbal, por permitirme realizar la tesis en las instalaciones de este prestigioso centro. A la técnica del laboratorio del CENCINAT, Ing. Carina Stael y a la Ing. Ambar Oñate, por compartir su conocimiento.

A la Ing. Katherine Garay, por la colaboración que ha manifestado en la elaboración de este trabajo, por guiarme en repetidas ocasiones, y sobre todo, por su amistad.

A EMAPA Ibarra, especialmente a la Ing. Cintia Muñoz, por la ayuda dedicada a esta investigación, que permitió que los resultados sean confiables.

A mis amigos, por prestarme su ayuda en el último muestreo y por propinarme ánimos en momentos de flaqueza. A mi amiga, Ing. Alexandra Albán, por resolver cada duda que se generaba en este proyecto, por todos los momentos vividos en esta etapa y por el cariño que me has demostrado. Finalmente, agradezco a Josselyn Gómez y Karina Yanchatipán, por ser mis compañeras y amigas en el transcurso de la carrera, gracias muchachas por su valiosa amistad.

Índice de Contenido

Certificación	2
Urkund	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos	7
Índice de Contenido	8
Índice de Tablas	11
Índice de Figuras	12
Resumen	14
Abstract	15
Capítulo I	16
Planteamiento del Problema de Investigación	16
Antecedentes	16
Planteamiento del Problema.....	18
Justificación e importancia	20
Objetivos.....	21
<i>Objetivo General</i>	21
<i>Objetivos Específicos</i>	21
Hipótesis de Investigación.....	22

Capítulo II	23
Materiales y Métodos	23
Área de Estudio.....	23
Parámetros Físico-químicos	26
<i>Parámetros In situ</i>	26
<i>Determinación DQO y DBO₅</i>	27
<i>Análisis de Metales Pesados</i>	27
<i>Análisis de Aniones</i>	27
<i>Análisis de SST, SDT y ST</i>	28
Análisis de Carbamazepina y Diclofenaco	29
<i>Curva de Calibración para lecturas de Carbamazepina y Diclofenaco</i>	29
<i>Preparación de Muestras</i>	29
<i>Lectura en el HPLC</i>	30
Capítulo III	31
Resultados y Discusión	31
Definición y Caracterización del Área de Estudio	31
Parámetros Físico-químicos	33
<i>Potencial de Hidrógeno</i>	33
<i>Oxígeno Disuelto</i>	34
<i>Conductividad Eléctrica</i>	35
<i>Temperatura</i>	37

<i>Demanda Química de Oxígeno</i>	38
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días</i>	40
<i>Metales Pesados</i>	41
<i>Aniones</i>	43
<i>SST, SDT y ST</i>	45
Carbamazepina	46
<i>Curva de Calibración Carbamazepina</i>	46
<i>Resultados Carbamazepina</i>	47
Diclofenaco	50
<i>Curva de Calibración Diclofenaco</i>	50
<i>Resultados Diclofenaco</i>	50
Capítulo IV	53
Conclusiones y Recomendaciones	53
Conclusiones.....	53
Recomendaciones	54
Capítulo V	55
Bibliografía	55

Índice de Tablas

Tabla 1 Puntos de Muestreo	24
Tabla 2 Resultados pH.....	33
Tabla 3 Resultados Oxígeno Disuelto (mg/L).....	34
Tabla 4 Resultados Conductividad Eléctrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$).....	36
Tabla 5 Resultados Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).....	37
Tabla 6 Resultados DQO(mg/L).....	38
Tabla 7 Resultados DBOs (mg/L)	40
Tabla 8 Resultados de Metales Pesados (mg/L).....	42
Tabla 9 Resultados SST, SDT y ST (mg/L).....	44
Tabla 10 Resultados de Aniones (mg/L).....	45
Tabla 11 Resultados de Carbamazepina ($\mu\text{g}/\text{L}$).....	47
Tabla 12 Resultados de Diclofenaco ($\mu\text{g}/\text{L}$).....	51

Índice de Figuras

Figura 1 Primer Punto, Olmedo/Pesillo	24
Figura 2 Segundo Punto, Inicio Angochagua.....	24
Figura 3 Tercer Punto, Guaraczapas	25
Figura 4 Cuarto Punto, Angochagua.....	25
Figura 5 Quinto Punto, Romerillo Alto	25
Figura 6 Sexto Punto, Antes PTAR Ibarra	26
Figura 7 Séptimo Punto, Después PTAR Ibarra	26
Figura 8 Filtros utilizados para SST	28
Figura 9 Cápsulas de porcelanato utilizadas para ST	28
Figura 10 Muestras en viales.....	29
Figura 11 Puntos de muestreo en el río Tahuando, tramo Olmedo - Ibarra	32
Figura 12 Concentraciones pH	33
Figura 13 Concentraciones OD (mg/L).....	35
Figura 14 Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	36
Figura 15 Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).....	38
Figura 16 Concentraciones DQO (mg/L).....	39
Figura 17 Concentraciones DBO ₅ (mg/L)	41
Figura 18 Concentraciones Metales Pesados (mg/L).....	42
Figura 19 Concentraciones Aniones (mg/L).....	44
Figura 20 Variaciones SST, SDT y ST (mg/L)	46
Figura 21 Curva de Calibración Carbamazepina	47

Figura 22 Concentraciones de CBZ ($\mu\text{g/L}$) a lo largo del tramo Olmedo - Ibarra	49
Figura 23 Curva de Calibración Diclofenaco.....	50
Figura 24 Concentraciones de DCF ($\mu\text{g/L}$) a lo largo del tramo Olmedo - Ibarra	52

Resumen

En el presente proyecto de investigación, se definió y caracterizó el área de estudio en el río Tahuando, tramo Olmedo – Ibarra. Se establecieron siete ubicaciones, en las cuales se realizaron cuatro campañas de muestreo, en agosto, octubre, diciembre del 2019 y febrero del 2020. Los resultados obtenidos en esta investigación son un aporte para el proyecto de vinculación “Evaluación y Diseño del Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento de la Parroquia Angochagua, del cantón Ibarra”, que servirán como un punto de inicio, para generar estudios a mayor profundidad y de preferencia a lo largo de todo un año. Para la determinación de los parámetros físico-químicos se siguió la metodología establecida por el Standar Methods 18th Edition (1992). A continuación se compararon los valores obtenidos con los criterios de calidad admisibles que constan en el TULSMA (2015). En base a los resultados, se concluye que pH, O.D., Temperatura, DQO en época seca, DBO₅, As, Nitratos, Nitritos, SST en época seca, ST están dentro de lo establecido por la normativa del Ecuador. Sin embargo, DQO y SST en época lluviosa y los metales pesados Cu, Fe, Zn, Ni, Cd y Pb en época seca sobrepasan los criterios sugeridos. Respecto al análisis de contaminantes emergentes se determinaron concentraciones puntuales, utilizando la técnica de cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) por medio del equipo Dionex Ultimate 3000 UHPLC. En Carbamazepina se obtuvo 0,1247 µg/L en el punto 4 y 0,4529 µg/L en el punto 7. Y en Diclofenaco 2,0651 µg/L en el punto 1, 7,9245 µg/L en el punto 6 y 9,5189 µg/L en el punto 7.

Palabras Clave:

- **CONTAMINANTES EMERGENTES**
- **CARBAMAZEPINA**
- **DICLOFENACO**

Abstract

In the present research project, the study area in the Tahuando river, section Olmedo - Ibarra, was defined and characterized. Seven locations were established, in which four sampling campaigns were carried out, in August, October, December 2019 and February 2020. The results obtained in this research are a contribution to the linking project "Evaluación y Diseño del Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento de la Parroquia Angochagua, del cantón Ibarra", which will serve as a starting point, to generate studies in greater depth and preferably throughout an entire year. For the determination of the physical-chemical parameters, the methodology established by the Standard Methods 18th Edition (1992) was followed. The values obtained were then compared with the admissible quality criteria found in the TULSMA (2015). Based on the results, it is concluded that pH, O.D., Temperature, COD in dry season, BOD₅, As, Nitrates, Nitrites, SST in dry season, ST are within the provisions of Ecuador regulations. However, COD and TSS in the rainy season and the heavy metals Cu, Fe, Zn, Ni, Cd, and Pb in the dry season exceed the suggested criteria. Regarding the analysis of emerging contaminants, point concentrations were determined using the high-efficiency liquid chromatography (HPLC) technique using the Dionex Ultimate 3000 UHPLC equipment. In Carbamazepine 0.1247 µg/L was obtained at point 4 and 0.4529 µg/L at point 7. And in Diclofenac 2.0651 µg/L at point 1, 7.9245 µg/L at point 6 and 9.5189 µg/L at point 7.

Key Words:

- **EMERGING POLLUTANTS**
- **CARBAMAZEPINE**
- **DICLOFENAC**

Capítulo I

Planteamiento del Problema de Investigación

Antecedentes

Uno de los recursos indispensables para la vida humana y el sostenimiento del medio ambiente es el agua, sin embargo este elemento ha experimentado un preocupante deterioro debido al desarrollo económico y a su uso inadecuado (Alvárez, 2014). De tal forma, que la calidad del agua ha sido afectada por factores físicos, químicos o biológicos que provocan efectos estéticos o perjudiciales en la vida acuática y en aquellos seres vivos que la consumen (Goel, 2006).

A la vez, los contaminantes emergentes son sustancias químicas que no cuentan con una normativa que los regule, y que por medio de técnicas analíticas se han podido detectar en el ambiente. También se los conoce como microcontaminantes, debido a que se presentan en muy bajas concentraciones a nivel de $\mu\text{g/L}$ a ng/L (Calvo, García, & Dobado, 2018).

Los efectos que estos contaminantes pueden causar al medio ambiente y a la salud humana son desconocidos, lo que origina preocupación por los daños adversos que pueden producir a largo plazo (Calvo, García, & Dobado, 2018). Según Mills y otros (2005) citado por Secondes y sus colaboradores (2014), la alteración endocrina es uno de los riesgos ecológicos que se pueden presentar. También citan a Jean y colaboradores (2012), los cuales, manifiestan que otro efecto es la bioacumulación en la cadena alimenticia. Y por último, se menciona a Andersson y colaboradores (2012), quienes expresan, que otra consecuencia es la aparición de superbacterias.

De igual forma, un tipo de contaminantes emergentes son los fármacos, los cuales, presentan sustancias biológicamente activas en su composición, lo que ha ocasionado

que sean concurrentes en el agua y el medio ambiente desde que el hombre empezó a consumirlos en su beneficio (Peña & Castillo, 2015). Estos productos farmacéuticos son absorbidos y metabolizados ya sea total o parcialmente. No obstante, los residuos de los ingredientes activos y sus metabolitos se excretan en la orina y heces que llegan a sistemas de alcantarillado, también se debe su presencia a la eliminación inadecuada de productos caducados y no utilizados, por descargas de efluentes, granjas de animales especialmente de ganado, industria de la acuicultura, entre otras; siendo su destino final los cuerpos de agua (Calvo, García, & Dobado, 2018).

Según Voloshenko y colaboradores (2015), en su investigación concluyen que algunos contaminantes emergentes como venlafaxina, carbamazepina, sulfametoxazol y benzoilecgonina, sobrevivieron incluso al tratamiento de filtración en el sistema de agua potable de Esmeraldas, aunque todos excepto la benzoilecgonina se encuentran por debajo de 20 ng/L y por lo tanto no es probable que causen efectos adversos para la salud. Gracias a este proyecto se logró determinar que el consumo de la mayoría de estos medicamentos en la ciudad de Quito estuvo por debajo de su nivel de consumo promedio en Europa, Israel, y América del Norte.

La evaluación de la presencia de contaminantes emergentes en ríos, es importante porque este recurso hídrico se utiliza para diferentes actividades antrópicas, como, la agricultura, acuicultura y a la vez para su propio consumo, después de ser tratada. Esta investigación parte del proyecto de vinculación “Evaluación y Diseño del Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento de la Parroquia Angochagua, del cantón Ibarra”, en el cual, una de las recomendaciones es evaluar la calidad del agua del río Tahuando, tramo Olmedo – Ibarra. Además, en este estudio se busca conocer la existencia de dos contaminantes emergentes en específico que son la carbamazepina (CBZ) y diclofenaco (DCF), los cuales se definieron en el proyecto de investigación

“Determinación de concentraciones de contaminantes emergentes en los ríos San Pedro, Guayllabamba, Esmeraldas y Daule, y análisis de alternativas para tratamiento con nanopartículas” realizado a la par en los laboratorios del CENCINAT.

Planteamiento del Problema

Actualmente, en la Unión Europea se encuentran registradas alrededor de 100000 sustancias consideradas potencialmente peligrosas, al transcurrir el tiempo se van desarrollando nuevos compuestos igualmente preocupantes por sus posibles consecuencias en el medio ambiente . Los contaminantes emergentes son objeto de estudio, debido a su crecida producción y consumo, al no contar con la información necesaria sobre su presencia e impacto en el ecosistema, ya que no es necesario, que sean persistentes para originar efectos negativos (Alvárez, 2014). En la actualidad, se han desarrollado técnicas con sensibilidad mayor y límites detectables mínimos para corroborar la existencia de estos contaminantes en el orden de ng/L a µg/L, por lo que se sugiere que deben ser incluidos en los parámetros de monitorización de calidad del agua y regulados (Carbajo, 2013, citado en Oñate, 2018).

Los estudios realizados en América del Sur y Central sobre la contaminación de ríos y aguas superficiales por contaminantes emergentes es escaso, al igual que en el Ecuador. La investigación realizada por Voloshenko y colaboradores (2015) trato la mayor corriente de agua de la cuenca Esmeraldas en el Ecuador, para cuantificar los microcontaminantes orgánicos y para comparar la presencia de estos contaminantes en los desechos de Quito, con la abundancia de los mismos en Europa y América del Norte, las concentraciones que se han encontrado de CBZ, en este estudio están en un rango de 11,5 a 830 µg/L, en los puntos Esmeraldas b/t y Machángara N

respectivamente, por lo cual, se espera obtener concentraciones similares en el momento de realizar el estudio.

Según Deblonde y sus colaboradores (2013) y Michael y sus colaboradores (2013), las aguas residuales de los municipios son las principales fuentes que contienen productos farmacéuticos utilizados por el hombre, después llegan a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), al no biodegradarse fácilmente ingresan a aguas receptoras como contaminantes disueltos a través de los efluentes de las PTAR. En comparación con otros contaminantes en aguas residuales, los productos farmacéuticos son difíciles de tratar debido a su relativa solubilidad y alta movilidad en ambientes acuosos (Calvo, García, & Dobado, 2018).

El estudio de los contaminantes emergentes en el río Tahuando, tramo Olmedo - Ibarra, nos permitirá evaluar y cuantificar la presencia de los mismos y comprender de mejor manera el comportamiento que presentan a lo largo del río, para la investigación se analizarán dos fármacos, los cuales son la carbamazepina (CBZ) y el diclofenaco (DCF).

La carbamazepina, es uno de los medicamentos más utilizados para el tratamiento de la epilepsia, por sus propiedades como antiepiléptico y anticonvulsivo, también se lo utiliza en diversas aplicaciones psicoterapéuticas y para el tratamiento del consumo de alcohol en conjunto con otros medicamentos (Miao, 2003, citado en Mohapatra, Brar, Tyagi, Picard, & Surampalli, 2012). Según Martínez (2013), el fármaco carbamazepina es considerado un marcador de contaminación antropogénica, debido a la frecuencia con que ha sido detectado en el ambiente. La vida media de eliminación de este fármaco está en un rango de 25 - 65 horas (Mohapatra, Brar, Tyagi, Picard, & Surampalli, 2012). De igual modo, se califica como otro marcador al Diclofenaco

producto antiinflamatorio no esteroideo, que es consumido para el tratamiento de la artritis y dolores crónicos como lo expresa Jiménez (2017).

Justificación e importancia

El surgimiento de técnicas analíticas más sensibles se ha dado en la última década, lo que ha permitido comprobar la existencia y cuantificar diferentes compuestos como fármacos, hormonas y productos de cuidado personal en diferentes cuerpos de agua alrededor del mundo (Martínez, 2013). Una de estas técnicas es la cromatografía de alta eficiencia líquida (HPLC), que es la más utilizada para analizar los compuestos orgánicos individuales y las mezclas que pueden presentarse. Con el pasar del tiempo se han realizado mejoras para aumentar la sensibilidad, y así, poder detectar mínimas concentraciones de cualquier analito orgánico en muestras ambientales y biológicas (Sosa et al., 2013, citado en Calvo, García, & Dobado, 2018). Por medio de 3 modificaciones principales se ha logrado reducir el tiempo analítico sin perjudicar la resolución y la eficiencia de separación, los que son: uso de columnas monolíticas, cromatografía líquida a presiones ultra altas y a elevadas temperaturas (Calvo, García, & Dobado, 2018).

Los efectos adversos de fármacos perjudican a la vida acuática y humana. Por ejemplo, la toxicidad de la carbamazepina depende de la ingesta, si es una intoxicación leve puede causar vómito, somnolencia, dificultad para hablar y alucinaciones. Si la ingesta es mayor puede originar coma, convulsiones, problemas respiratorios, casos de depresión e hipotensión (Mohapatra, Brar, Tyagi, Picard, & Surampalli, 2012). Por medio de las aguas residuales, este compuesto y sus metabolitos llegan a los cuerpos de agua, siendo una gran amenaza para la biota, se ha encontrado la presencia de sus metabolitos principalmente en branquias y músculos de los peces (Valdés, Wunderlin,

Bistoni, Barceló, & Rodríguez, 2016). Al mismo tiempo, el diclofenaco es conocido por su toxicidad potencial hacia algunos organismos, como peces y mejillones, este compuesto puede interactuar con metales, contaminantes orgánicos y metabolitos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Uno de los casos más conocidos de toxicidad que produjo daños ecológicos fue el descenso de buitres debido al consumo de cadáveres que contenían residuos de diclofenaco (Lonappan, Brar, Das, Verma, & Surampalli, 2016).

Este proyecto de investigación sirve para obtener una base sobre los contaminantes emergentes y su presencia en el río Tahuando, tramo Olmedo - Ibarra, debido a que las poblaciones cercanas a este río lo utilizan en la agricultura y en la acuicultura, que con el pasar del tiempo, puede generar problemas en el entorno y en la salud humana.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la concentración de carbamazepina (CBZ) y diclofenaco (DCF) en el río Tahuando, tramo Olmedo - Ibarra, mediante métodos estándar para comprender de mejor manera el comportamiento de los mismos a lo largo del río.

Objetivos Específicos

- Definir y caracterizar el área de estudio.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos del agua en el río Tahuando, tramo Olmedo – Ibarra.
- Analizar el comportamiento de la concentración de carbamazepina (CBZ) y diclofenaco (DCF).

Hipótesis de Investigación

Existen concentraciones de contaminantes emergentes (carbamazepina y diclofenaco) en el río Tahuando, tramo Olmedo - Ibarra.

Capítulo II

Materiales y Métodos

Área de Estudio

Para definir y caracterizar el área de estudio, se realizó varias visitas de campo, en las cuales, se analizó los puntos más accesibles a lo largo del río Tahuando, tomando en cuenta cada una de las poblaciones aledañas a este recurso hídrico. Por medio, del GPS Mobile Mapper SPECTRA se obtuvo la coordenada de cada punto para mapearlos posteriormente.

Los muestreos realizados en los meses de agosto, octubre y diciembre del 2019, se los hizo en dos jornadas, matutina y vespertina. A su vez, se realizó un muestreo compuesto en el mes de febrero del 2020, para obtener mejores resultados en el análisis de contaminantes emergentes, con una duración de cinco horas, para obtener una muestra significativa. Se establecieron siete puntos a lo largo del tramo en estudio, lo que permitió caracterizar de una manera adecuada el río. La ubicación de estos puntos se detalla en la **Tabla 1**, Sistema WGS84, Proyección UTM, Zona 17S. A su vez, los análisis se realizaron principalmente en el Centro de Nanociencia y Nanotecnología (CENCINAT), y también se contó con ayuda de la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra (EMAPA-I). En la **Figura 1, Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6 y Figura 7** se pueden observar las fotografías de cada punto de muestreo.

Tabla 1*Puntos de Muestreo*

Punto	Lugar	Norte (m)	Este (m)
1	Olmedo/Pesillo	10017752,096	825253,680
2	Inicio Angochagua	10020725,705	823693,140
3	Guaraczapas	10025816,215	824947,718
4	Angochagua	10027302,862	823881,070
5	Romerillo Alto	10035582,229	822808,612
6	Antes PTAR Ibarra	10038768,512	821563,512
7	Después PTAR Ibarra	10039821,165	821100,132

Figura 1*Primer Punto, Olmedo/Pesillo***Figura 2***Segundo Punto, Inicio Angochagua*

Figura 3

Tercer Punto, Guaraczapas



Figura 4

Cuarto Punto, Angochagua



Figura 5

Quinto Punto, Romerillo Alto



Figura 6

Sexto Punto, Antes PTAR Ibarra

**Figura 7**

Séptimo Punto, Después PTAR Ibarra

**Parámetros Físico-químicos*****Parámetros In situ***

Los parámetros in situ que se midieron fueron Potencial de Hidrógeno (pH), Oxígeno Disuelto (OD), Conductividad Eléctrica, Temperatura. Para la medición de los mismos, se siguió de manera correcta los procedimientos detallados en los métodos 4500-H⁺ B, 4500 O-G, 2510 B, 2550 B respectivamente, del Standard Methods 18th Edition (1992).

Determinación DQO y DBO₅

La determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se realizó siguiendo paso a paso el método 5220 D. La Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días (DBO₅) se obtuvo por medio del equipo OxiTop, empleando la metodología establecida en el método 5210 B. Estos análisis también se realizaron en la EMAPA - I para obtener resultados con mayor confiabilidad.

Análisis de Metales Pesados

Para la evaluación de los metales pesados se utilizó el equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica AAnalysit 800 Atomic Absorption Spectrometer Pelkin Elmer y la metodología que expone el Standard Methods 18th Edition (1992), los metales que se determinaron fueron Cobre (Cu), Hierro (Fe), Zinc (Zn), Níquel (Ni), Cadmio (Cd), Plomo (Pb) con el método 3111-B. También se analizó Arsénico (As) adaptando al equipo con otro, llamado Flow Injection for Atomic Spectroscopy System (FIAS) aplicando el método 3114-C. Para cada uno de estos análisis se procedió a tomar el estándar de menor concentración como un check, para comprobar que el equipo este leyendo correctamente.

Análisis de Aniones

La determinación de Nitratos (NO_3^-), Nitritos (NO_2^-), Fosfatos (PO_4^{3-}), Sulfatos (SO_4^{2-}), se realizó por medio de cromatografía de iones, utilizando el equipo Dionex ICS-1100 Ion Chromatography System, aplicando el método 4110 C del Standard Methods 18th Edition (1992).

Análisis de SST, SDT y ST

El análisis de Sólidos Suspendidos Totales (SST) se llevó a cabo aplicando el método 2540 D del Standard Methods 18th Edition (1992); para Sólidos Totales (ST) se empleó la metodología detallada en el método 2540 C del mismo libro. Se calculó los Sólidos Disueltos totales (SDT) por medio de la **Fórmula 1**.

$$SDT = ST - SST$$

Fórmula 1

Figura 8

Filtros utilizados para SST



Figura 9

Cápsulas de porcelanato utilizadas para ST



Análisis de Carbamazepina y Diclofenaco

Curva de Calibración para lecturas de Carbamazepina y Diclofenaco

Para establecer la curva de calibración, se partió de una solución madre de 100 µg/L, para lo cual, se pesó 10 µg de cada estándar secundario Sigma Aldrich pureza 99,9% se colocó en un balón de 100 mL y se aforo con Metanol grado HPLC (Al-Hadithi, Saad, & Grote, 2011). Las concentraciones de los estándares para Carbamazepina y Diclofenaco fueron 0,5 µg/L, 1 µg/L, 2,5 µg/L, 5 µg/L, 7,5 µg/L, 10 µg/L, 20 µg/L, 30 µg/L, 40 µg/L y 50 µg/L se los elaboró a partir de la dilución de alícuotas de la solución madre.

Preparación de Muestras

Para leer las muestras en el HPLC, en primer lugar, se utilizó un volumen de 50 mL de la muestra y se ajustó su pH a 2 utilizando Ácido Clorhídrico (Al-Hadithi, Saad, & Grote, 2011). Se procedió a filtrar las muestras con un filtro de 0,45µm y a concentrarlas por medio del equipo Rotavapor Buchi R-210. Finalmente las muestras después de ser tratadas fueron filtradas con filtros 0,22 µm y colocadas en diferentes viales para la lectura en el HPLC. En la **Figura 10** se pueden observar los viales con las muestras listas para la lectura.

Figura 10

Muestras en viales



Lectura en el HPLC

Para el uso del equipo Dionex Ultimate 3000 UHPLC, previamente se debe realizar un lavado de la columna C18 Hypersil Gold de 150mm de longitud x 4,6 mm de diámetro, con un tamaño de partícula de 5µm; utilizando Etanol en un tiempo de 1 hora. Para la estabilidad de la línea base de cada contaminante emergente, es necesario pasar la fase móvil aproximadamente por 30 minutos. La fase móvil que se compone de Acetonitrilo y Fosfato de sodio monobásico 0,6 mM en relación 58:42 (Al-Hadithi, Saad, & Grote, 2011). El volumen inyectado de cada muestra es de 20 µL, después pasa cada una de ellas por un desgasificador y luego se transportan a la columna por medio de una bomba cuaternaria. Según la metodología establecida por Al-Hadithi, Saad & Grote (2011), la longitud de onda que se empleo fue de 225 nm, a un flujo de 1mL/min, a temperatura ambiente, con un tiempo de corrida de 12 minutos. El tiempo de retención de la Carbamazepina fue aproximadamente de 2 minutos y el de Diclofenaco aproximadamente de 4 minutos.

Capítulo III

Resultados y Discusión

Definición y Caracterización del Área de Estudio

El río objeto de investigación es el Tahuando, en el tramo Olmedo – Ibarra, dicho, tramo cuenta con una longitud de 30 kilómetros aproximadamente y el área de la subcuenca es alrededor de 349 km². Fue declarado Patrimonio Sagrado de los Pueblos Indígenas en el año (2017), ya que se lo considera, patrimonio ecológico, intangible, inalienable e indivisible de las comunidades del pueblo indígena, por lo que es importante conocer y mantener la calidad de este recurso hídrico.

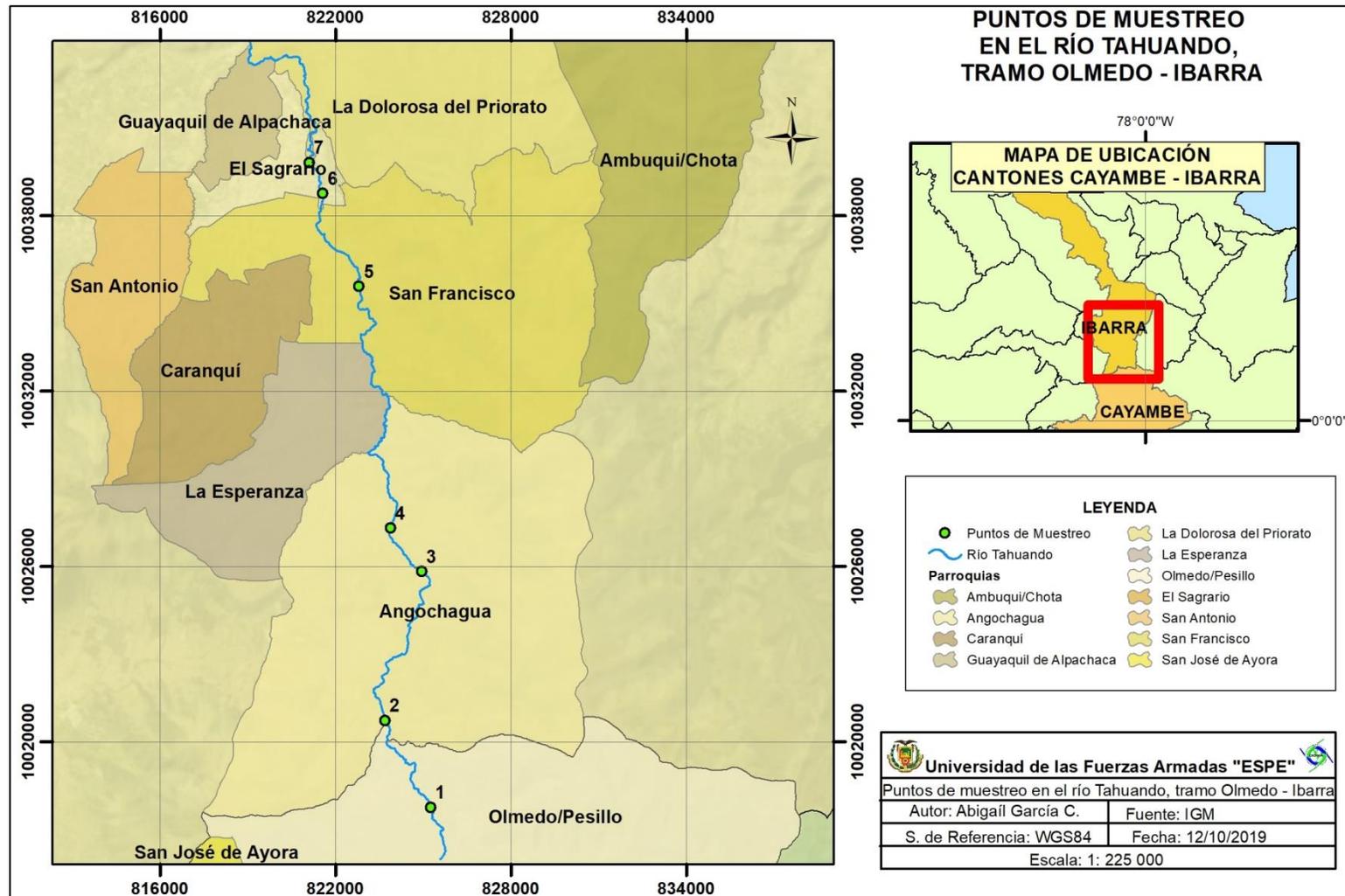
Se encuentra ubicado en las provincias de Pichincha e Imbabura, cantones Cayambe e Ibarra, atravesando tres parroquias rurales que son Olmedo (Pesillo) con 6772 habitantes, Angochagua con 3263 y La Esperanza con 7363. Y dos parroquias urbanas, San Francisco con una población de 2798 y El Sagrario con 3114 pobladores; estos datos demográficos corresponden al Censo realizado por el INEC 2010 (GAD Municipal de San Miguel de Ibarra, 2015).

El GAD de Ibarra (2015) expresa que, existen ciertos asentamientos ubicados en las riberas del río Tahuando, los cuales, son vulnerables a amenazas naturales y antrópicas, estos mismos, envían sus descargas residuales al río directamente sin ningún tratamiento causando la contaminación de este.

La distribución de los puntos de muestreo a lo largo del tramo en estudio, se pueden observar en la **Figura 11**.

Figura 11

Puntos de muestreo en el río Tahuando, tramo Olmedo – Ibarra



Parámetros Físico-químicos

Potencial de Hidrógeno

Los resultados que se obtuvieron del pH se observan en la **Tabla 2** junto al criterio de calidad admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces establecido en el TULSMA (2015). Las variaciones del pH se ven en la **Figura 12**.

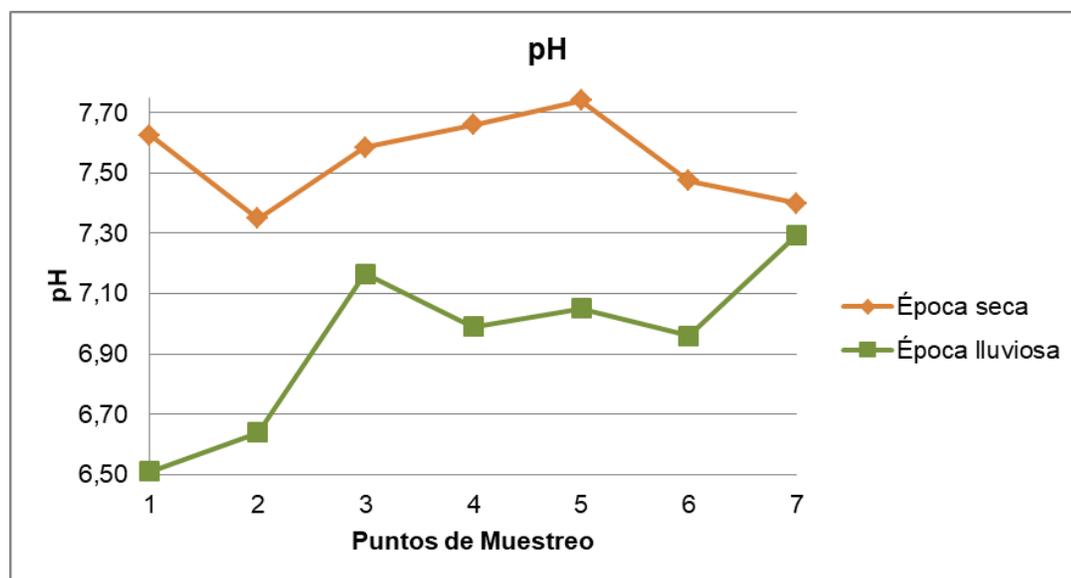
Tabla 2

Resultados pH

Punto	Época seca			Época lluviosa		
	Mañana	Tarde	Media	Mañana	Tarde	Media
1	7,77	7,48	7,63	6,57	6,45	6,51
2	7,47	7,23	7,35	6,72	6,56	6,64
3	7,70	7,47	7,59	6,88	7,45	7,17
4	7,54	7,78	7,66	6,95	7,03	6,99
5	7,23	8,25	7,74	6,62	7,48	7,05
6	7,12	7,83	7,48	6,72	7,20	6,96
7	7,33	7,47	7,40	7,44	7,15	7,30
Media	7,45	7,64	7,55	6,84	7,05	6,94
Criterio de Calidad Admisible				6,5 - 9		

Figura 12

Concentraciones pH



En época seca, un valor máximo de pH de 7,74 y un mínimo de 7,35 dando una media de 7,55. Y en época lluviosa, el pH máximo fue de 7,30, un valor medio de 6,94 y un mínimo de 6,51. Al comparar los resultados con el criterio de calidad admisible para pH de 6,5 – 9, se puede decir, que todos los valores se encuentran dentro de este rango.

Oxígeno Disuelto

En la **Tabla 3** se detallan los resultados de Oxígeno Disuelto con el criterio de calidad admisible establecido en el TULSMA (2015). Las concentraciones del Oxígeno Disuelto se ven en la **Figura 13**.

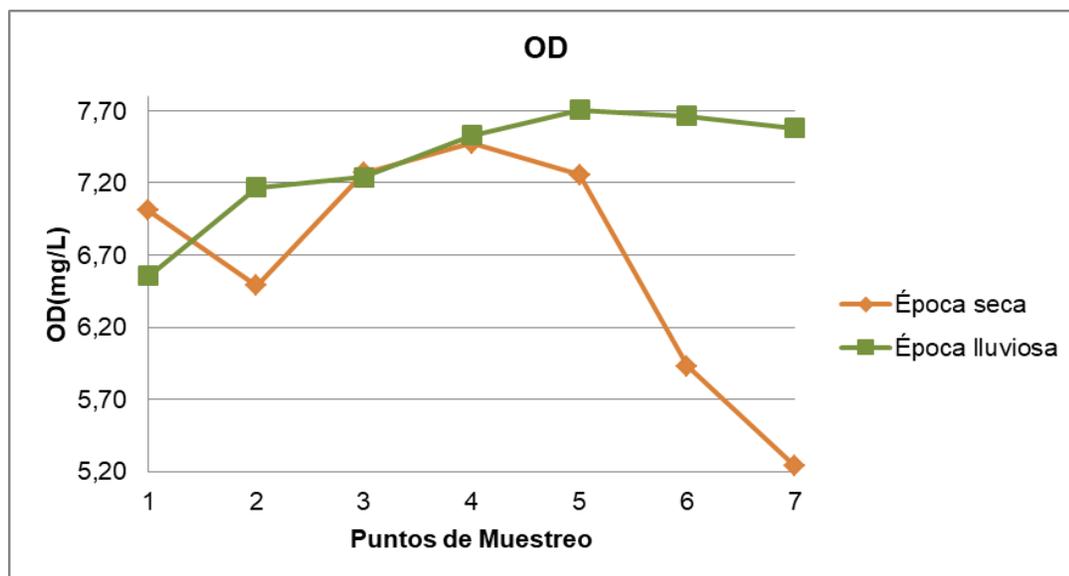
Tabla 3

Resultados Oxígeno Disuelto (mg/L)

Punto	Época seca			Época lluviosa		
	Mañana	Tarde	Media	Mañana	Tarde	Media
1	6,42	7,60	7,01	7,19	5,92	6,56
2	5,68	7,30	6,49	7,36	6,98	7,17
3	7,30	7,24	7,27	7,28	7,20	7,24
4	7,89	7,06	7,48	7,57	7,49	7,53
5	7,29	7,22	7,26	7,91	7,50	7,71
6	6,52	5,34	5,93	7,86	7,47	7,67
7	5,35	5,13	5,24	7,96	7,20	7,58
Media	6,64	6,70	6,67	7,59	7,11	7,35
Criterio de Calidad Admisible				> 6		

Figura 13

Concentraciones OD (mg/L)



El valor máximo es 7,48 mg/L, un valor medio de 6,67 mg/L y un valor mínimo de 5,24 mg/L en época seca. Y en época lluviosa, el valor máximo es 7,71 mg/L, una media de 7,35 mg/L y un mínimo de 6,56 mg/L. Los resultados obtenidos cumplen con el criterio de calidad admisible, excepto en el punto 7 en época seca, esto se puede asociar a que los microorganismos necesitan una mayor cantidad de OD para descomponer la materia orgánica presente por aguas residuales, ya que este punto se encuentra en la parte urbana.

Conductividad Eléctrica

Los resultados del parámetro in situ Conductividad Eléctrica se pueden ver en la **Tabla 4**. La norma vigente del Ecuador, no establece un límite máximo permisible para este parámetro por lo cual se utilizó la norma chilena. Se pueden ver las variaciones de este parámetro en la **Figura 14**.

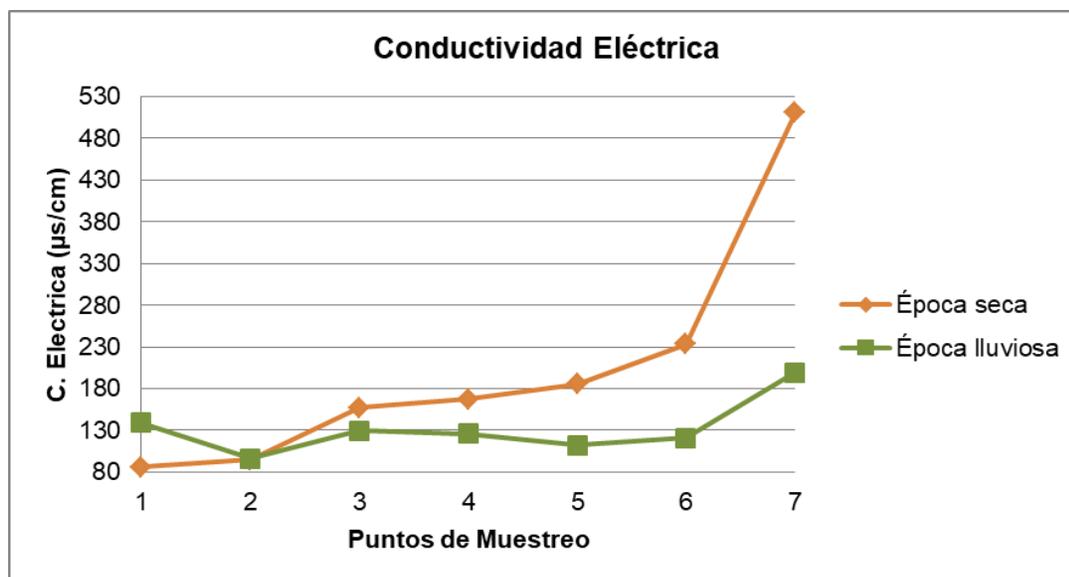
Tabla 4

Resultados Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)

Punto	Época seca			Época lluviosa		
	Mañana	Tarde	Media	Mañana	Tarde	Media
1	83,60	88,40	86,00	77,60	200,00	138,80
2	92,20	97,30	94,75	93,50	99,40	96,45
3	154,90	158,90	156,90	121,20	137,90	129,55
4	165,20	169,40	167,30	105,40	146,70	126,05
5	186,70	183,60	185,15	90,00	134,00	112,00
6	245,00	222,00	233,50	96,00	145,60	120,80
7	537,00	484,00	510,50	124,40	274,00	199,20
Media	209,23	200,51	204,87	101,16	162,51	131,84

Límite máximo permisible < 600 $\mu\text{S/cm}$

Figura 14

Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)

La conductividad eléctrica mínima que se determinó fue 86 $\mu\text{S/cm}$, máxima de 510,50 $\mu\text{S/cm}$ y una media de 204,87 $\mu\text{S/cm}$ en época seca. En época lluviosa, el valor mínimo fue 96,45 $\mu\text{S/cm}$, medio de 131,84 y un máximo de 199,20 $\mu\text{S/cm}$. De igual forma, la conductividad eléctrica está directamente relacionada a los sólidos disueltos

presentes en el agua (Aumassanne & Fontanella, 2015). El CONAMA (2005), establece un límite máximo permisible para aguas naturales que busca la conservación y protección de comunidades acuáticas, en el cual, la conductividad eléctrica debe ser $<600 \mu\text{S}/\text{cm}$ en clase de excepción, lo que quiere decir, que es adecuada para la conservación del ecosistema acuático. Al comparar los resultados obtenidos con la normativa chilena, la conductividad eléctrica medida en todos los puntos cumplen con el límite máximo permisible. A pesar de ello, la diferencia de conductividad del punto 1 en época seca y el punto 7 es $424,50 \mu\text{S}/\text{cm}$ en época seca, una de las causas que pueden influir es un aumento de temperatura de $4,85 \text{ }^\circ\text{C}$ entre estos puntos. Según Abarca (2007), la conductividad eléctrica incrementa de 2 a 3% por cada $^\circ\text{C}$ en aumento y también puede ser debido a que el contenido de sólidos disueltos totales es mayor en el último punto.

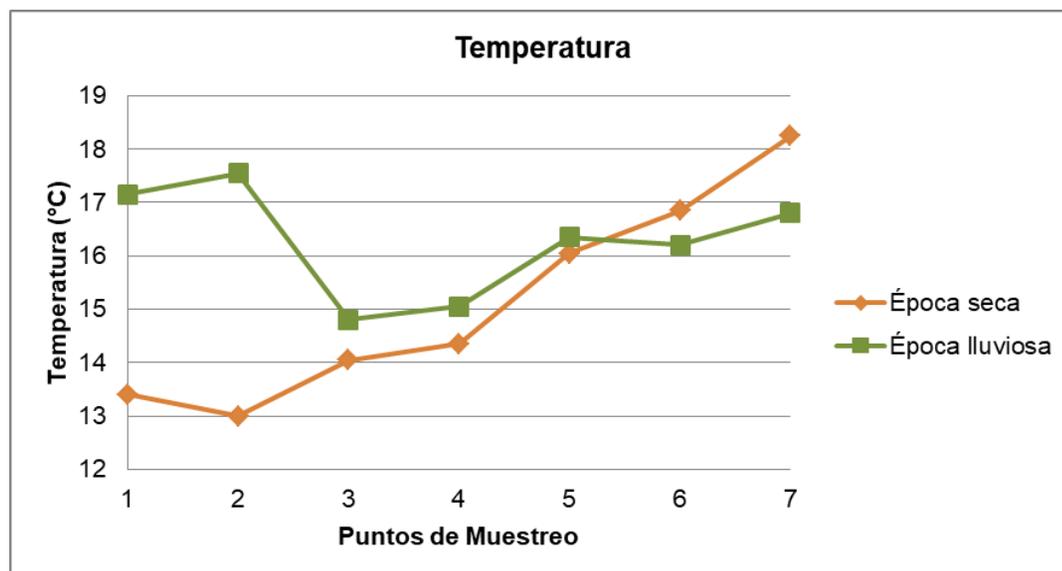
Temperatura

Los resultados que se obtuvieron de temperatura se enumeran en la **Tabla 5**, así como el criterio de calidad permisible que se establece en el TULSMA (2015). La temperatura a lo largo del río tiene variaciones que se expresan en la **Figura 15**.

Tabla 5

Resultados de Temperatura ($^\circ\text{C}$)

Punto	Época seca			Época lluviosa		
	Mañana	Tarde	Media	Mañana	Tarde	Media
1	11,70	15,10	13,40	16,10	18,20	17,15
2	12,70	13,30	13,00	18,40	16,70	17,55
3	13,40	14,70	14,05	15,80	13,80	14,80
4	13,50	15,20	14,35	15,70	14,40	15,05
5	14,60	17,50	16,05	16,90	15,80	16,35
6	15,50	18,20	16,85	16,00	16,40	16,20
7	17,40	19,10	18,25	16,10	17,50	16,80
Media	14,11	16,16	15,14	16,43	16,11	16,27
Criterio de Calidad Admisible < 20						

Figura 15*Temperatura (°C)*

El valor mínimo fue 13 °C, medio 15,14°C y un máximo de 18,25 °C en época seca. La media de la temperatura en época lluviosa es de 16,27°C, una mínima de 14,80 y máxima de 17,55 °C. Al analizar los datos, se deduce que todos los valores cumplen con el criterio de calidad.

Demanda Química de Oxígeno

Los resultados del análisis de DQO y el criterio de calidad admisible extraído del TULSMA (2015), se observan en la **Tabla 6**. En la **Figura 16**, se puede diferenciar las concentraciones de DQO (mg/L) en época seca y lluviosa que se presentaron en cada uno de los puntos.

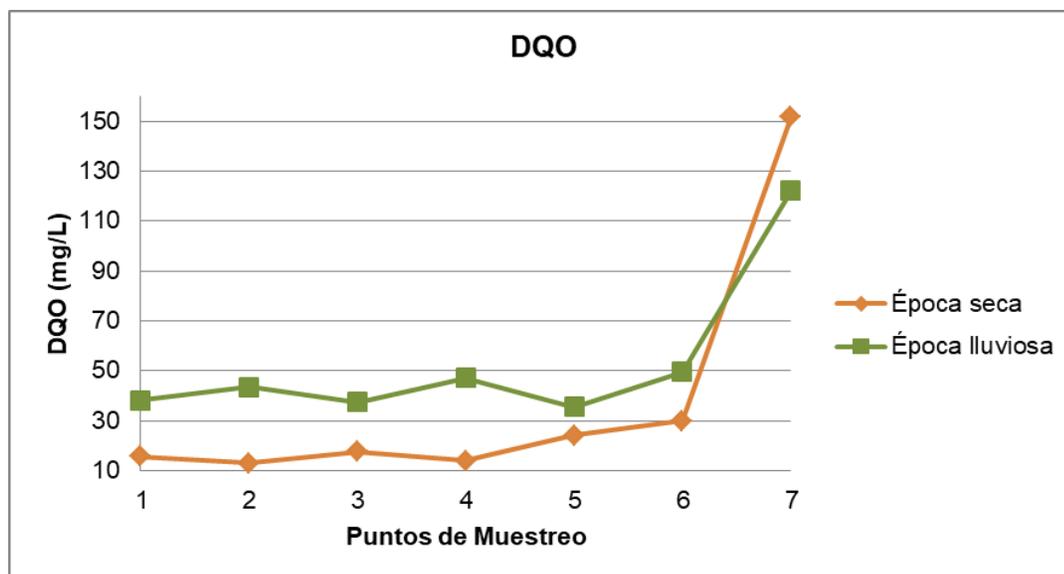
Tabla 6

Resultados DQO (mg/L)

Punto	Época seca			Época lluviosa		
	Mañana	Tarde	Media	Mañana	Tarde	Media
1	11,00	20,00	15,50	41,00	35,00	38,00
2	16,00	10,00	13,00	74,00	13,00	43,50
3	14,00	21,00	17,50	71,00	4,00	37,50
4	5,00	23,00	14,00	74,00	20,00	47,00
5	20,00	28,00	24,00	60,00	11,00	35,50
6	38,00	22,00	30,00	79,00	20,00	49,50
7	224,00	79,00	151,50	159,00	85,00	122,00
Media	46,86	29,00	37,93	79,71	26,86	53,29
Criterio de Calidad Admisible 40						

Figura 16

Concentraciones DQO (mg/L)



El valor mínimo de DQO fue 13 mg/L, el valor medio 37,93 mg/L y el valor máximo 151,5 mg/L para la primera época. Mientras, que los resultados de la DQO en la época lluviosa fueron mínima de 38 mg/L, media de 53,29 mg/L y máxima de 122 mg/L. Al contrastar los resultados con el criterio de calidad admisible de 40 mg/L, se evidencia

que el valor máximo en época seca sobre pasa este criterio ubicado en el punto 7, esto se debe a que existe un mayor número de descargas residuales. El valor medio y máximo de la época lluviosa también sobrepasan este criterio, esto se puede deber a las condiciones naturales que se presentaron el momento de realizar el muestreo.

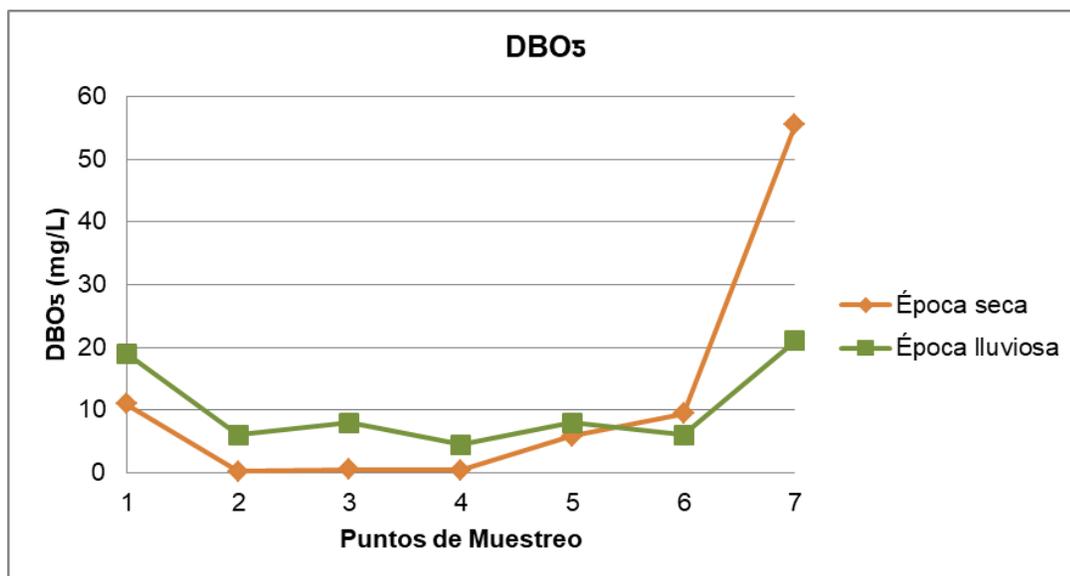
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días

El parámetro DBO₅ se determinó para las dos épocas en estudio, se detallan los valores obtenidos en la **Tabla 7** y el criterio de calidad admisible establecido por norma vigente. Algunas concentraciones de DBO₅ fueron menores al límite de detección del equipo. La concentración media de DBO₅ que se encontró a lo largo de los 7 puntos fue representada en la **Figura 17**.

Tabla 7

Resultados DBO₅ (mg/L)

Punto	Época seca			Época lluviosa		
	Mañana	Tarde	Media	Mañana	Tarde	Media
1	< L.D.	11,00	11,00	12,00	26,00	19,00
2	0,20	< L.D.	0,20	6,00	< L.D.	6,00
3	< L.D.	0,50	0,50	8,00	< L.D.	8,00
4	< L.D.	0,40	0,40	6,00	3,00	4,50
5	11,00	0,70	5,85	8,00	< L.D.	8,00
6	18,00	0,90	9,45	8,00	4,00	6,00
7	80,00	31,00	55,50	20,00	22,00	21,00
Media	27,30	7,42	11,84	9,71	13,75	10,36
Criterio de Calidad Admisible 20						

Figura 17Concentraciones DBO₅ (mg/L)

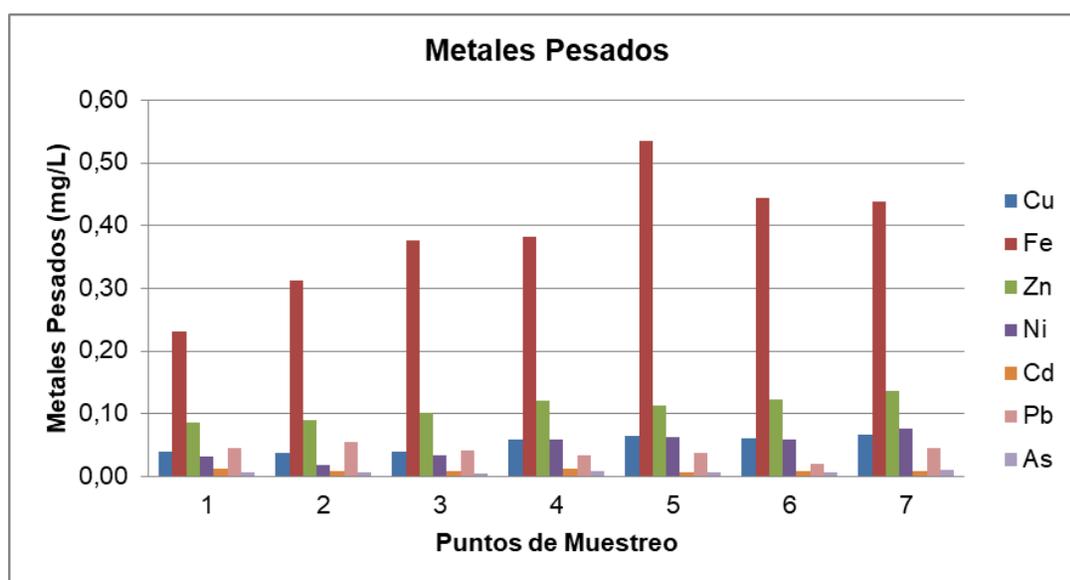
En la época seca, la concentración mínima fue de 0,20 mg/L en el punto 2 y la máxima en el último punto de 55,50 mg/L, con una media de 11,84 mg/L. En la época lluviosa, se obtuvo una media de 10,36 mg/L, un mínimo de 4,50 mg/L y un máximo de 21 mg/L. Se puede ver que los valores del punto 7 en las dos épocas sobrepasan al criterio de calidad permisible, esto se puede relacionar a que este punto estaba ubicado dentro de la zona urbana en donde existen descargas residuales.

Metales Pesados

Los metales que se analizaron fueron Cu, Fe, Zn, Ni, Cd, y As, los cuales, se pueden observar en la **Tabla 8** con el criterio de calidad admisible para cada uno de ellos, tomado del TULSMA (2015). Las concentraciones de metales pesados en la época lluviosa fueron menores al límite de detección del equipo, por lo que, se presentan solo datos de la época seca. Los resultados obtenidos se pueden ver en la **Figura 18**.

Tabla 8*Resultados de Metales Pesados (mg/L)*

Punto	Cu	Fe	Zn	Ni	Cd	Pb	As
1	0,040	0,231	0,086	0,032	0,012	0,045	0,006
2	0,037	0,312	0,090	0,019	0,009	0,054	0,006
3	0,039	0,377	0,101	0,034	0,008	0,042	0,005
4	0,059	0,382	0,122	0,059	0,013	0,033	0,007
5	0,064	0,535	0,112	0,064	0,007	0,037	0,006
6	0,060	0,445	0,122	0,059	0,008	0,020	0,006
7	0,067	0,439	0,136	0,077	0,008	0,045	0,009
Media	0,052	0,388	0,110	0,049	0,009	0,039	0,007
C. Calidad	0,005	0,300	0,030	0,025	0,001	0,001	0,050

Figura 18*Concentraciones Metales Pesados (mg/L)*

Al comparar cada uno de los metales con su criterio de calidad admisible, se observa que el As cumple con el criterio para la preservación de la vida acuática en aguas dulces. Sin embargo, el Cu excedió con 0,047 mg/L del criterio de calidad permisible, su presencia en cuerpos acuáticos se puede deber al uso de productos en la agricultura que lo contienen, después de su utilización llegan a las aguas del río (Herrera,

Rodríguez, Coto, Salgado, & Borbón, 2013), este metal en altas concentraciones puede afectar a los peces causándoles lesiones morfológicas en sus órganos sensoriales (Huaranga, Méndez, Quilcat, & Huaranga, 2012). De igual forma, se ha encontrado un exceso de 0,088 mg/L de Fe del criterio que establece la normativa, su presencia en su agua se puede deber a un efecto de la lixiviación del suelo, la concentración de este metal aumenta proporcionalmente al contenido de materia orgánica, lo que genera asociaciones entre ellos y su eliminación es problemática (Valencia, 2011). Otro de los metales pesados en exceso es el Zn con 0,080 mg/L respecto a la norma vigente, su existencia en el río se debe al agua de riego que llega al mismo, en la cual, se encuentran plaguicidas y fertilizantes (Herrera, Rodríguez, Coto, Salgado, & Borbón, 2013). El Ni supera con 0,024 mg/L al criterio de calidad, este metal pesado puede encontrarse en los cuerpos de agua por meteorización de rocas o suelo (Rodríguez, 2013, citado en Cerón, 2015). Igualmente, el Cd sobrepasa la norma por 0,008 mg/L, puede llegar a este ecosistema acuático por encontrarse en fertilizantes y a su vez, por aguas negras utilizadas en sembradíos (Nava y otros, 2011, citado en Cerón, 2015). Por último, el Pb excedió con 0,038 mg/L de la normativa establecida, la fuente de este metal puede ser la composición geológica del terreno (Hernández, Gutiérrez, Jiménez, Guervós, & Manzano, 1998) o su presencia en descargas residuales, este metal se acumula especialmente en músculos e hígado de peces, también se biomagnifica en la cadena trófica (Duffus, 1983, citado en Huaranga, Méndez, Quilcat, & Huaranga, 2012).

Aniones

Los valores de aniones que se obtuvieron para Nitratos, Nitritos, Fosfatos y Sulfatos se detallan en la **Tabla 9** para la época seca y época lluviosa respectivamente; también se encuentra los criterios de calidad para Nitratos y Nitritos para la preservación de la

vida acuática en agua dulce establecidos en el TULSMA (2015). Sin embargo, no existe un criterio de calidad admisible para fosfatos y sulfatos. En la **Figura 19**, se pueden observar las concentraciones.

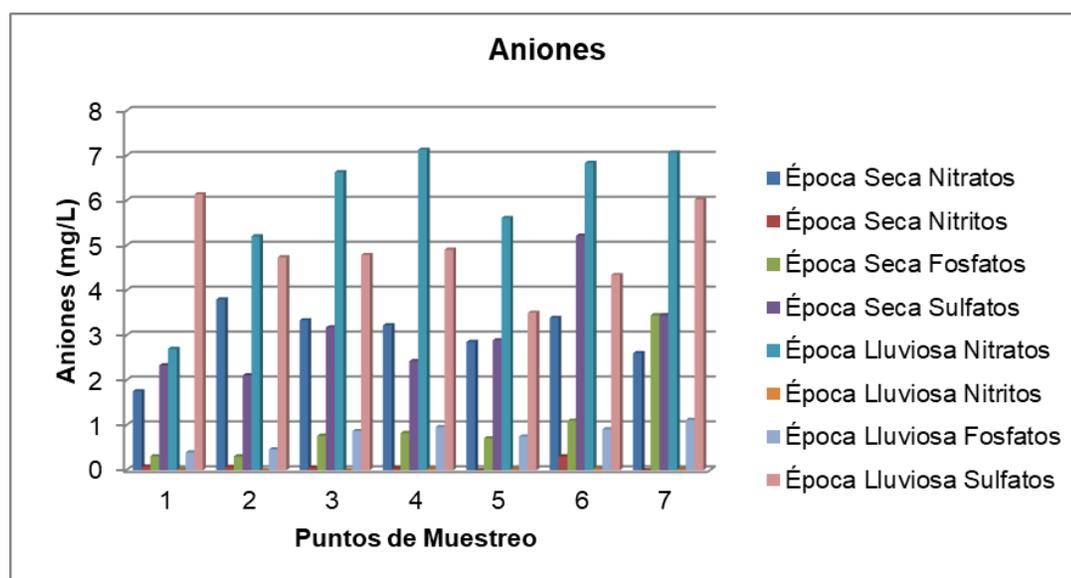
Tabla 9

Resultados Aniones (mg/L)

Punto	Época Seca				Época Lluviosa			
	Nitratos	Nitritos	Fosfatos	Sulfatos	Nitratos	Nitritos	Fosfatos	Sulfatos
1	1,76	0,08	0,31	2,33	2,70	0,01	0,40	6,14
2	3,80	0,07	0,31	2,11	5,21	< L.D.	0,46	4,74
3	3,34	0,05	0,77	3,18	6,64	< L.D.	0,87	4,79
4	3,22	0,04	0,83	2,43	7,14	0,03	0,96	4,91
5	2,85	< L.D.	0,71	2,89	5,62	0,02	0,75	3,51
6	3,39	0,31	1,10	5,22	6,84	0,03	0,91	4,34
7	2,60	< L.D.	3,45	3,45	7,08	0,02	1,12	6,03
Media	3,00	0,11	1,07	3,09	5,89	0,02	0,78	4,92
C. Calidad	13,00	0,20	-	-	13,00	0,20	-	-

Figura 19

Concentraciones Aniones (mg/L)



En la época seca, se tiene una media total de Nitratos de 3,00 mg/L, Nitritos 0,11 mg/L, Fosfatos 1,07 mg/L y Sulfatos 3,03 mg/L. En la época lluviosa, las concentraciones medias que se tienen son 5,89 mg/L de Nitratos, 0,02 mg/L de Nitritos, 4,92 de Sulfatos y 0,78 mg/L de Fosfatos. Los parámetros Nitratos y Nitritos se compararon con los criterios de calidad admisible, los cuales, cumplen con la normativa.

SST, SDT y ST

Los resultados obtenidos para SST, SDT y ST se muestran en la **Tabla 10** para las dos épocas ya mencionadas. También se pueden observar los criterios de calidad admisibles para SST y ST que se obtuvo del TULSMA (2015). En la **Figura 20** se pueden observar las medias de cada parámetro para la época seca y lluviosa.

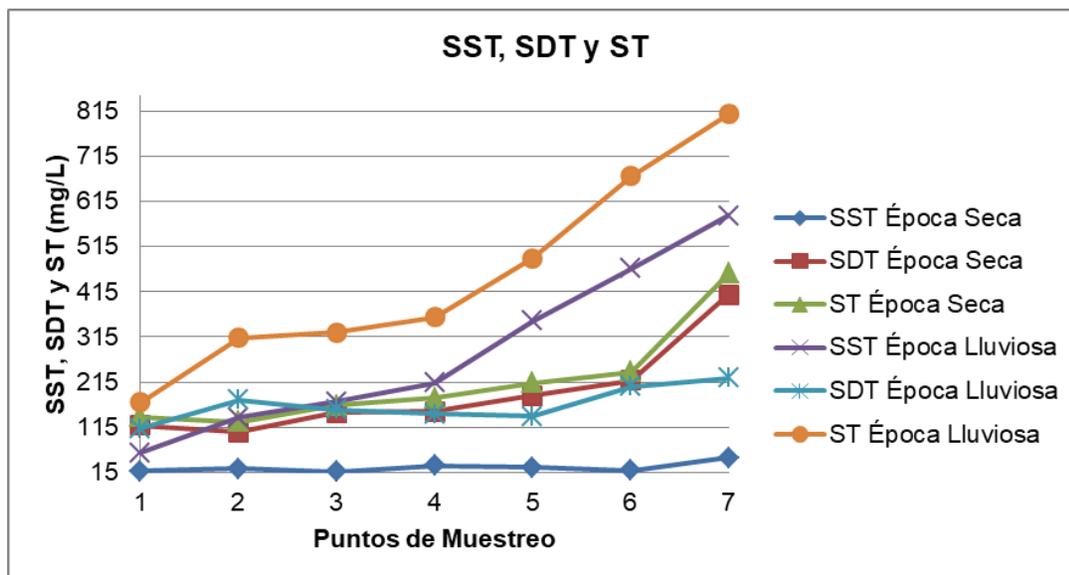
Tabla 10

Resultados SST, SDT y ST (mg/L)

Punto	Época Seca			Época Lluviosa		
	SST	SDT	ST	SST	SDT	ST
1	17,75	119,50	137,25	58,25	112,50	170,75
2	23,00	104,00	127,00	136,75	175,75	312,50
3	16,00	147,25	163,25	171,50	153,50	325,00
4	30,00	149,50	179,50	213,25	145,00	358,25
5	25,75	185,00	213,75	351,25	138,75	490,00
6	19,00	218,00	237,00	466,50	205,25	671,75
7	47,75	408,25	456,00	584,00	224,25	808,25
Media	25,61	190,21	216,25	283,07	165,00	448,07
C. Calidad	100	-	1600	100	-	1600

Figura 20

Variaciones SST, SDT y ST (mg/L)

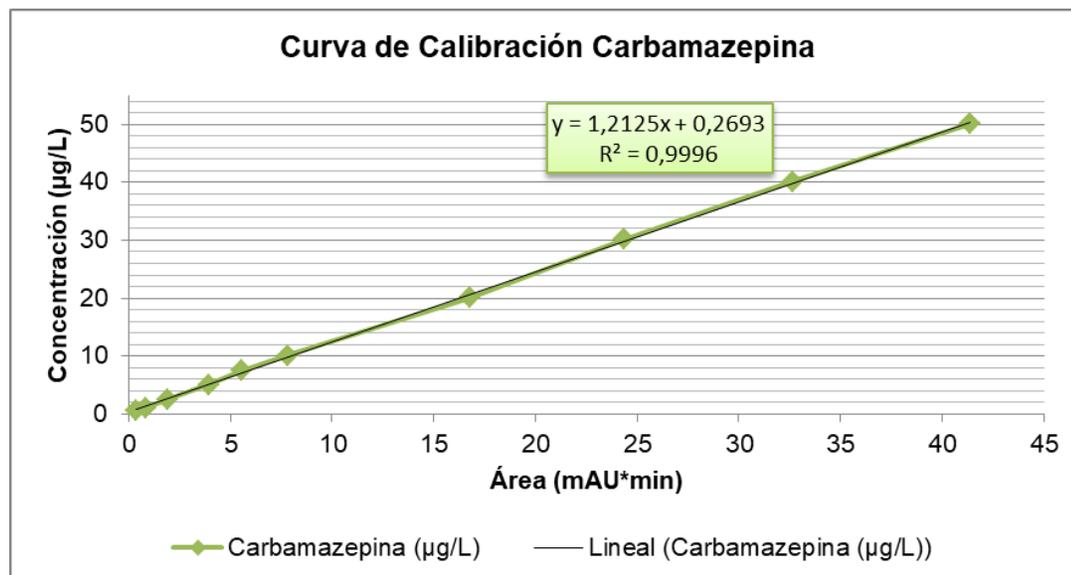


En la época seca se tuvo una media de SST de 25,61 mg/L, SDT de 190,21 mg/L y de ST 216,25 mg/L. En la época lluviosa los SST fueron de 283,07 mg/L, SDT de 165 mg/L y ST de 448,07 mg/L. Al comparar las variaciones de SST y ST con los criterios de calidad admisibles, se puede observar que todos estos parámetros están dentro del rango en la época seca. Por otro lado, los SST superan el límite establecido en la época lluviosa, esto se puede deber a que el río arrastro una mayor cantidad de sedimentos, por las condiciones naturales que se presentaron en el momento de realizar el muestreo.

Carbamazepina

Curva de Calibración Carbamazepina

Para la determinación de la CBZ se procedió a la elaboración de la curva de calibración con los estándares, se puede observar la curva establecida en la **Figura 21**.

Figura 21*Curva de Calibración Carbamazepina***Resultados Carbamazepina**

En la **Tabla 11** se detallan las concentraciones que se obtuvieron en el muestreo compuesto realizado en Febrero 2020 del fármaco Carbamazepina.

Tabla 11*Resultados de Carbamazepina (µg/L)*

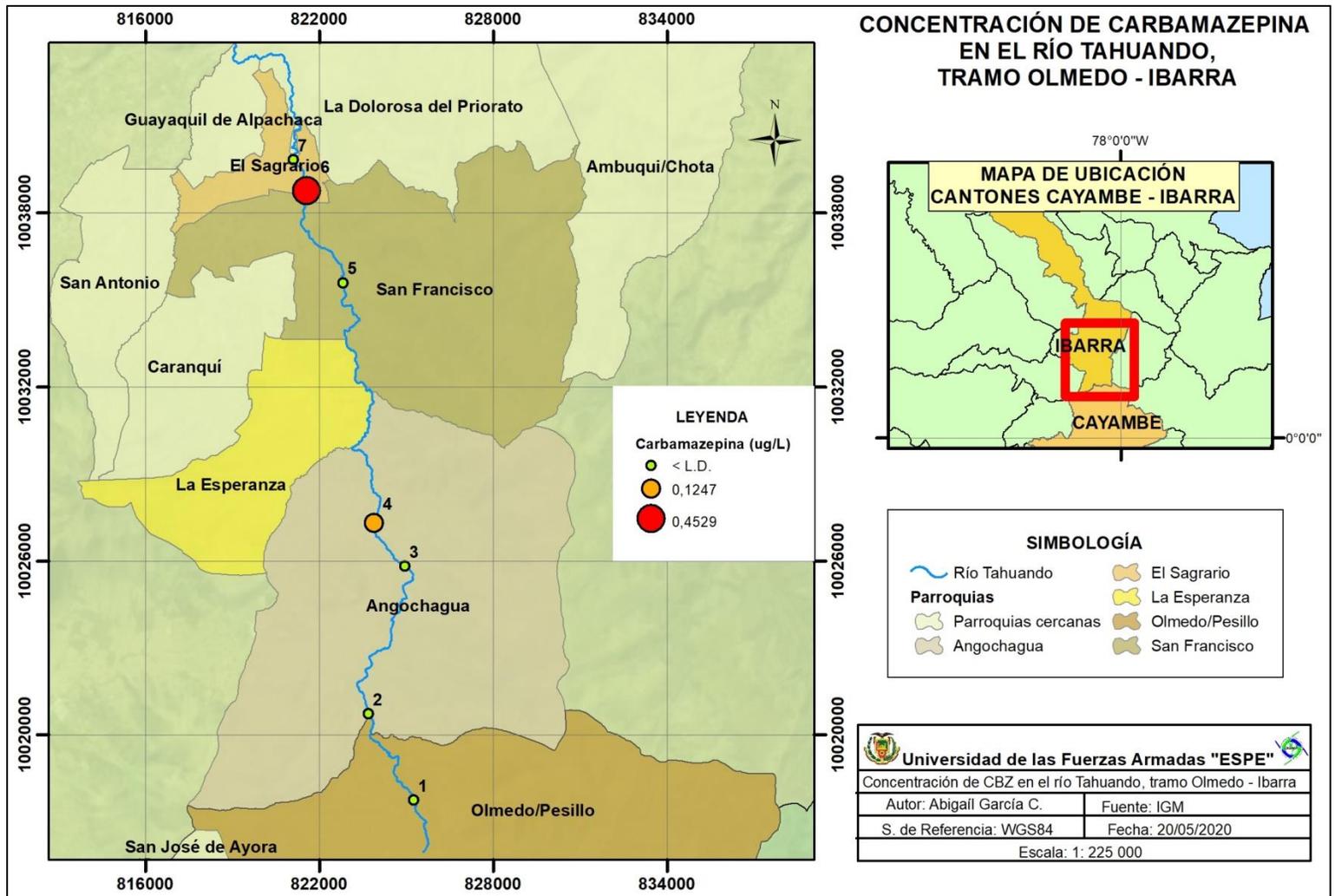
Punto	Carbamazepina
1	< L.D.
2	< L.D.
3	< L.D.
4	0,1247
5	< L.D.
6	0,4529
7	< L.D.

En el punto 1, 2, 3, 4 y 5 las concentraciones de Carbamazepina fueron menores al límite de detección. Sin embargo, se obtuvieron concentraciones puntuales, en el punto 4 al finalizar Angochagua, se encontró una concentración de 0,1247 µg/L y en el punto 6

antes de la PTAR una concentración de 0,4529 µg/L. Al comparar, los resultados obtenidos con los de Voloshenko y sus colaboradores (2015), los cuales, tuvieron concentraciones desde 11,5 a 830 µg/L en diferentes puntos tomados en los ríos San Pedro, Guayllabamba y Esmeraldas, se determina que las concentraciones en el río Tahuando, tramo Olmedo- Ibarra son menores a los valores que se encontraron en el estudio mencionado. La presencia de este fármaco en el río demuestra que existen descargas residuales de las poblaciones aledañas al mismo, ya que se considera un marcador antropogénico y debido a su persistencia en aguas superficiales de aproximadamente 100 días (Clara et al., 2004, Gagne et al., 2006, citado en Malarvizhi, Kavitha, Saravanan, & Ramesh, 2012). En la investigación realizada por Ferrari y otros (2003), se estableció una concentración prevista sin efecto (PNEC) de 0,42 µg/L, lo que indica que valores iguales o menores no causan efectos tóxicos crónicos a los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, Santos y otros (2010), expresan que este fármaco se puede adherir a los sedimentos presentes en los cuerpos de agua, lo que causa una amenaza para los organismos acuáticos que consumen materia orgánica para su subsistencia. A su vez, estos investigadores citan a Lüring y otros (2006), que señalan que la pulga de agua o *Daphnia pulex*, expuesta a una concentración de 1 µg/L de este microcontaminante experimento efectos estimulantes, madurando y reproduciéndose en menor tiempo. Las concentraciones a lo largo del río, se pueden observar en la **Figura 22**.

Figura 22

Concentraciones de CBZ ($\mu\text{g/L}$) a lo largo del tramo Olmedo – Ibarra



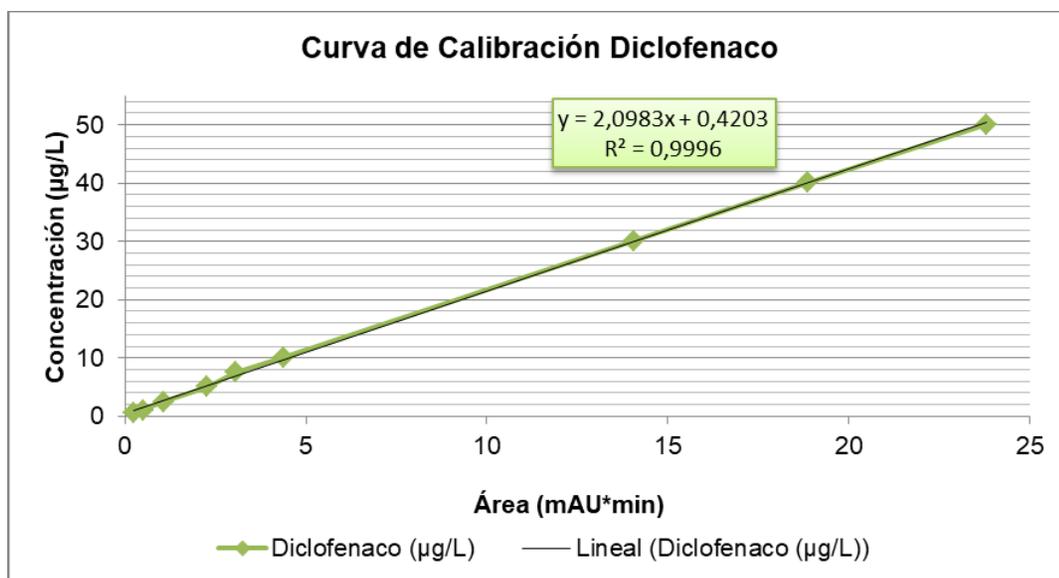
Diclofenaco

Curva de Calibración Diclofenaco

Para el análisis del DCF se realizó la curva de calibración con los estándares, la cual, se puede ver en la **Figura 23**.

Figura 23

Curva de Calibración Diclofenaco



Resultados Diclofenaco

Al realizar el análisis del fármaco Diclofenaco del muestreo compuesto de Febrero del 2020, las concentraciones que se obtuvieron se detallan en la **Tabla 12** en µg/L.

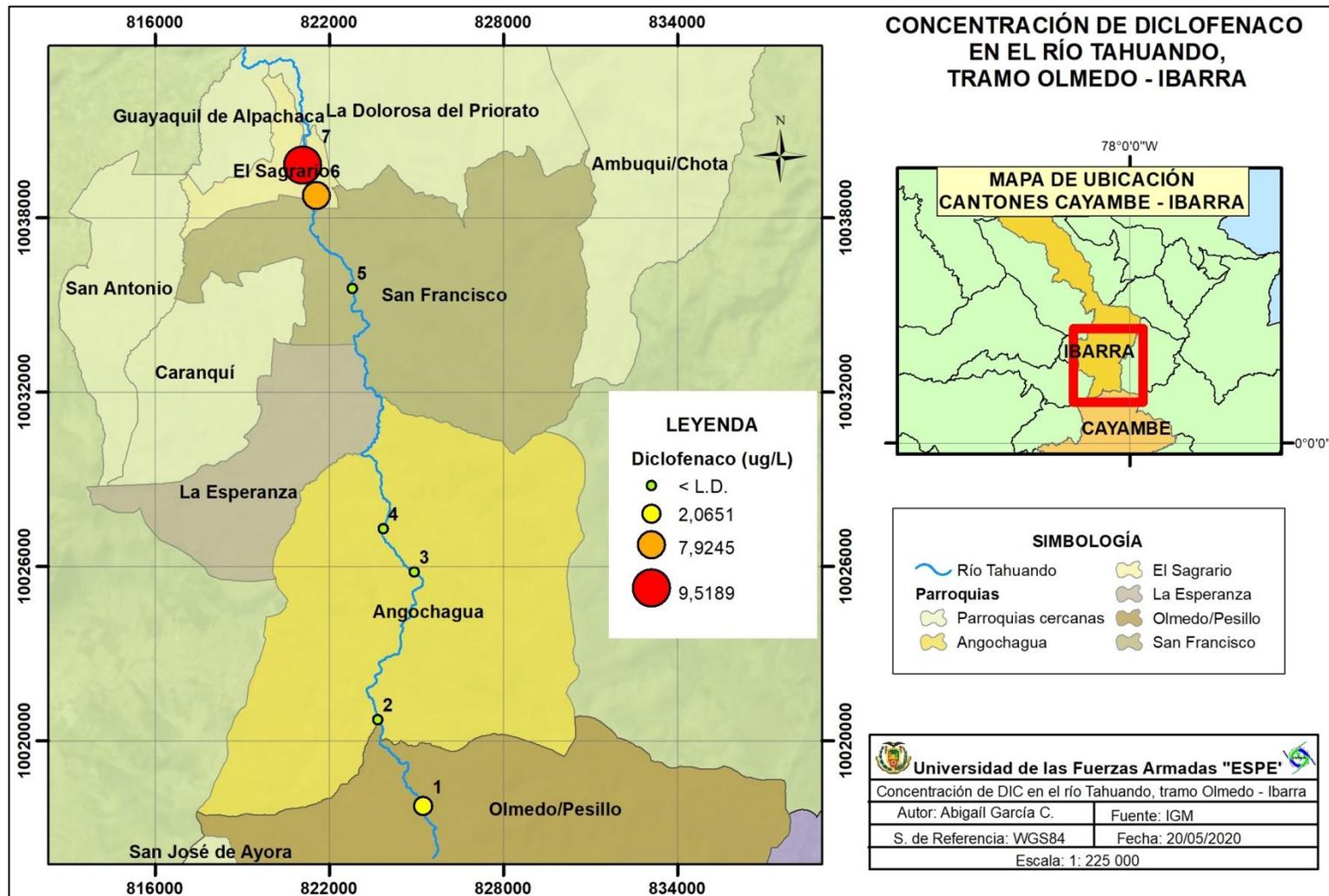
Tabla 12*Resultados de Diclofenaco ($\mu\text{g/L}$)*

Punto	Diclofenaco
1	2,0651
2	< L.D.
3	< L.D.
4	< L.D.
5	< L.D.
6	7,9245
7	9,5189

En el punto 1 Olmedo/Pesillo se encontró una concentración de 2,0651 $\mu\text{g/L}$ de Diclofenaco, en el punto 6 antes de la PTAR se obtuvo 7,9245 $\mu\text{g/L}$ y en el punto 7 después de la PTAR 9,5189 $\mu\text{g/L}$. En los puntos 2, 3, 4 y 5 las concentraciones fueron menores al límite de detección. En una investigación realizada por Varo y otros (2016) en la ciudad de Alicante, España, se encontraron concentraciones < 20, 59 y 709 ng/L en los ríos Vinalopó, Segura y Serpis respectivamente. Siendo estas concentraciones inferiores a las determinadas en el río Tahuando tramo Olmedo – Ibarra, se puede asociar su presencia a su uso en la ganadería presente en la zona de estudio y a las descargas residuales de las poblaciones aledañas al río. Santos y otros (2010), realizaron ensayos sobre la toxicidad en la trucha arcoíris, en las cuales, al exponerlas a una concentración de 1 $\mu\text{g/L}$ se evidenció cambios citológicos en el hígado, branquias y riñones y en concentraciones de 5 $\mu\text{g/L}$ se presentaron lesiones renales. De tal forma, se puede decir que las concentraciones encontradas pueden causar toxicidad crónica en organismos acuáticos. También se han producido efectos colaterales en los seres humanos, afectando principalmente al hígado, con alteraciones degenerativas e inflamatorias en el tracto gastrointestinal inferior y en el esófago (Álvarez, 2014; Henríquez, 2012, citado en Jiménez, 2017). Las concentraciones que se encontraron en este tramo, se pueden ver en la **Figura 24**.

Figura 24

Concentraciones de DCF ($\mu\text{g/L}$) a lo largo del tramo Olmedo – Ibarra



Capítulo IV

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- El río Tahuando, tramo Olmedo – Ibarra, cuenta con una longitud aproximadamente de 30 Km y el área de la subcuenca es alrededor de 349 km². Este río, traspasa cinco parroquias Olmedo, Angochagua, La Esperanza, San Francisco y El Sagrario que cuenta con una población total de 23310 habitantes. El agua del río es empleada en actividades como la agricultura, acuicultura o en diferentes actividades recreativas.
- Los parámetros físico-químicos analizados que cumplen con los criterios admisibles son: pH 7,55 en época seca y 6,94 en época lluviosa, O.D. 6,67 mg/L en época seca y 7,35 mg/L en época lluviosa, Temperatura 15,14°C época seca y 16,27°C época lluviosa, DQO 37,93 mg/L en época seca, DBO₅ 11,84 mg/L en época seca y 10,36 mg/L en época lluviosa, As 0,007 mg/L en época seca, Nitratos 3,00 mg/L en época seca y 5,89 mg/L en época lluviosa, Nitritos 0,11 mg/L en época seca y 0,02 mg/L en época lluviosa, SST 25,61 mg/L en época seca, ST 216,25 mg/L en época seca y 448,07 mg/L en época lluviosa. Sin embargo, los parámetros DQO 53,29 mg/L en época lluviosa, Cu 0,052 mg/L en época seca, Fe 0,388 mg/L en época seca, Zn 0,110 mg/L en época seca, Ni 0,049 mg/L en época seca, Cd 4,137 mg/L en época seca, Pb 0,039 mg/L y SST 283,07 mg/L en época lluviosa, sobrepasan los criterios que nos establece la norma vigente. Por último, se obtuvo una CE de 204,87 μ S/cm en época seca y 131,84 μ S/cm en época lluviosa que cumple con el límite máximo permisible para aguas naturales que busca la conservación y protección de comunidades acuáticas establecido por la normativa chilena.

- En Carbamazepina se determinó, en el punto 4 una concentración de 0,1247 µg/L y en el penúltimo punto una concentración de 0,4529 µg/L, la presencia de este contaminante emergente es un marcador de contaminación antropogénica. De igual forma, se obtuvieron concentraciones de 2,0651 µg/L en el punto 1, 7,9245 µg/L en el punto 6 y 9,5189 µg/L en el último punto de Diclofenaco, su presencia se debe a su uso en la veterinaria y a las descargas residuales de las poblaciones cercanas a este cuerpo de agua.

Recomendaciones

- Se debe asegurar la calidad del agua del río Tahuando, tramo Olmedo – Ibarra, para el uso de las diferentes actividades de los habitantes de las cinco parroquias que traspasa este río, realizando análisis físico - químicos del agua mensualmente e involucrando a la población en su cuidado.
- Se sugiere realizar un estudio más extenso sobre la presencia de metales pesados en el río Tahuando, tramo Olmedo – Ibarra, con el fin, de tomar las medidas necesarias para la disminución de los mismos. A su vez, realizar un control sobre las descargas que existen después de la PTAR, debido a las concentraciones que se encontraron en los diferentes parámetros analizados en el punto 7.
- Se recomienda considerar los datos obtenidos sobre Carbamazepina y Diclofenaco como un punto de partida para una investigación a mayor profundidad sobre la presencia de estos contaminantes emergentes en el río Tahuando, tramo Olmedo – Ibarra, los muestreos deben ser realizados especialmente en época seca para evitar el efecto de dilución.

Capítulo V

Bibliografía

- Abarca, F. (2007). Técnicas para la evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. En Ó. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Márquez, & L. Zambrano, *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (págs. 113-144). Instituto Nacional de Ecología.
- Al-Hadithi, N., Saad, B., & Grote, M. (2011). A solid bar microextraction method for the liquid chromatographic determination of trace diclofenac, ibuprofen and carbamazepine in river water. *Microchim Acta*, 31-37.
- Alvárez, S. *Eliminación de contaminantes emergentes presentes en aguas mediante adsorción en lecho fijo*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- American Public Health Association. (1992). *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (18 ed.). American Public Health Association.
- Aumassanne, C., & Fontanella, D. (2015). Variaciones en la conductividad eléctrica del agua para riego en la cuenca del río Colorado, Argentina. *Congreso Nacional del Agua*, 15-19.
- Calvo, F., García, J., & Dobado, J. (2018). *Emerging Pollutants*. Weinheim: Willey-VCH.
- Cerón, M. *Evaluación de la concentración Cadmio y Níquel en agua, suelos y sedimentos de la Reserva Biológica de Limoncocha para establecer la línea base, 2015-2016*. Universidad Internacional SEK, Quito.
- CONAMA. (2005). *Guía CONAMA para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas*. Gobierno de Chile.

- El Universo. (13 de Junio de 2017). El río Tahuando es declarado patrimonio sagrado indígena. *El Universo* .
- Ferrari, B., Paxéus, N., Lo Giudice, R., Pollio, A., & Garric, J. (2003). Ecotoxicological impact of pharmaceuticals found in treated wastewaters: study of carbamazepine, clofibric acid, and diclofenac. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 359-370.
- GAD Municipal de San Miguel de Ibarra. (2015). Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra 2015-2023. Ibarra.
- Goel, P. (2006). Water pollution: causes, effects and control. New Age International .
- Hernández, Á., Gutiérrez, D., Jiménez, O., Guervós, M., & Manzano, B. (1998). Estudio de los Niveles de Plomo, Cadmio, Zinc y Arsénico, en Aguas de la Provincia de Salamanca. *Salud Pública*, 72(1), 53-65.
- Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J., Salgado, V., & Borbón, H. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha*, 26(1), 27-36.
- Huaranga, F., Méndez, E., Quilcat, V., & Huaranga, F. (2012). Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche. *Scientia Agropecuaria*, 3(3), 235-247.
- Jiménez, A. *Remoción de Diclofenaco en solución acuosa, mediante carbón activado de cáscara de Nuez Pecana*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí.
- Lonappan, L., Brar, S., Das, R., Verma, M., & Surampalli, R. (2016). Diclofenac and its transformation products: Environmental occurrence and toxicity - A review. *Environment International* , 127-138.

- Malarvizhi, A., Kavitha, C., Saravanan, M., & Ramesh, M. (2012). Carbamazepine (CBZ) induced enzymatic stress in gill, liver and muscle of a common carp, *Cyprinus carpio*. *Journal of King Saud University*, 24, 179-186.
- Martínez, A. *Cuantificación de Carbamazepina en efluentes hospitalarios por Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución y Determinación de la Cinética de Degradación*. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca Estado de México.
- Mohapatra, D., Brar, S., Tyagi, R., Picard, P., & Surampalli, R. (Mayo de 2012). Carbamazepine in municipal wastewater and wastewater sludge: Ultrafast quantification by laser diode thermal desorption-atmospheric pressure chemical ionization coupled with tandem mass spectrometry. *Talanta*(99), 247-255.
- Peña, A., & Castillo, A. (2015). Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatografía de gases-espectrometría de masas (MEFS-CG-EM). *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 18(1), 29-42.
- Santos, L., Araújo, A., Fachini, A., Pena, A., C, D., & Montenengro, M. (2010). Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. *Journal of Hazardous Materials*, 175, 45-95.
- Secondes, M., Naddeo, V., Belgiorno, V., & Ballesteros, F. (2014). Removal of emerging contaminants by simultaneous application of membrane ultrafiltration, activated carbon adsorption, and ultrasound irradiation. *Journal of Hazardous Materials*, 342-49.
- TULSMA. (2015). Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. En *Libro VI Anexo 1* (págs. 288-303). Quito.

- Valdés, M., Wunderlin, D., Bistoni, M., Barceló, D., & Rodríguez, S. (2016). Bioaccumulation and bioconcentration of carbamazepine and other pharmaceuticals in fish under field and controlled laboratory experiments. Evidences of carbamazepine metabolization by fish. *Science of the Total Environment*(557-558), 58-67.
- Valencia, E. *Química del Hierro y Manganeso en el Agua, Métodos de Remoción*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Varo, P., López, C., Cases, V., & Ramírez, M. *PRESENCIA DE CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS NATURALES*. Universidad de Alicante, Alicante.
- Voloshenko, A., Gasser, G., Cohen, J., Cumbal, L., Parra, W., Sarabia, F., y otros. (2015). Emerging pollutants in the Esmeraldas watershed in Ecuador: discharge and attenuation of emerging organic pollutants along the San Pedro–Guayllabamba–Esmeraldas rivers. *Environmental Science Processes & Impacts*, 17, 41-53.