

IDENTIFICACIÓN Y COMPARACIÓN DE PRESENCIA DE METALES PESADOS: Pb, Cr
Y Zn EN EL RÍO OCOA Y SUS FUENTES DE ORIGEN ANTRÓPICO, VILLAVICENCIO-
META



YURI FERNANDA PATIÑO ACOSTA
AXEL CAMILO SÁNCHEZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2020

IDENTIFICACIÓN Y COMPARACIÓN DE PRESENCIA DE METALES PESADOS: Pb, Cr
Y Zn EN EL RÍO OCOA Y SUS FUENTES DE ORIGEN ANTRÓPICO, VILLAVICENCIO-
META

YURI FERNANDA PATIÑO ACOSTA
AXEL CAMILO SÁNCHEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesor
CRHISTIAN JOSÉ ROJAS REINA
PhD, Msc, Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

Autoridades académicas

P. José Gabriel MESA ANGULO, O.P

Rector General

P. Eduardo GONZÁLEZ GIL, O.P

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCIA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Mg. Ing. Yésica Natalia MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN
Decano de Facultad de Ingeniería Ambiental

CRHISTIAN JOSÉ ROJAS REINA
Director Trabajo de Grado

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN
Jurado

JONATHAN STEVEN MURCIA FANDIÑO
Jurado

Dedicatoria

A mi familia, especialmente a mi madre y mis abuelos,
por su apoyo incondicional.

A mi hijo, por ser el motor e inspiración para mi
superación constante.

Yuri Fernanda Patiño Acosta

A la memoria de Jennifer Huertas QEPD que siempre me apoyo
y su partida me dio la fuerza necesaria para luchar siempre.

Axel Camilo Sánchez Medina

Agradecimientos

Agradecemos, primeramente, a Dios por habernos dado la vida y la salud para lograr esta meta.

A nuestra Universidad Santo Tomás, por enseñarnos y formarnos como Ingenieros Ambientales, además por el apoyo en el desarrollo de la investigación de la tesis y su apoyo económico.

A nuestro director de grado, PhD, Msc, Ingeniero Químico, Cristian José Rojas Reina, por su liderazgo y aporte de conocimientos para guiarnos en nuestro proceso de investigación con la tesis y sobre todo por su disposición, paciencia y confianza.

A cada uno de los profesores de la Universidad Santo Tomás de Villavicencio-Meta quienes de una u otra forma nos ayudaron con la formación académica y profesional.

A nuestros padres quienes nos han apoyado con amor, esfuerzo y constancia a lo largo de nuestra carrera.

Yuri Fernanda Patiño Acosta y Axel Camilo Sánchez Medina

Contenido

	Pág.
Resumen.....	12
1. Introducción	14
2. Planteamiento del problema	16
2.1 Formulación entorno al problema	17
3. Objetivos	18
3.1 General	18
3.2 Específicos.....	18
4. Justificación.....	19
5. Alcance del proyecto.....	21
6. Antecedentes	22
7. Marco de referencias	26
7.1 Marco Teórico	26
7.1.1 Contaminación en agua por metales pesados.	26
7.2 Marco Conceptual	27
7.2.1 Metales pesados.	27
7.2.2 Variables ambientales.....	28
7.3 Marco Legal.....	30
8. Metodología	32
8.1 Diseño del estudio	32
8.2 Fase 1. Diseño de muestreo	32
8.2.1 Reconocimiento y selección de los puntos de muestreo de cuerpo hídrico y vertimientos.	32
8.2.2 Selección de variables para la toma de muestra.	36
8.2.3 Muestreo en los puntos de selección.....	36
8.2.4 Pretratamiento de la muestra.....	38

8.3 Fase 2. Obtención y análisis de datos	38
8.3.1 Medición <i>In Situ</i>	39
8.3.2 Medición <i>Ex Situ</i>	39
8.3.3 Análisis de resultados.	42
8.4 Fase 3. Conclusión y Comparación con normatividad.....	42
9. Resultados, análisis de resultados y discusión	43
9.1 Variación de la concentración de metales pesados y comparación con la normatividad	43
Cuerpo Hídrico	43
Vertimientos.....	50
9.2 Identificar fuentes de origen antrópico.....	54
9.3 Variación de parámetros fisicoquímicos y comparación con la normatividad.....	55
Cuerpo Hídrico	55
9.4 Correlaciones	58
10. Conclusiones	63
11. Recomendaciones.....	65
12. Bibliografía.....	67

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Diagrama metodológico.	32
Figura 2. Puntos de la toma de muestra y de los vertimientos, distancia de cada uno de los puntos a estudiar.	34
Figura 3. Diseño y número de datos obtenidos In situ y Ex situ en cuerpo hídrico	38
Figura 4. Diseño y número de datos obtenidos In situ y Ex situ en vertimientos.....	39
Figura 5. Concentración de plomo y comparación con normatividad..	44
Figura 6. Concentración de Cromo y comparación con normatividad..	45
Figura 7. Concentración de Zinc y comparación con normatividad.	46
Figura 8. Concentración de Plomo y comparación con la Resolución 631 del 2015	50
Figura 9. Concentración de Cromo y comparación con la resolución 631 del 2015	51
Figura 10. Concentración de Zinc y comparación con la resolución 631 del 2015.	52

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Normatividad	30
Tabla 2. Puntos de muestreo del cuerpo hídrico	33
Tabla 3. Puntos de muestreo de vertimientos	33
Tabla 4. Variables del estudio.....	36
Tabla 5. Métodos analíticos utilizados para determinar las concentraciones de Pb, Cr y Zn.....	40
Tabla 6. Cantidades de solución madre en mg/L.....	41
Tabla 7. Cumple o no cumple el Plomo, con la Resolución 2115 del 2007, OMS y el Decreto 1594 del 84.....	46
Tabla 8. Cumple o no cumple el Cromo, con la Resolución 2115 del 2007, OMS y el Decreto 1594 del 84.....	47
Tabla 9. Cumplimiento y nivel de excedencia Zinc, con la Resolución 2115 del 2007, OMS y el Decreto 1594 del 84.....	49
Tabla 10. Cumplimiento o no de los metales pesados (Pb, Cr y Zinc) con la resolución 631 del 2015.....	53
Tabla 11. Tipo de vertimientos de los muestreos con sus respectivas características	54
Tabla 12. Valores de los parámetros fisicoquímicos del río Ocoa.	57
Tabla 13. Valores de los parámetros fisicoquímicos en vertimientos.	58
Tabla 14. Correlación de los 6 puntos de muestreo con la época de precipitación.	59
Tabla 15. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y los metales pesados (Pb, Cr y Zn) con baja precipitación.	60
Tabla 16. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y los metales pesados (Pb, Cr y Zn) con alta precipitación.	61
Tabla 17. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y los metales pesados (Pb, Cr y Zn) con los vertimientos.	61

Lista de Apéndice

	Pág.
Apéndice A. Area de estudio del río Ocoa visto desde el software ArcMap 10.2.2.....	78
Apéndice B. Curva de patrón de Zinc.....	78

Resumen

La contaminación por metales pesados en las fuentes hídricas es una gran problemática ambiental en el Meta, debido a las descargas industriales y mineras sin control en los cuerpos hídricos de la región. Por consiguiente, esta investigación determinó la concentración de metales pesados (Plomo, Cromo y Zinc) en un cuerpo hídrico (trayecto del río Ocoa desde el barrio San Luís de Ocoa hasta el barrio San Antonio) y en puntos de descarga de vertimientos, donde se identificaron las fuentes de origen antrópico. Las concentraciones de metales pesados se relacionaron con los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura). Además, se compararon los resultados con los valores máximos permisibles del Decreto 1594/84, Resolución 2115/07 y Organización Mundial de la Salud (OMS) para verificar su cumplimiento. Se seleccionaron 6 puntos de muestreo en el cuerpo hídrico, donde se tomaron 6 muestras integradas para cada época de precipitación (alta y baja), adicionalmente se consideraron 8 puntos de descarga de vertimientos directos donde se tomaron muestras puntuales. La concentración de metales pesados se determinó mediante la técnica de espectrofotométrica UV-VIS. La correlación entre los parámetros se analizó mediante el índice de correlación de Spearman y su variación mediante la prueba Kruskal Wallis.

Teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos a estudiar y la concentración de metales pesados en cada punto, se evidencia la correlación entre estos, además de tener la certeza respecto a que la precipitación será un factor significativo para la variabilidad en la concentración de los metales pesados en cada punto de muestreo. Los resultados mostraron que las concentraciones de los puntos de muestreo sobrepasaron los valores máximos permisibles, un 100% de Pb, 100% de Cr y un 83,3% de Zn, establecidos por la normatividad (Dec. 1594/84 y Res. 2115/07) y los vertimientos, 62,5% de Pb, 50% de Cr y 100% las de Zn de los valores establecidos por la Res. 631 del 2015, lo que significa que representa un riesgo para el consumo humano y para la preservación de flora y fauna.

Palabras Clave: Contaminación del agua, Metales pesados, Cromo, Plomo, Zinc, Vertimientos.

Abstract

Heavy metal contamination in water sources is a major environmental problem in Meta, due to uncontrolled industrial and mining discharges into the region's water bodies. Consequently, this investigation determined the concentration of heavy metals (Lead, Chromium and Zinc) in a water body (path of the Ocoa river from the San Luis de Ocoa sidewalk and the San Antonio neighborhood) and at discharge points of discharge, where identified sources of anthropogenic origin. Heavy metal concentrations were related to physicochemical parameters (pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, temperature). In addition, the results were compared with the maximum permissible values of Decree 1594/84, Resolution 2115/07, and the World Health Organization (WHO) to verify compliance. 6 sampling points were selected in the water body, where 6 integrated samples were taken for each precipitation season (high and low), additionally 8 discharge points were considered for direct dumping where specific samples were taken. The concentration of heavy metals was determined using the UV-VIS spectrophotometric technique. The correlation between the parameters was analyzed using the Spearman correlation index and its variation using the Kruskal Wallis test.

Taking into account the physicochemical parameters to be studied and the concentration of heavy metals at each point, the correlation between these is evident, in addition to being certain that precipitation will be a significant factor for the variability in the concentration of heavy metals in each sampling point. The results showed that the concentrations of the sampling points exceeded the maximum permissible values, 100% Pb, 100% Cr and 83.3% Zn, established by the regulations (Dec. 1594/84 and Res. 2115 / 07) and discharges, 62.5% of Pb, 50% of Cr and 100% of Zn of the values established by Res. 631 of 2015, which means that it represents a risk for human consumption and for the preservation of flora and fauna.

Keywords: Water pollution, Heavy metals, Chromium, Lead, Zinc, Shedding.

1. Introducción

El recurso hídrico en el mundo es el componente más importante para la vida, teniendo en cuenta que nuestro planeta tiene 43.764 km³ de agua por año, pues este es considerado como fuente de la vida y esencial para la humanidad (IDEAM, 2018). Sin embargo, con el desarrollo económico y con el crecimiento poblacional, la calidad del recurso hídrico se ve afectado (Segura Trian, 2007). De acuerdo al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), a nivel mundial en el año 2007 las actividades antrópicas han causado daños ambientales, generando gran contaminación a los ecosistemas acuáticos, y aunque algunas ciudades cuentan con Planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), alrededor de 2.600 millones de personas no cuentan con acceso a alcantarillado, lo que significa que los vertimientos puntuales se descargan a los cuerpos de agua, alterando su calidad por el aporte de contaminantes, entre estos metales pesados como Plomo, Cromo, Zinc, entre otros (Maldonado, 2009).

La principal problemática de esta investigación es la contaminación de las fuentes hídricas por metales pesados, que afecta a la humanidad desde la antigüedad. En la actualidad actividades antrópicas como la minería, agricultura (debido a la incorporación de pesticidas, insecticidas y herbicidas, que por medio de la escorrentía aportan concentración de metales pesados a las fuentes hídricas) e industria descargan vertimientos a las fuentes hídricas, contaminando este recurso natural (Covarrubias & Peña Cabriales, 2016), provocando una afectación negativa de las propiedades fisicoquímicas del agua (Maldonado, 2009) y adicionalmente contaminando la flora y fauna. Un ejemplo de ello es el plomo (Pb), que al ser consumido por los peces se acumula en los tejidos de los órganos dando como resultado cambios genéticos y alterando la descendencia de las especies (Ferrer, 2003).

En el contexto nacional se han realizado varios estudios sobre la contaminación por metales pesados (Plomo, Arsénico, Cadmio y Mercurio) (Sánchez & Corredor, 2016), donde los resultados han mostrado que se han excedido los límites permisibles por las normas internacionales y nacionales (Mero Valarezo, 2010).

Considerando que la región presenta afectación antrópica en los cuerpos hídricos que atraviesan la zona urbana de Villavicencio, se planteó la formulación de esta investigación, que aportará al conocimiento del estado actual del río Ocoa en 6 puntos específicos, teniendo en cuenta los

parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, temperatura y oxígeno disuelto) que pueden verse alterados por las altas concentraciones de metales pesados (Pb, Cr y Zn). Por otra parte, se tuvieron en cuenta los vertimientos directos, los cuales son grandes aportadores de contaminantes de origen industrial, domésticos u otras actividades.

2. Planteamiento del problema

Colombia está catalogada como uno de los países con más abundancia en recurso hídrico del mundo, debido a su ubicación geográfica (Línea del Ecuador) el relieve es variado y favorece las diversas vertientes hidrográficas como la del Orinoco, Caribe, Pacífico, Catatumbo y Amazonas (Ojeda B. & Arias Uribe, 2000). El país ha sido afortunado de contar con este recurso hídrico, sin embargo, se ha venido contaminando por acciones antrópicas, como los vertimientos de residuos domésticos, industriales, escorrentía de explotaciones, tierras agrícolas, entre otras (IDEAM, 2013). Como consecuencia del desarrollo industrial y el aumento poblacional, en los últimos años han aumentado los vertimientos y se han convertido en amenazas para la calidad del recurso hídrico, debido a la descarga de elementos no biodegradables y algunas sustancias tóxicas, lo que ha generado un impacto ambiental preocupante (IDEAM, 2013)

En la región de la Orinoquía, se han realizado estudios, identificando presencia de mercurio en la explotación petrolera y minera, que contaminan las diferentes fuentes hídricas de la región En (Cormacarena, 2014) los Llanos colombianos, Villavicencio es uno de los municipios con un alto desarrollo económico, esto significa que puede llegar a presentar contaminación en las fuentes hídricas por presencia de metales pesados. Un estudio en el 2015 registra presencia de Plomo y Mercurio en el río Meta, proveniente de los vertimientos de la agricultura y minería aurífera (Fernando Trujillo, 2015).

El río Ocoa es uno de los afluentes más importantes que atraviesa gran parte del casco urbano del municipio y en sus riberas cuenta con un alto número de habitantes. Cabe resaltar que la cuenca del río Ocoa se realizan múltiples actividades que van desde el abastecimiento humano y doméstico, uso agrícola y pecuario, uso piscicultura o acuicultura, generación de energía y es receptor de los vertimientos puntuales de las aguas residuales (Villegas Jiménez, 2011), los cuales pueden ocasionar alteración al río y generar diversos metales pesados como plomo, cromo y zinc.

En un estudio realizado en el 2018, se registraron metales pesados en el río Ocoa, sobrepasando los valores permisibles del Decreto 1594 de 1984, con concentraciones de Cromo con 63 $\mu\text{g/L}$, Plomo con 49 $\mu\text{g/L}$ y Níquel con 19 $\mu\text{g/L}$, siendo estos generados por las actividades antrópicas

(Babativa Pulido & Caicedo Molina, 2018)). Así mismo, podría verse afectada la calidad del agua por los 14 puntos de diversos afluentes (caño Los Pendajos, caño Buque, caño Tigre, Maizaro, Cuerera, Negros, Grande y La Unión) que aportan contaminación al cauce (Unillanos, 2015)

No obstante, las actividades antrópicas son asociadas por la presencia de los metales pesados, sino también, por el comportamiento de la morfometría y variables ambientales como el caudal, pH, oxígeno disuelto, temperatura del agua, conductividad eléctrica, precipitación entre otros (Lenntech, 2017b). Teniendo en cuenta lo anterior, la contaminación del recurso hídrico afecta la fauna y flora, produciendo un desequilibrio y alterando la biodiversidad del planeta como consecuencia; la calidad del medio ambiente y de los seres humanos (Rodríguez Pimentel, 2017).

2.1 Formulación entorno al problema

Teniendo en cuenta lo anterior, es evidente suponer que existe una relación entre la concentración de metales pesados, las condiciones climáticas y parámetros fisicoquímicos. Por lo tanto, se estableció la siguiente hipótesis:

Las concentraciones de los metales pesados (Plomo, Cromo y Zinc), varían en función de las condiciones climáticas (precipitación alta y baja) y los parámetros fisicoquímicos (temperatura, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto) en la cuenca alta y media del río Ocoa (entre la vereda San Luís de Ocoa y el Barrio San Antonio), sobrepasando los valores máximos permisibles de la normatividad colombiana.

Se formuló la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las fuentes de origen antrópico y cómo varía la concentración de los metales pesados (Plomo, Cromo y Zinc) a diferentes condiciones de precipitación bajo en la cuenca alta y media del río Ocoa y en la época lluviosa dentro del trayecto comprendido entre la vereda San Luis de Ocoa y el Barrio San Antonio, del Municipio Villavicencio?

3. Objetivos

3.1 General

- Evaluar la variación de la concentración de metales pesados en el río Ocoa (Pb, Cr y Zn) teniendo en cuenta sus causas de origen antrópico y las condiciones de precipitación, dentro del trayecto comprendido entre la vereda San Luis de Ocoa y el Barrio San Antonio.

3.2 Específicos

- Determinar las concentraciones de metales pesados (Plomo, Cromo y Zinc) en la zona de estudio, a partir de la metodología de espectrofotometría UV-VIS y el cumplimiento de los valores permisibles de calidad de agua establecida en el Decreto 1594 de 1984.
- Analizar la variación de la concentración de los metales pesados (Pb, Cr y Zn) en el tramo de estudio, en función del aporte de los vertimientos y las condiciones de precipitación.
- Identificar las principales fuentes de origen antrópico que influyen en la presencia de Cromo, Plomo y Zinc en el tramo seleccionado (desde la vereda San Luis de Ocoa y el barrio San Antonio) del río Ocoa, así como, sus características fisicoquímicas (pH, conductividad y temperatura del agua).

4. Justificación

A lo largo del tiempo, los metales pesados se han encontrado de manera natural en el medio ambiente, en concentraciones generalmente pequeñas e inofensivas para diferentes especies de vida. Los metales pesados no pueden ser destruidos o degradados, estos logran ser disueltos por agentes químicos o físicos y/o ser lixiviados. Algunos de estos forman complejos que son solubles, estos son transportados y distribuidos a los diferentes ecosistemas hasta llegar a la cadena trófica (agua, plantas, semillas, suelo, y forrajes) (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González , 2016). Debido a esto, la contaminación tecnológica, minera, industrial y agropecuaria aportan metales pesados, alterando ampliamente la sostenibilidad de la cadena trófica, causando riesgos potentes en la naturaleza y en la sociedad debido a la cantidad de problemas de salud en animales y humanos (Londoño Franco, Londoño Muñoz, & Muñoz García, 2016).

En las últimas décadas los estudios realizados sobre la calidad de los sistemas acuáticos continentales han tenido gran interés debido al crecimiento poblacional en las riberas, la creciente industrialización y la contaminación proveniente del sector ganadero, agrícola y minero. La importancia de estos estudios se debe a la elevada toxicidad, la gran persistencia y la rápida acumulación del Plomo, Cromo y Zinc en los diversos organismos vivos, y a que sus efectos son detectados a largo plazo (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González , 2016).

En Colombia existen reportes de metales pesados asociados a los residuos que producen actividades industriales, minería y producción agrícola. El mercurio es frecuente en fuentes de agua y, lagunas del Meta, Boyacá y Antioquia (Londoño Franco, Londoño Muñoz, & Muñoz García, 2016).

Algunos estudios han arrojado resultados, que indican concentraciones de Plomo en los huesos de 400 a 1000 veces en comparación a que hace 400 años (Londoño Franco, Londoño Muñoz, & Muñoz García, 2016). Esto debido a la alta presencia de metales pesados en los alimentos y varios productos industriales en la actualidad. Dicho lo anterior, es importante el estudio de metales como Plomo, Cromo y Zinc, ya que son los más utilizados en los procesos industriales, y son considerados muy tóxicos (Londoño Franco, Londoño Muñoz, & Muñoz García, 2016). Pueden ocasionar diferentes problemas a la salud tales como, (I) limitación en el desarrollo cerebral, (II) debilitamiento del sistema inmunológico, (III) problemas respiratorios, (IV) alteraciones

genéticas, (V) trastornos neurológicos y (VI) cardiovasculares (Herrera Velasquez & Rey Calderon, 2018).

Por otro lado, la cuenca media del río Ocoa, que atraviesa el casco urbano de la ciudad de Villavicencio, se ve gravemente afectada por las descargas provenientes de las descargas domésticas e industriales (Herrera Velasquez & Rey Calderon, 2018). Más específicamente, se tiene evidencia de la afectación en barrios de la ciudad de Villavicencio, como es el caso del Barrio Juan Pablo II, donde existen aproximadamente 60 familias. Ya que se por medio de un estudio realizado en 2018, se evidencio que los residentes de este sector le daban uso al río Ocoa como fuente hídrica y diversos usos que “beneficiaban” la población. Usos que fueron suspendidos por la afectación que estaba causando en la salud, debido a la contaminación de la fuente hídrica, por ende, es fundamental el estudio del río Ocoa (Dorado Cano & Zamudio Toquica, 2018)

Teniendo en cuenta lo anterior, surge la necesidad de realizar estudios de metales pesados (Pb, Cr y Zn) en el río Ocoa ubicado en la ciudad de Villavicencio- Meta. Por lo que es importante recabar información necesaria, que permita identificar el cumplimiento de la normatividad al respecto y así poder tomar medidas necesarias para evitar futuros problemas ambientales, salud en la población que se abastece de este recurso hídrico. Además de poder brindar con esta investigación un acercamiento primordial en base a la afectación que se da por la interacción que se tiene con este tipo de sustancias (metales pesados) por parte de la población que da uso, sea doméstico, pesca, piscícolas. Así como también el poder identificar cuáles son las concentraciones de metales pesados que aportan cada uno de los vertimientos estudiados; esto con el fin de poder aportar entre los esfuerzos de las autoridades ambientales y/o gubernamentales diversas alternativas que promuevan encontrar posibles soluciones.

5. Alcance del proyecto

El área de estudio se encuentra localizada en Los Llanos Colombianos en el Departamento del Meta, Municipio de Villavicencio, más específicamente en un tramo seleccionado en el río Ocoa, que corresponde desde la vereda San Luis de Ocoa (Latitud $4^{\circ} 4'43.77''N$ y longitud de $73^{\circ}42'17.40''O$) hasta el barrio San Antonio (Latitud $4^{\circ} 6'37.97''N$ y longitud $73^{\circ}33'28.06''O$), con una distancia aproximada de 25 km, allí se ubicaron seis puntos de muestreo (Puente del Ocoa, Puente Cr 43-Calle 49 Sur, Barrio Guatapé, Puente del amor, Puente Vía Puerto López, Barrio San Antonio) ubicados en la zona alta y media del río (Anexo 1). Esta selección se realizó teniendo en cuenta el fácil acceso, la seguridad y puntos susceptibles a la presencia de vertimientos directos cercanos al río.

El río Ocoa se encuentra ubicado en la Zona Norte del Departamento de Meta, tiene como características principales las actividades que se desarrollan en el municipio de Villavicencio, ya que esta cuenca pasa por el centro urbano donde se realizan descargas contaminantes, como vertimientos industriales y domésticos. La cuenca del río Ocoa se clasifica en: Cuenca alta, donde se pueden evidenciar vertimientos industriales; Cuenca Media, donde se efectúan vertimientos domésticos e industriales, donde se evidencian impactos o afectaciones causadas por las descargas directas o de caños provenientes de la población suburbana y así como también de las actividades industriales y agropecuarias en la zona.

Las condiciones ambientales del río Ocoa varían con respecto a su temperatura, en la zona alta con una Temperatura min de $15,5^{\circ}C$ y Temperatura Max de $30^{\circ}C$ aproximadamente. La radiación solar directa en el oriente de 1.720 horas/sol/ año mientras que en el noroccidente de 1.400 horas/sol/año (Unillanos, 2015), por otro lado, los monitoreos realizados por el IDEAM en el año 2019 mostraron en el mes de septiembre, las precipitaciones de los días 2-3 fueron de 0 mm y en los días 24 y 25 las precipitaciones fueron de 4 mm y 15,4 mm. El tiempo estimado para realizar el proyecto fue de 6 meses, lapso necesario para el cumplimiento de los objetivos realizados en la investigación. Este proyecto va dirigido a la alcaldía de Villavicencio, las entidades ambientales como COORMACARENA y también beneficia a la comunidad que se abastece del río Ocoa.

6. Antecedentes

Los metales pesados son generados por las actividades antrópicas: pecuaria, industrial o agrícola, han ocasionado un gran aumento de los metales pesados, afectando las fuentes hídricas y generando su contaminación (Beltrán Pineda & Gómez Rodríguez, 2015)

Debido a esto, se han realizado estudios sobre la contaminación en las fuentes hídricas por metales pesados en muchas partes del mundo. Por ejemplo, en el año 2000 se realizó un estudio en el Mar Báltico de Letonia, con el objetivo principal de identificar las concentraciones de metales pesados (Pb, Cu, Co, Ni, Mn, Zn) y en qué formas de especiación (intercambiables, unidas a carbonato, unidas a óxido de hierro-manganeso, unidas a materia orgánica y residual) se encontraban. Las mayores concentraciones se evidenciaron en las zonas bajas de los ríos y los tipos de especiación de metales que dominaron fueron los metales residuales y aquellos unidos a la materia orgánica generados por diferentes industrias (Klavinš, y otros, 2000).

En España (1998), Provincia de Salamanca, se realizaron estudios a los ríos, manantiales, pozos, lagunas para detectar el grado de concentración de metales pesados como el Pb, Cd, Zn y As, resultando con una alta concentración y no cumplimiento con la legislación para el Cadmio (superan la concentración máxima admisible con el 56%) y Plomo (superan la concentración máxima admisible con el 28%), mientras que el Arsénico y Zinc no superan los niveles permisibles de la legislación actual (Blanco Hernández, Alonso Gutiérrez, Jiménez de Blas, Santiago Guervós, & Manzano, 1998).

En el continente asiático es importante este tipo de contaminación, siendo relevante el caso de China, debido a su alta industrialización en las últimas décadas y su falta de medidas ambientales estrictas. En un estudio en este país entre los años 2007-2008 que buscó determinar la concentración de diferentes metales pesados (Cu, Ni, Fe, Co, Sc, Al, Zn, Pb, Cd, Se, As, Cr y Hg) en el río Chang jiang, teniendo en cuenta la temporada seca y la de lluvia, se evidenció que los metales pesados como el Cu, Ni, Fe, Co, Al, Ca y Mg se asociaron a la intemperie y la erosión de rocas y minerales, mientras que las concentraciones de Cd y As se identificaron de fuentes antrópicas, superando los niveles permisibles (Wang , Wang, Xu , An Suming Wang, & Wang, 2011)

En Latinoamérica, se han realizado investigaciones que destacan casos como el de México en donde realizó un estudio entre los años de 1997-1999 en la ciudad de Cananea, Sonora, hasta el límite con Estados Unidos de América realizaron un estudio sobre la calidad del río San Pedro, donde estudiaron los metales pesados Cd, Zn, Pb entre otros, utilizando la metodología de Agencia de Protección Ambiental (EPA). Se obtuvieron grandes concentraciones de metales pesados como Cd, Cu, Pb, Zn, cerca de las actividades mineras de la región de Cananea, la cual es la principal fuente de contaminación en este río. Otra de las razones de la contaminación del río es por los vertimientos de aguas residuales de la Ciudad (Gomez Álvarez, Villalba Atondo, Acosta Ruíz, & Castañeda Olivares, 2004)

En Puebla (México) se realizó un estudio para la detección de metales pesados en agua basándose en la metodología de espectrofotometría UV-Vis (uso de la luz ultravioleta) ya que se considera uno de los métodos más eficientes. Los resultados obtenidos para el Cd, Pb, Zn Cu y Mn muestran una muy buena clasificación de estos metales y una buena respuesta en el rango de 100 ppm a 10,000 ppm, dando evidencia de la eficiencia de este método (Chávez Vallarino, 2011)

En Perú en el año 2010 se evaluó la concentración de metales pesados en el río Nanay en la Amazonía durante la temporada de lluvia, encontrándose mercurio (Hg) en sedimentos este río Nanay, así como plomo (Pb), en concentraciones por encima de la norma nacional (Sotero Solís & Alva Astudillo, 2013)

Teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos, en Tabasco (México) se realizó un estudio en donde se analizaron las diferentes concentraciones de metales pesados como el Cd, Ni, Cr, Mn, Zn, Al y Pb utilizando el método de espectrofotometría de absorción atómica (UV-Vis), además de analizarse los parámetros fisicoquímicos como son el pH, temperatura, conductividad eléctrica (CE, dS/m), oxígeno disuelto (DO%), entre otros. Dando como resultado que los valores de las concentraciones de metales pesados estaban por debajo de la norma (NOM-001-Semarnat-1996), por otra parte los valores de pH (de 8.9 a 9.6) sobrepasan lo permitido por la norma, la temperatura, la CE y el DO se encontraron en valores permisibles por la normatividad (Flores, Del Angel, & Frías, 2018)

En Colombia los estudios realizados de presencia de metales pesados son muy importantes, ya que estos metales están impactando los ecosistemas naturales y a la sociedad. Tal es el caso del río Cauca, donde se afectan a las especies de peces autóctonos (corronchos y bocachicos), teniendo

como consecuencia que estos peces son consumidos por los habitantes, ocasionándoles malformaciones congénitas. Un estudio realizado en el 2012 encontró la presencia de metales pesados como Cd, Pb, Hg y As, debido a las actividades industriales del norte del Cauca (Marín, 2009)

Por otra parte, en el departamento de Córdoba en el 2011, se realizó un estudio en la cuenca baja del río Sinú, donde se encontró alta concentración de Cromo en el agua (0,1 mg/L) y de Plomo (0,03 mg/L), estas son asociadas a las actividades agrícolas, industriales y vertimientos de aguas, las cuales se generan cerca al área del estudio, en este caso en el río Sinú (Marrugo Negrete & Paternina Uribe, 2011)

En los Departamentos de Sucre y Córdoba, se evaluó la concentración de arsénico en el agua de consumo en temporada de lluvia y sequía, dando como resultado que la concentración en As sobre las dos temporadas fue similar, 2,44 $\mu\text{g/L}$ en temporada de lluvia y baja de 2,26 $\mu\text{g/L}$ en el Municipio de Chinú-Córdoba, pero en el Municipio de Corozal-Sucre tanto para la temporada baja como alta de lluvias fue de 1,91 $\mu\text{g/L}$. Esto ocasiona una alta toxicidad en el agua, consecuencia de las actividades ganaderas y acciones agroquímicas realizadas en la región (Hernández Cogollo & Marrugo Negrete, 2016)

Por otro lado, en el municipio de Sibaté, se realizó un estudio en el Embalse del Muña, donde se evaluó la presencia de metales pesados. En el agua del embalse se encontraron concentraciones de 32- 52 $\mu\text{g/L}$ de Arsénico (As) y 0,16-1,3 $\mu\text{g/L}$ de Cadmio (CD), las cuales puede afectar al hombre al ser absorbidos estos metales pesados como los vegetales que son regados por dicha agua y después destinados a consumo humano (Sarmiento, Idrovo, Restrepo, Díaz M, & González, 1999). En los últimos tiempos la ciudad de Bogotá ha aumentado su población, incrementando la actividad económica y el desarrollo industrial, provocando así una alta contaminación en el río Tunjuelo y deteriorando la fauna y flora a sus alrededores. Teniendo en cuenta esto se realizó un estudio en la cuenca media del río (mayor población humana y animal). Al realizar el estudio obtuvieron que el río se encuentra en nivel de contaminación elevado, ya que en los años de 2012-2013 se obtuvo los valores máximos de los metales pesados de Ba, Zn, Cu, Cr y Pb en los puntos de monitoreo de La Regadera, UAN y Doña Juana, además el aumento de estos metales pesados se debe a los vertimientos de residuos peligrosos, mientras que los metales pesados de As, Cu y Ni si cumplen con los valores máximos permisibles que son establecidos por la normatividad colombiana (Res. 2115 del 2007) (Villarraga Gómez, 2019)

Por último, el municipio de Villavicencio ha realizado estudios en el río Ocoa ya que este pasa por gran parte de la zona urbana, considerándose que contiene metales pesados ya sea por industrias o por vertimientos domésticos, entre otros. Uno de los estudios fue realizado en el 2018, identificándose alta concentración de metales pesados (sin tener en cuenta los vertimientos o fuentes de origen antrópico ubicadas en el tramo a estudiar) como el Pb, Cr y Zn los cuales sobrepasaron los valores máximos establecidos por el Decreto 1594 de 1984, también sobrepasaron los valores límites máximos dictados por la Resolución 2115 de 2007 (Babativa Pulido & Caicedo Molina, 2018). Otro estudio fue realizado en el mismo año evaluó la presencia y distribución de As y Cd desde la desembocadura del caño Maizaro y el puente Murujuy, donde se identificó alta concentración de As en la temporada de bajas precipitaciones y por otro lado el Cd presenta alta concentración pero en temporada de altas precipitaciones, esto se debe a las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, pero en el caso de As es asociado por aportes de fuente de origen natural, debido a que se encuentran rocas sedimentarias (depósito de llanura aluvial, es decir, presencia de cantos redondeados con composición cuarzosa, donde este es un mineral que contiene As) (Morales Robayo & Rojas Avirama, 2018).

7. Marco de referencias

7.1 Marco Teórico

7.1.1 Contaminación en agua por metales pesados.

La contaminación del recurso hídrico a causa de los metales pesados es un gran problema en el mundo. La industrialización generada a partir del siglo XIX, la expansión y sobrepoblación, ha ocasionado efectos en el medio ambiente, de igual manera en la salud humana. En el caso de los países en vía de desarrollo, muchos ríos aledaños en zonas con alta actividad industrial no cuentan con un adecuado manejo de sus aguas residuales, por ende, contaminando los ríos con estas descargas que pueden contener grandes concentraciones de metales pesados (Combariza Bayona, 2009).

Sumado a esto, las actividades antrópicas y sobre todo las actividades como el uso de los combustibles fósiles y la industria minera son causa de la contaminación de las aguas, pero algunos metales pesados pueden provenir de la naturaleza, debido a la erosión, actividades biológicas o emisiones volcánicas (Alonso, Latorre, Castillo, & Brandao, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior, se ve la preocupación en todos los países en desarrollo y desarrollados por la calidad del agua. Por ello, la OMS, creó normas para el cumplimiento de la calidad del agua potable, para así reducir y evitar la contaminación (ya sea por los metales pesados u otros) en el medio ambiente (OMS, 2006).

Cabe resaltar que los metales pesados no se pueden descomponer, por lo que se considera un contaminante estable (que no se degrada), generando gran afectación al medio ambiente y sobre todo a las aguas dulces, produciendo alteración a las fauna y flora (riego de cultivos con uso de dichas aguas), alteración al hábitat acuático, dando como consecuencia que los peces, carnes y leches resultan con bio-acumulación de concentraciones de metales pesados por ende, de allí su relevancia en los estudios y monitoreos de la calidad del agua que se realizan, en zonas que se sospechen estén contaminadas de los mismos (Combariza Bayona, 2009)

7.2 Marco Conceptual

7.2.1 Metales pesados.

Son elementos químicos, que poseen un peso atómico desde los 200 u hasta los 63 u, además, los metales pesados son tóxicos dependiendo de las concentraciones en que se presenten. Cabe resaltar, que los metales se encuentran de forma natural en el medio acuático, pero en pequeñas concentraciones por lo general (Alvarez Arteaga, 2018). Algunos de los metales pesados son plomo (Pb), Cromo (Cr), mercurio (Hg), Zinc (Zn) y Cadmio (Cd).

7.2.1.1 Plomo.

Es un metal tóxico e insoluble en agua, lo cual indica que se precipita y es absorbido por los sedimentos y las partículas que se encuentran en suspensión, además esto afecta a la oxidación bioquímica de las sustancias orgánicas (Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ), 1997).

7.2.1.2 Cromo.

Es uno de los metales más tóxicos, además los compuestos del cromo cambian de acuerdo con el pH y la °T(temperatura), este metal es caracterizado por su fácil disolución con el agua. El cromo es utilizado en la industria y está en los combustibles fósiles, lo cual genera gran contaminación ambiental cuando se libera (Lozano Soldevilla, 2009).

7.2.1.3 Zinc.

Es un metal considerado micronutriente importante para el crecimiento de las algas y se encuentra distribuido en la naturaleza en pequeñas cantidades, como por ejemplo en aguas marinas la concentración normal es de 0,01 µg/L (Lozano Soldevilla, 2009). Pero si se encuentra en grandes cantidades es tóxico para las células ocasionando fitotoxicidad, inhabilitando actividades de las enzimas y la regulación hormonal (Rodríguez Espejo, 2014).

7.2.2 Variables ambientales.

Los metales pesados están muy relacionados con las actividades realizadas por los seres humanos, además por las variables ambientales, como la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto (OD), temperatura del agua ($^{\circ}$ T), potencial de hidrógeno (pH).

7.2.2.1 Conductividad eléctrica.

Es una medida indirecta con respecto a las cantidades de iones en solución y evalúa la capacidad del agua de conducir la corriente eléctrica. Cabe resaltar que cada cuerpo de agua tiene un rango constante de conductividad, pero si se presentan cambios significativos es indicativo de eventos puntuales de contaminación (Goyenola , 2007). La conductividad eléctrica tiene relación con los metales pesados, debido a que se presenta un menor volumen de agua en la cuenca y por tanto las sales (representadas por la medición de la conductividad) se concentran más en el agua, incidiendo en los metales (Ramírez Gonzales, 1998).

7.2.2.2 Temperatura del agua.

Es medida de la energía cinética media de las moléculas del agua, el valor es dado en grados Centígrados ($^{\circ}$ C) o grados Fahrenheit ($^{\circ}$ F). La temperatura es uno de los parámetros importantes ya que si no se encuentra en sus rangos afecta las funciones de los organismos acuáticos y por ende la química del agua. Cabe resaltar que la temperatura influye en la calidad del oxígeno que se puede disolver en el agua, la velocidad del crecimiento de las plantas y las algas (fotosíntesis), también en épocas de reproducción, migración y estivación de organismos acuáticos (The California Water Boards. State Water Resources Control Board, 2010a). Además de influir sobre la solubilidad de los metales pesados, afectando de forma decisiva a la distribución y el estado fisiológico de la biota del sistema acuático (Zorrilla Domenichi, 2011)

7.2.2.3. *Potencial de hidrógeno.*

Es una medida que indica la acidez del agua, la cual expresa la concentración ion de hidrógeno. Esta es expresada en la intensidad de la condición ácida o alcalina de una sustancia. El pH tiene una escala, donde la numeración del 0 al 7 indica que es una solución ácida, 7 a 14 es solución alcalina, en algunos casos no son altamente ácidos o ni altamente alcalinos sino están cercanos al punto neutro ósea un pH 7 indica que el agua la solución básica (IDEAM, 2007). El pH tiene un efecto sobre la biodisponibilidad de algunos metales pesados, por ello se dice que hay una relación, además afecta el equilibrio entre la solubilidad, la especiación metálica, adsorción e intercambio de los iones (Mancilla Villa, Fregoso Zamorano, Hueso Guerrero, Guevara Gutiérrez, & Palomera García, 2017).

7.2.2.4 *Oxígeno disuelto (OD).*

El OD es necesario para los microorganismos aerobios para su respiración, ya que el oxígeno es soluble en el agua y el valor del oxígeno disuelto debe mantenerse entre 4 a 6 mg/L. Cabe resaltar que la producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis, la mayoría de los organismos acuáticos necesitan oxígeno para sobrevivir y crecer. Pero si no hay suficiente OD en el agua puede ocasionar la reducción en el crecimiento, larvas malogrados entre otros (The California Water Boards. State Water Resources Control Board, 2010b) El oxígeno disuelto y los metales pesados tienen una relación, al tener altas concentraciones de metales pesados y en caudales bajos el oxígeno disuelto baja (Ramirez Gonzales, 1998)

7.2.2.5. *Espectrofotometría UV-Visible.*

Es un método para determinar la concentración de un compuesto en solución, por ende, es un método eficiente para detectar la presencia o ausencia de metales pesados. Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Pará este método se emplea un espectrofotómetro, en donde se puede seleccionar la longitud de la onda que atraviesa la solución y medir la cantidad

de luz que es absorbida por esta misma. (Díaz, Bárcena Ruiz, Fernández Reyes, & Galván Cejudo, 2015)

7.3 Marco Legal

De acuerdo con la revisión de la normatividad, se expondrán los siguientes decretos y leyes que conciernen a la calidad del agua y vertimientos (Tabla 1).

Tabla 1. *Normatividad*

			Descripción								
Decreto 1974	2811 de		Se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Los artículos 134,135, 137 y 138 tienen en cuenta la calidad del agua, los vertimientos, las aguas de consumo doméstico y fijan zonas en que se prohíben las descargas.								
Decreto 1978	1541 de		Reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973. En el Art 28 habla sobre el derecho al uso del agua, el artículo 211 prohíbe verter, sin tratamiento, residuos sólidos, líquidos o gaseosos, que puedan contaminar las aguas.								
Decreto 1984	1594 de		Usos del agua y residuos líquidos. Art 38 habla sobre los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano y doméstico. Art 45 habla sobre el criterio de calidad admisible para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas.								
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Referencia</th> <th>Valor (mg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cromo</td> <td>0,01</td> </tr> <tr> <td>Plomo</td> <td>0,01</td> </tr> <tr> <td>Zinc</td> <td>0,01</td> </tr> </tbody> </table>	Referencia	Valor (mg/L)	Cromo	0,01	Plomo	0,01	Zinc	0,01
Referencia	Valor (mg/L)										
Cromo	0,01										
Plomo	0,01										
Zinc	0,01										
			Parágrafo: Como criterios adicionales de calidad para los usos de que trata el presente artículo, no deben presentarse sustancias que impartan olor o sabor a los tejidos de los organismos acuáticos, ni turbiedad o color que interfieran con la actividad fotosintética.								
Ley 99de 1993			Se crea el Ministerio de Medio Ambiente donde se establecen lineamientos para fortalecer el SNA y fijar las pautas para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas.								
Resolución 2007	2115 de		Se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Art 2 habla sobre las características físicas del agua Art 3. Habla de la conductividad eléctrica donde se dice que el valor máximo aceptable puede ser hasta 1000 micro Siemens/cm.								

Tabla 1 Continuación

Resolución 2115 de 2007	<p>Se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.</p> <p>Art 2 habla sobre las características físicas del agua</p> <p>Art 3. Habla de la conductividad eléctrica donde se dice que el valor máximo aceptable puede ser hasta 1000 micro Siemens/cm.</p> <p>El Art 5 habla de las características Químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana, en este caso se tendrán en cuenta los siguientes valores y referencias.</p>						
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Valor (mg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cromo</td> <td>0,05</td> </tr> <tr> <td>Plomo</td> <td>0,01</td> </tr> </tbody> </table>			Valor (mg/L)	Cromo	0,05	Plomo	0,01
	Valor (mg/L)						
Cromo	0,05						
Plomo	0,01						
Resolución 631 de 2015	<p>Se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Art 3 tiene en cuenta el cumplimiento de la norma de vertimientos cuando la captación y la descarga se realicen en el mismo cuerpo de agua.</p>						
Decreto 1875 de 1979	<p>Se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones. ART 2, 3, 8, 13,18 habla sobre la prevención de los vertimientos en las aguas.</p>						
Resolución 1207 de 2014	<p>Se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.</p>						
Resolución del 2010 1023	<p>Se adopta el protocolo para el monitoreo y seguimiento del Subsistema de Información sobre Uso de Recursos Naturales Renovables SIUR para el sector manufacturero y se dictan otras disposiciones”.</p>						

Nota: Descripción de las principales normas en el marco de la calidad del agua, Adaptado del Ministerio del Ambiente

8. Metodología

8.1 Diseño del estudio

Esta investigación es de tipo no experimental - cuantitativo; para su diseño se determinó la variación de la concentración de los metales pesados (Plomo, Cromo y Zinc) en diferentes condiciones ambientales, tales como, precipitaciones bajas y altas (se tiene el registro del IDEAM), teniendo en cuenta las fuentes de origen antrópicas (vertimientos industriales o domésticos) y los parámetros fisicoquímicos (conductividad eléctrica, potencial de hidrógeno, temperatura del agua y oxígeno disuelto). Este estudio se divide en 3 fases que siguen un orden secuencial como se puede observar en la Figura 1.

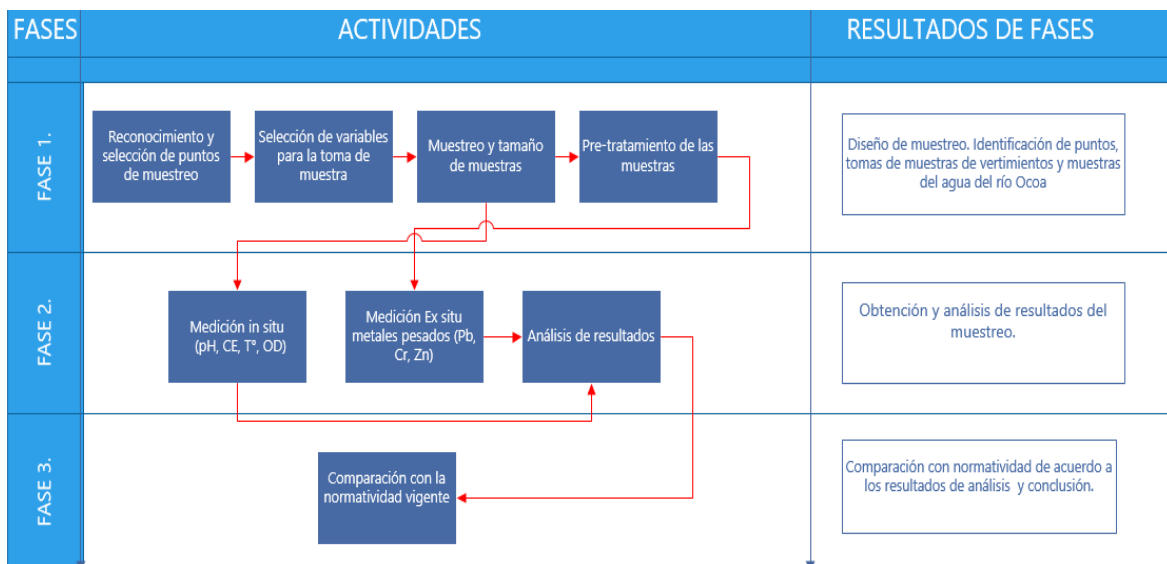


Figura 1. Diagrama metodológico. por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

8.2 Fase 1. Diseño de muestreo

8.2.1 Reconocimiento y selección de los puntos de muestreo de cuerpo hídrico y vertimientos.

Mediante el software Google Earth se observó los lugares por donde atraviesa el río Ocoa. Posteriormente, se realizó el reconocimiento del terreno, mediante una visita de campo entre los

días 26 y 29 de agosto del año 2019, allí se definieron los puntos de muestreo con la ayuda del GPS, teniendo en cuenta el fácil acceso, la seguridad y puntos susceptibles a la presencia de vertimientos directos cercanos al río.

Las ubicaciones de los puntos de muestreo en el río Ocoa y sus vertimientos, comprendido entre la cuenca alta y media se pueden observar en la Tabla 2 y 3

Tabla 2. *Puntos de muestreo del cuerpo hídrico*

PUNTOS	CUENCA	UBICACIÓN	COORDENADAS	
			EO	NO
P1	Alta	Barrio San Luis de Ocoa (Bajo el puente del Ocoa)	1040996	943118
P2	Alta	Puente Cra 43-Calle 49 sur (Unión del barrio Porfía a la vía Villavicencio-Acacias)	1044950	943922
P3	Media	Barrio Guatapé (aledaño al barrio)	1047750	945050
P4	Media	Barrio Los Centauros (Puente del amor)	1049879	945758
P5	Media	Puente río Ocoa (Vía Puerto López)	1051665	946521
P6	Media	Barrio San Antonio (aledaño al barrio)	1057007	946566

Nota: Puntos de muestreo en el río Ocoa cuenca alta y media georreferenciados mediante GPS, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020

Los puntos de vertimientos fueron puntales, teniendo en cuenta la ubicación, cercanía y accesibilidad. En los puntos 1,2,4 y 6 se evidencio solamente un vertimiento mientras que en los puntos 3 y 5 se observaron dos vertimientos en cada uno (Tabla 3).

Tabla 3. *Puntos de muestreo. Vertimientos*

PUNTOS	UBICACIÓN	CORDENADAS	
		EO	NO
V1	Barrio San Luís de Ocoa (Bajo el puente del Ocoa)	1040996	943118
V2	Puente Cra 43-Calle 49 sur (Unión del barrio Porfía a la vía Villavicencio-Acacias)	1044950	943922
V3.1	Barrio Guatapé (Aledaño al Barrio)	1047750	945050
V3.2	Barrio Guatapé (Aledaño al Barrio)	1049316	945690
V4	Barrio Los Centauros (Puente del amor)	1049879	945758
V5.1	Puente río Ocoa (Vía Puerto López)	1052406	946601
V5.2	Puente río Ocoa (Vía Puerto López)	1052355	946521
V6	Barrio San Antonio (Aledaño al Barrio)	1057403	946128

Nota: Puntos de vertimientos en el río Ocoa con sus respectivas coordenadas, georreferenciados mediante GPS, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020

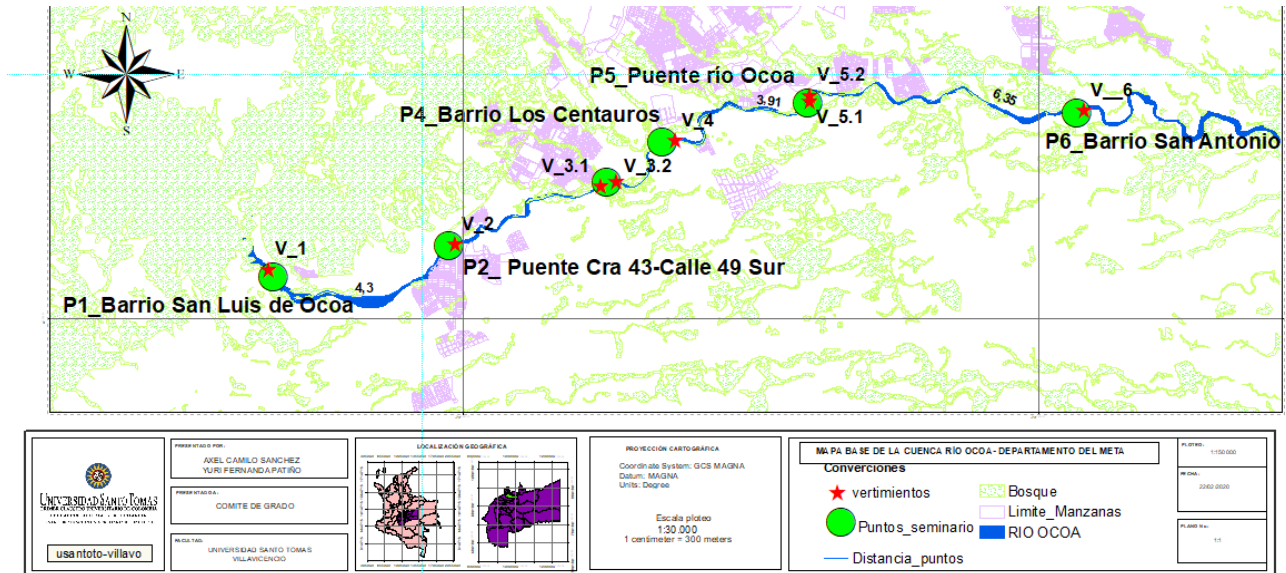


Figura 2. Puntos de la toma de muestra y de los vertimientos, distancia de cada uno de los puntos a estudiar, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020

8.2.1.1 Punto 1: Barrio San Luís de Ocoa (Bajo el puente del Ocoa).

Es el primer punto de muestreo, es la zona en la que se espera menos concentración de metales pesados, debido a que es el sector de menos trayecto transcurrido del río y con menos vertimientos acumulados, además de ser un punto importante, es necesario conocer la condición en las que se encuentra el río Ocoa. A lo largo de la visita de campo, se observaron aguas tranquilas, donde se encontraba población realizando actividades recreativas, con una consecuente generación de residuos sólidos. Si bien se espera que sea el punto menos alterado, cuenta con vertimientos de tipo doméstico.

8.2.1.2 Punto 2: Puente Cra 43-Calle 49 sur (Unión del barrio Porfía a la vía Villavicencio-Acacias).

El Punto 2 de muestreo se seleccionó estratégicamente bajo el Puente Cra 43-Calle 49 sur (Puente de Porfía) aproximadamente a unos 4,36 km desde el Punto 1 de muestreo, en donde se evidenció mayor presencia de residuos sólidos provenientes de la población de los habitantes de Porfía, y se identificó mayor número de vertimientos domésticos en comparación con el Punto 1.

8.2.1.3 Punto 3: Barrio Guatapé (Aledaño al Barrio).

Se evidencia la generación de residuos sólidos aledaños al río, estos residuos sólidos son generados por la población del barrio Guatapé, que al ser un lugar de muy difícil acceso (aproximadamente a unos 4,16 Km desde el punto 2 de muestreo), el servicio público de aseo es muy ineficiente. Además, en este punto se ve mayor generación de vertimientos domiciliarios y corresponde con una zona en la que el río objeto de estudio ya ha tenido afectación por vertimientos industriales (Reparación de motores diésel y reparación de automóviles de todo tipo).

8.2.1.4 Punto 4: Barrio los centauros (Puente del amor).

Se caracterizó por ser uno de los puntos en donde el curso del río cruza aledaño a la ciudad de Villavicencio (ubicado aproximadamente a 1,85 Km de distancia desde el Punto 3), por ende, este recibe mayores vertimientos domésticos que industriales, además de percibirse diversos residuos sólidos a las orillas del río. A pesar de ser uno de los puntos más cercanos a la población, es el punto de máxima dificultad para muestreo por la profundidad, ancho del cauce y acceso.

8.2.1.5 Punto 5: Puente río Ocoa (Vía Puerto López).

Se ubica a 3,91 km aproximadamente desde el Punto 4 de muestreo; tiene unas características similares al Punto 4, ya que pasa aledaño al casco urbano, aunque en este punto se evidencian vertimientos industriales (Fabricación de fertilizantes y generación de productos nutrigénicos). Además, la corriente del río es menor (visualmente) en comparación de los anteriores puntos.

8.2.1.6 Punto 6: Barrio San Antonio (Aledaño al Barrio).

Se ubica aproximadamente a unos 6,35 km desde el Punto 5, se caracteriza por tener aguas tranquilas, los vertimientos son en su mayoría domésticos, aunque también recibe aportes por efecto de la ganadería de baja escala.

8.2.2 Selección de variables para la toma de muestra.

Para la ejecución de la investigación, se evaluaron los parámetros fisicoquímicos (Temperatura, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto) y precipitaciones, consideradas como variables independientes, así como variables dependientes como las concentraciones de metales pesados (Tabla 4)

Tabla 4. *Variables del estudio*

VARIABLE INDEPENDIENTE		VARIABLE DEPENDIENTE	
Nombre	Unidad	Nombre	Unidad
Conductividad eléctrica	μS/cm	Concentración Plomo	mg/L
Temperatura (°T)	°C	Concentración Cromo	mg/L
Potencial de hidrogeno (pH)	Unidades de pH	Concentración Zinc	mg/L
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L		
Precipitación (alta y baja)	mm		

Nota: Variables independientes y dependientes del estudio de la calidad del agua del río Ocoa, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

8.2.3 Muestreo en los puntos de selección.

8.2.3.1 Medición *In situ* y *Ex situ*.

Se realizó una medición *In situ* en donde se determinaron las propiedades del agua en estudio (pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica) y una medición *Ex situ* donde se determinó la concentración de metales pesados (Pb, Cr, Zn), cabe resaltar que estos parámetros se tomaron en días de alta precipitación (días lluviosos con valor de 33,6 mm , con abundante caudal) y en días de baja precipitación (días secos con valor de 0 mm, con caudal bajo).

Las muestras fueron tomadas siguiendo el proceso descrito por el Sistema de Gestión de Calidad NTP ISO/IEC 17025” que da a conocer la metodología para toma de muestras de agua. Se tomaron en total 20 muestras (12 integradas de muestreo en cuerpo hídrico y 8 puntuales tomadas de los vertimientos) para los respectivos análisis

8.2.3.2 Muestreo en cuerpo hídrico.

Se realizó una toma de muestras integradas en el cuerpo hídrico con cada época de precipitación (alta y baja) con valores de 4 mm y 15,4 mm para precipitación alta y valor de 0 mm para precipitación baja de acuerdo con el IDEAM. El muestreo del cuerpo hídrico se realizó de acuerdo con los lineamientos establecidos por la NTC-ISO 5667-3, que fue ejecutado en precipitaciones bajas (2 y 3 de septiembre del 2019, de 8 am- 11:50 pm) y en precipitaciones altas (24 y 25 de septiembre del 2019, de 8 am – 11:50 am), cabe resaltar que se realizó en horas de la mañana los muestreo por seguridad personal y de los equipos.

Para cada uno de los seis puntos de muestreo en el cuerpo hídrico se tomaron las mediciones in situ (pH, oxígeno disuelto, °T del agua, conductividad), , se ubicaron 3 puntos de medición distribuidos en la margen derecha, izquierda y centro del cauce del río Ocoa, allí se tomaron 3 muestras puntuales en recipientes de plástico color ámbar de 500 ml, Posteriormente las tres muestras fueron mezcladas para obtener una mezcla única preparada a partir de 150 ml de cada muestra puntual, para así obtener una muestra de 450 ml para cada punto. En total se obtuvieron 6 muestras mezcladas por cada época de precipitación, es decir 12 muestras mezcladas. Las muestras fueron almacenadas, etiquetas y transportadas al Laboratorio de Aguas de la Universidad Santo Tomás para los respectivos análisis

8.2.3.3 Muestreo en vertimientos.

Para el muestreo de vertimientos se tuvo en cuenta las horas de la mañana ya que tanto en las industrias y los hogares, es el horario de mayor actividad y por ende aumenta la cantidad de vertimientos. Las muestras fueron recolectadas en recipientes de plástico color ámbar de 500 ml, un total de 8 muestras puntuales, tomadas en el punto de descarga proveniente de tubería y se tomó la medición in situ (pH, oxígeno disuelto, °T del agua, conductividad), el cual se encuentra ubicado antes de la incorporación al cuerpo de agua. El muestreo fue manual y se seleccionaron los puntos que permiten un fácil acceso, siguiendo la guía para la toma de muestras de agua residual, dictada por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (IDEAM, 2007) Las muestras fueron almacenadas,

etiquetas y transportadas al Laboratorio de Aguas de la Universidad Santo Tomás para los respectivos análisis.

8.2.4 Pretratamiento de la muestra.

Para la conservación de las muestras, les fue adicionado HNO₃ para acidificar la muestra a un pH de 2 y almacenadas a 4°C, de acuerdo con las recomendaciones dictadas por la NTC-ISO 5667-3 para su posterior análisis

8.3 Fase 2. Obtención y análisis de datos

A continuación, se presenta el número de datos que se obtuvieron para cada variable analizada en cuerpo hídrico (Figura 3) y en vertimientos (Figura 4), para un total de 140 datos obtenidos en la investigación.

Se obtuvieron 42 resultados en cada época de precipitación en cuerpo hídrico, correspondiente a las variables evaluadas en medición *In situ* y *Ex situ* (Figura 3).







Muestras integradas	Precipitación alta							Precipitación Baja							
	<i>In situ</i>				<i>Ex situ</i>			<i>In situ</i>				<i>Ex situ</i>			
	pH	CE	OD	T°	Pb	Cr	Zn	pH	CE	OD	T°	Pb	Cr	Zn	
P1 	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
P2 	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
P3 	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
P4 	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
P5 	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
P6 	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Unidades de respuesta	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
	42							42							84

Figura 3. Diseño y número de datos obtenidos *In situ* y *Ex situ* en cuerpo hídrico, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020

Se obtuvieron 56 unidades de respuesta o número de datos, correspondiente a las variables evaluadas en medición *In situ* y *Ex situ* para los puntos de descarga de vertimientos (Figura 4).









Muestras Puntuales	<i>In situ</i>				<i>Ex situ</i>		
	pH	CE	OD	T°	Pb	Cr	Zn
V1 	1	1	1	1	1	1	1
V2 	1	1	1	1	1	1	1
V3 	1	1	1	1	1	1	1
V32 	1	1	1	1	1	1	1
V4 	1	1	1	1	1	1	1
V5 	1	1	1	1	1	1	1
V52 	1	1	1	1	1	1	1
V6 	1	1	1	1	1	1	1
Unidades de respuesta	8	8	8	8	8	8	8
	56						

Figura 4. Diseño y número de datos obtenidos *In situ* y *Ex situ* en vertimientos, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

8.3.1 Medición *In Situ*.

8.3.1.1 Análisis de parámetros fisicoquímicos.

En cada uno de los puntos de muestreo tanto en el cuerpo hídrico como en vertimientos, se tomaron los siguientes parámetros: Conductividad Eléctrica (CE), temperatura (°T), pH y oxígeno disuelto (OD), en época de precipitación alta y baja en el cuerpo hídrico. Los parámetros se midieron utilizando el Multiparámetro MultiLine 34 Multi 3630 IDS SET G.

8.3.2 Medición *Ex Situ*.

8.3.2.1 Análisis de metales pesados.

Para determinar la concentración de metales pesados Plomo, Cromo y Zinc de cada muestra tomada en el río Ocoa, se seleccionaron 3 métodos (Tabla 5), teniendo en cuenta los reactivos, equipos y materiales disponibles en el laboratorio de Aguas en la Universidad Santo Tomás, Campus Aguas Claras, Villavicencio-Meta. La metodología usada fue espectrofotometría UV-VIS (absorbancia atómica), la cual es una técnica que permite brindar la información de la concentración de un compuesto en una solución, donde las moléculas absorben la radiación electromagnética y la cantidad de luz dependiendo de la forma lineal de la concentración.

Tabla 5. *Métodos analíticos utilizados para determinar las concentraciones de Pb, Cr y Zn.*

Parámetros	Método
Cromo (Cr)	Cromatos MQuant™
Plomo (Pb)	Plomo MQuant™
Zinc (Zn)	Espectrofotométrico

Nota: Métodos analíticos, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

8.3.2.1.1 Cromatos MQuant.

Esta prueba se utiliza para hallar la concentración de Cromo en agua. Primero se estabiliza el pH entre 1 y 9 de las muestras mediante la adición de NH_3 o HNO_3 . En un tubo de ensayo previamente seco, se agregó una microcuchara (incorporada por el reactivo) a ras del reactivo Cr-1 y 6 gotas del reactivo Cr-2 y se agitó vigorosamente para obtener una mezcla homogénea, en seguida se agregaron 5 ml de la muestra compuesta (temperatura entre 15 y 30°C) con pH nivelado, y se agitó aproximadamente durante 1 minuto hasta mezclarse totalmente. Seguidamente, se agregaron en celdas de cuarzo. Finalmente, se llevó al espectrofotómetro, el cual determinó la concentración de Cr en mg/l.

8.3.2.1.2 Plomo MQuant.

Este método se empleó para determinar la concentración de plomo en agua. El primer paso fue nivelar entre 3 y 6 el pH de las muestras, seguido a esto, se tomó un tubo de ensayo en donde se agregaron 0,5 ml del reactivo Pb-1 y 0,5 ml del reactivo Pb-2, agitándolo por 30 segundos, posteriormente, se agregaron 8 ml de muestra (previamente nivelas de pH), la muestra final debe tener temperatura entre 10 y 40°C, y se agitó durante 1 minuto para homogenizarlo totalmente. Finalmente, se agregó un poco de muestra en una celda de cuarzo y se llevó al Espectrofotómetro, el cual determinó la concentración de Pb en mg/l.

8.3.2.1.3 Espectrofotométrico.

Para determinar la concentración de Zinc se utilizaron sachets, y se nivelaron los pH de 6-9. Seguidamente, se procedió a preparar la solución madre de 1g/L Zn, para ello se tomó un balón

aforado de 1 L y se agregó 2,085 gr de $ZnCl_2$ y se completó con H_2O destilada. Luego se prepararon varias muestras con diferentes cantidades de solución madre (Tabla 6) y se completó con H_2O destilada, después se llevó al espectrofotómetro, el cual determinó la absorbancia para graficar la curva de absorbancia.

Tabla 6. *Cantidades de solución madre en mg/L.*

Concentración de Zn (mg/L)	Absorbancia
0,25	-0,716
0,5	-0,647
0,75	-0,317
1	-0,431
5	-0,387
10	-0,255
20	0,174
30	0,164

Nota: Métodos utilizado para la determinación de la concentración de Zn, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020

Seguidamente, al tener la curva de absorbancia, se obtuvo la ecuación $y = 0,027x - 0,5294$ en la cual y representa la absorbancia de las muestras; y x representa la concentración de Zinc conocida, por ende, se despejó la fórmula para determinar cuanta concentración se encontraba en cada punto, quedando así la formula $x = (y + 0,5294) / 0,027$.

Finalmente, se tomó de cada muestra (cuerpo hídrico del río Ocoa y de los vertimientos) 20 ml del agua se agregó a cada sachet, y se dejó por 20 (de acuerdo con la ficha de la prueba) para que se disolviera por completo y luego se agitó. Se llevó en celdas de cuarzo al espectrofotómetro el cual determinó la absorbancia y luego se comparó con la curva patrón de absorbancia construida.

8.3.2.2 *Precipitación.*

Los datos de precipitación para definir la época de precipitación alta y baja fueron obtenidos de los datos registrados para el año 2019 por el IDEAM, específicamente de las estaciones Unillanos, La Libertad y Ojo de agua, con 0 mm de precipitación para los días 2-3 septiembre y entre 4mm y 15,4mm los días 24 y 25 de septiembre del 2019.

8.3.3 Análisis de resultados.

El procesamiento de los datos se realizó mediante gráficas para facilitar el análisis de los resultados, y así determinar el cumplimiento con la normatividad nacional. El análisis estadístico, se realizó mediante el software IBM SPSS Statistic 25. Inicialmente, se determinó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk, para saber el tipo de datos (paramétricos, no paramétricos). Mediante la prueba *T Student*, se determinó la variación entre las variables teniendo en cuenta la alta y baja precipitación y los puntos de muestreo. Adicionalmente, con el objeto de establecer la correlación entre las variables, se realizó la matriz de correlación mediante el coeficiente de correlación de Pearson (No paramétrico) y Pearson (Paramétrico).

8.4 Fase 3. Conclusión y Comparación con normatividad

Se identificaron las concentraciones de metales pesados de las muestras tomadas en el río Ocoa que sobrepasaron los valores permisibles, mediante la comparación de gráficos y tablas teniendo en cuenta la normatividad de calidad de agua, Decreto 1594 de 1984 (Art 45), Resolución 2115 de 2007 (Art 5) y OMS. Se consideraron los valores máximos permisibles para consumo humano y para la preservación de flora y fauna. Así mismo, se determinó si está cumpliendo o incumple con cada una de las normas.

9. Resultados, análisis de resultados y discusión

9.1 Variación de la concentración de metales pesados y comparación con la normatividad

Cuerpo Hídrico

En la Figura 5, se pueden observar las concentraciones de Plomo en cada punto de muestreo, teniendo en cuenta la época de precipitación alta y baja según el IDEAM. Se encontró una variación estadísticamente significativa en las concentraciones de Plomo con respecto a la época de precipitación (t student $p=0,028$), donde las concentraciones máximas se presentaron en condiciones de alta precipitación. Aunque es notoria la variación de los datos de un punto a otro, no existen diferencias estadísticamente significativas (t student $p=0,66$). Los puntos más críticos fueron P6, P2, P3 (alta precipitación) con 1,17 mg/L, 0,54 mg/L, 0,52 mg/L, y P3 (baja precipitación) con 0,46 mg/L. Esto se puede relacionar con la carga de los vertimientos que son arrojados allí, cómo es el caso del P3 donde se encontraron dos vertimientos directos con altas concentraciones de Pb, mezcla de vertimientos domésticos (0,57 mg/L) e industrial (0,99 mg/L) y en el P6 se encontró un vertimiento agropecuario (1,47 mg/L), teniendo en cuenta que los vertimientos domésticos arrojaron un alto nivel de concentración que puede ser por las tuberías antiguas de plomo o actividades de índole industrial en zonas residenciales. Hay que resaltar que en el lugar había zona de ganadería y porcinos, que contribuye a la contaminación del río, además llegado a este punto el cuerpo hídrico ha recorrido todo el casco urbano, con el consecuente arrastre de vertimientos que se arrojan en todo el trayecto.

Además de ello, la alta presencia de este metal puede ser al uso de plaguicidas y fertilizantes, los cuales son utilizados para los cultivos que se encuentran aledaños al río Ocoa, que ingresan al cauce por escorrentía superficial. También, por la acumulación de los residuos de combustible fósil el cual contiene plomo y las descargas de agua de escorrentía de los centros urbanos, ya sean por el lavado de calles y aceras que contengan aceites, pinturas y combustibles, ocurriendo principalmente en las precipitaciones altas. De acuerdo con Navarro & Sabater, 2014, los niveles más altos de Plomo en el río se presentaron cerca de las áreas de carreteras.

Así mismo, se comprobó que todos los puntos de muestreo (6) no cumplen con la normatividad (OMS, Res 2115/07 y Dec 1594/84) y exceden los valores máximos admisibles (0,01 mg/L). Dado el incumplimiento con la normatividad, las altas concentraciones de Plomo representan un riesgo para el consumo humano y para la preservación de la flora y fauna.

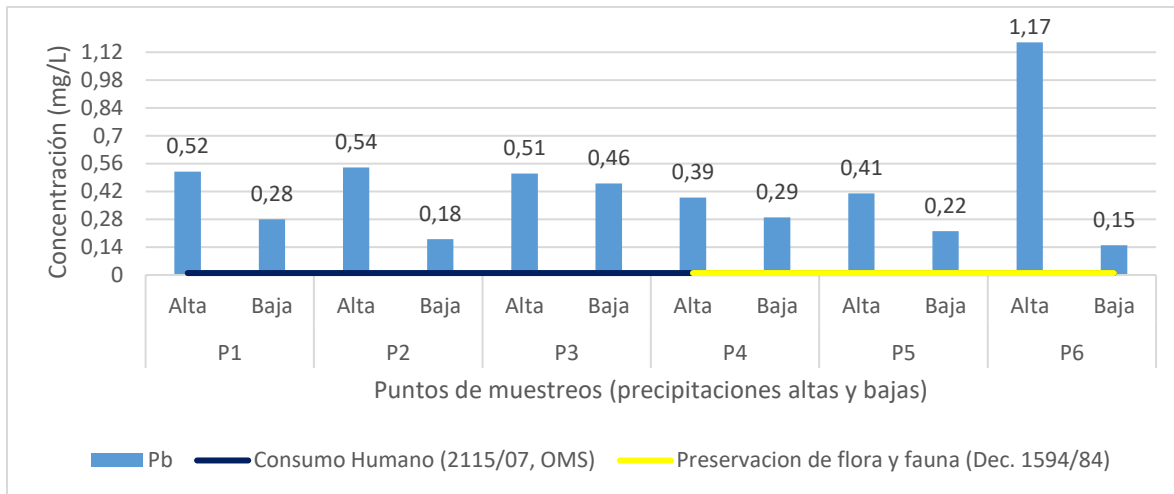


Figura 5. Concentración de plomo y comparación con normatividad, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020

Con respecto al Cromo, no se encontró una diferencia estadísticamente significativa en sus concentraciones con respecto a la época de precipitación (t student $p=0,000005$), así mismo, las concentraciones máximas se presentaron en condiciones de precipitación alta, donde el punto P3 presentó la concentración máxima (0,88 mg/L), mientras que en precipitación baja fue de 0,13 mg/L. Considerando lo anterior, se puede deducir que los vertimientos ayudan a generar aumento en las concentraciones de este punto, donde se encontraron dos vertimientos directos V31 (doméstico) con 0,15 mg/L el cual no sobrepasa los límites permisibles pero el V32 (industrial) con 0,69 mg/L no cumple y si está afectando al río (Figura 6). Además en altas precipitaciones, aumenta la escorrentía (aceras, calles, cultivos, entre otros), si bien, no aumenta los vertimientos, pero si puede aumentar la propagación de los metales pesados en el cuerpo hídrico lo cual puede favorecer su detección.

Aunque es visible la variación de los datos, no existen diferencias estadísticamente significativas entre los puntos de muestreo (t student $p=0,935$). Adicionalmente, mediante la comparación con la normatividad se determinó que las concentraciones de Cromo en el río Ocoa pueden afectar la

preservación de la flora y fauna debido a que exceden el valor permisible, al igual que para el consumo humano.

La presencia de este metal puede originarse en las industrias productoras de vidrios ya que el polvo de cromo se utiliza para la fabricación de vidrio verdes, también, empresas dedicada a la reparación de motores diésel y otra a la fabricación de fertilizantes foliares, de inyección y coadyuvantes orgánicos, las cuales pueden generar aguas residuales y así estar aportando a la contaminación de este río no solo con el metal Cromo sino también a Plomo y Zinc.

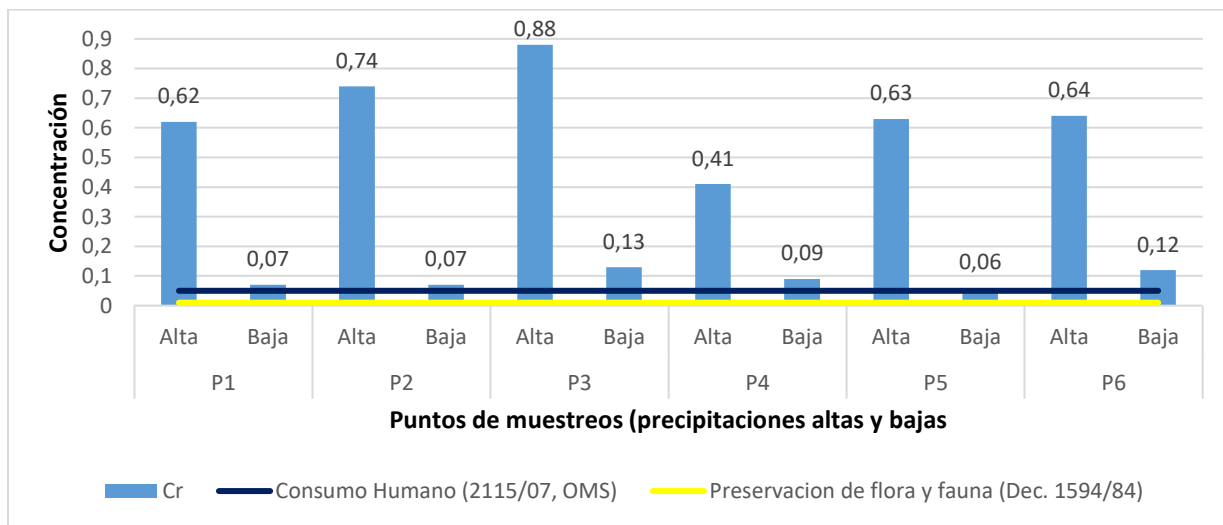


Figura 6. Concentración de Cromo y comparación con normatividad, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

En cuanto al Zinc, se encontró que de acuerdo con la época de precipitación existen diferencias estadísticamente significativas (t student $p=0,001$), donde las máximas concentraciones de Zinc ocurrieron en condiciones de alta precipitación (Figura 7). Considerando los diferentes puntos de muestreo, se observaron ciertas variaciones, pero que no son estadísticamente significativas (t student $p=0,18$). De acuerdo con las condiciones de precipitación, las máximas concentraciones en alta precipitación se dieron en el punto P4 y P5 (19 mg/L) y en baja precipitación en el punto P2 (4 mg/L). Mediante la comparación con el Decreto 1594/84 las concentraciones de Zinc para cada uno de los puntos del río Ocoa afectan la preservación de la flora y fauna, mientras que los puntos P1, P3, P4, P5 en baja precipitación no exceden el valor máximo permisible establecido en la Resolución 2115/07 y OMS para consumo humano.

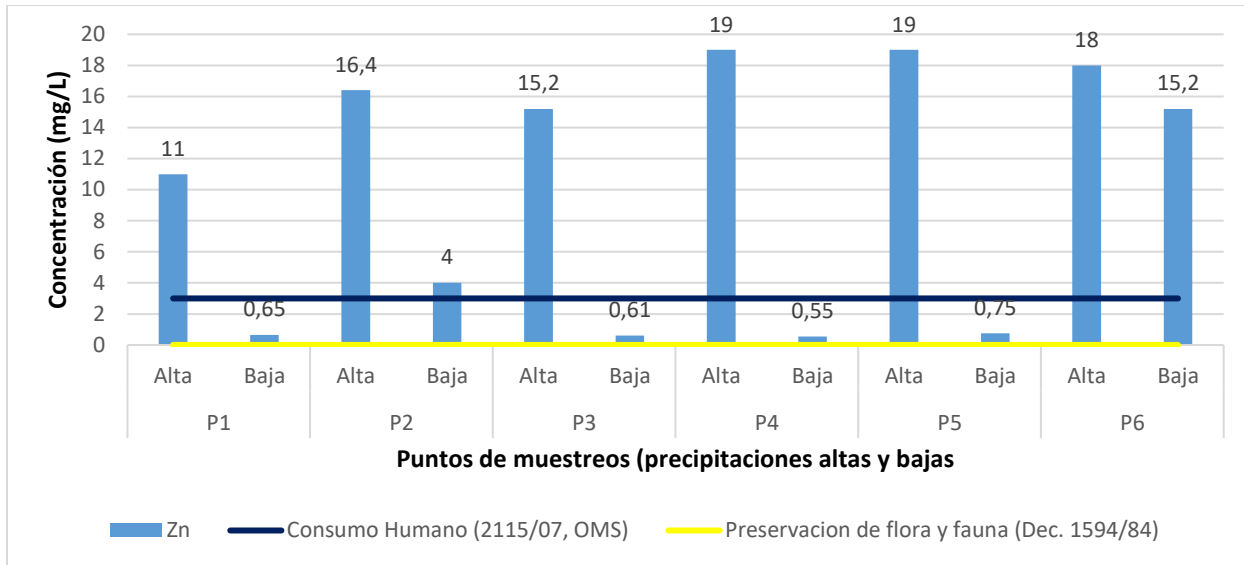


Figura 7. Concentración de Zinc y comparación con normatividad, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

En la Tabla 7, se puede observar que el Plomo no está cumpliendo con lo estipulado en la Resolución 2115 del 2007, ni en la OMS, ni el Decreto 1594 del 84. Lo que indica una contaminación no natural de este metal en el río. Aunque actualmente en las nuevas construcciones se utilizan tuberías de plástico, pueden existir cañerías de plomo de construcciones antiguas pudiéndose desprender pequeñas partículas de plomo generando contaminación en el agua (Romero Ledezma, 2009). El plomo es un metal no biodegradable, es un componente tóxico del agua y nunca desaparece, además se acumula, lo cual puede llegar a envenenar o enfermar a niños y adultos, ocasionando afectación del riñón, dolor de huesos y corazón, presión arterial alta entre otras, de acuerdo a (Gavilanez García & Puño Lecarnaque, 2016).

Tabla 7. Cumple o no cumple el Plomo, con la Resolución 2115 del 2007, OMS y el Decreto 1594 del 84.

Punto	Época	Pb (mg/l)		Nivel de excedencia de la Res. 2115 del 2007, OMS y Decreto 1594 del 84 (%)
		Consumo Humano Resolución 2115 del 2007 y OMS)	Preservación Flora y fauna Decreto 1594 del 84	
P1	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	5100
P1	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	2700
P2	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	5300
P2	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	1700

Tabla 7 Continuación

P3	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	5000
P3	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	4500
P4	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	3800
P4	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	2800
P5	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	4000
P5	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	2100
P6	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	11600
P6	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	1400

Nota: De acuerdo a la Resolución 2115 del 2007, OMS y el Decreto 1594 del 84, se determina si Cumple o no cumple el Plomo, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

En la Tabla 8, se evidencia que la calidad del recurso hídrico del río Ocoa se encuentra en condiciones negativas con respecto a las altas concentraciones de Cromo, tanto para el uso de consumo humano, como para la preservación de la flora y fauna, ya que ninguno de los puntos de muestreo de precipitación baja y alta está cumpliendo con lo establecido en la OMS, el Dec. 1594/84 y la resolución 2115/07, esto puede ser ocasionado por las empresas fabricantes de fertilizantes foliares, de inyección y coadyuvantes orgánicos, que se encuentran aledañas al río, además de las escorrentías que se puedan generar (ver tabla 11 y numeral 9.2 Identificar fuentes de origen antrópico). Al ser consumida el agua que contiene Cr genera intoxicación manifestándose con lesiones renales, gastrointestinales, del riñón, del hígado y la médula ósea entre otras; en el ecosistema acuático este metal es lo suficientemente estable para transportarse en el agua, afectando a los peces especialmente los que viven en el fondo (Chávez Porras, 2010)

Tabla 8. *Cumple o no cumple el Cromo, con la Resolución 2115 del 2007, OMS y el Decreto 1594 del 84.*

Punto	Época	Cr (mg/l)		Excedencia (%) Resolución 2115 del 2007 y OMS	Excedencia (%) Preservación Flora y fauna
		Consumo Humano	Preservación Flora y fauna		
P1	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	1140	6100
P1	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	40	600
P2	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	1380	7300

Tabla 8 Continuación

P2	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	40	600
P3	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	1660	8700
P3	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	160	1200
P4	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	720	4000
P4	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	80	800
P5	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	1160	6200
P5	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	10	500
P6	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	1180	6300
P6	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	140	1100

Nota: De acuerdo a la Resolución 2115 del 2007, OMS y el Decreto 1594 del 84, se determina si Cumple o no cumple el Cromo, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

La Tabla 9 muestra la cantidad de puntos de muestreos que cumplen con la normatividad revisada con relación al Zinc. Para el ámbito de preservación de flora y fauna, se observa que ninguno de los puntos de muestreo cumple con lo establecido en el Dec. 1594/84. Por otra parte, para el sector de consumo humano, se observa que los únicos puntos (precipitación baja) que cumplen con la resolución 2115/07 y la OMS son, P1, P3, P4, P5. Por ende, se puede deducir que en el muestreo con precipitaciones bajas el 66,66% de los puntos cumplen con la norma revisada y en el muestreo con precipitaciones altas no hay ningún punto que cumpla con ello, debido a la lluvia ácida, la escorrentía (agricultura, calles, aceras), si bien, no aumenta los vertimientos, si aumenta la propagación de los metales pesados en el cuerpo hídrico lo cual puede favorecer su detección. Por consiguiente el río Ocoa se encuentra contaminando por el Zinc, posiblemente por las industrias cercanas al río (ver tabla 11 y numeral 9.2 Identificar fuentes de origen antrópico), como se sabe la industria utiliza este metal (Zinc) alguna de sus actividades como por ejemplo el trabajo con motores diésel que se da alrededor a la zona de estudio, o también por cañerías que fueron revestidas con zinc para evitar la corrosión y que por ende, el agua se ve contaminada por pequeñas partículas de zinc debido al arrastre que se genera en estas, cabe resaltar que el zinc se encuentra de forma natural, pero en pequeñas cantidades lo cual es nutritivo y necesario para todos los animales, pero

si se habla de grandes cantidades ya sería tóxico tanto para la salud humana, como para los animales y el medio ambiente (ATSDR, 2005).

Las altas concentraciones de Zinc son el resultado del aporte de vertimientos con concentraciones hasta 30 mg/L de origen doméstico y agropecuario. Sin embargo, lo que llamó la atención fue la elevada concentración de Zinc en el punto P6, que indica la existencia de fuentes puntuales importantes de contaminación (vertimiento de actividad agropecuaria), donde el Zinc es usado en aviaries y como desinfectantes para bovinos (Steinfeld, y otros, 2009) Así mismo, factores externos como la acumulación de productos farmacéuticos (bloqueadores del sol, desodorantes, cremas, shampoo, etc.), así como llantas de vehículos (ATSDR, 2005) podrían aportar Zinc al cuerpo hídrico.

Tabla 9. *Cumplimiento y nivel de excedencia Zinc, con la Resolución 2115 del 2007, OMS y el Decreto 1594 del 84.*

Punto	Época	Zn (mg/l)			
		Consumo Humano (Resolución 2115 del 2007 y OMS)	Preservación Flora y fauna (Decreto 1594 del 84)	Excedencia (%) Resolución 2115 del 2007 y OMS	Excedencia (%) Decreto 1594 del 84
P1	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	266	110000
P1	Precipitación baja	CUMPLE	NO CUMPLE	-	6400
P2	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	446	163900
P2	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	33	39900
P3	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	406	151900
P3	Precipitación baja	CUMPLE	NO CUMPLE	-	6000
P4	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	533	189900
P4	Precipitación baja	CUMPLE	NO CUMPLE	-	5400
P5	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	533	189900
P5	Precipitación baja	CUMPLE	NO CUMPLE	-	7400
P6	Precipitación alta	NO CUMPLE	NO CUMPLE	500	179900
P6	Precipitación baja	NO CUMPLE	NO CUMPLE	406	151900

Nota: De acuerdo a la Resolución 2115 del 2007, OMS y el Decreto 1594 del 84, se determina si Cumple o no cumple el Zinc, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

Vertimientos

En cuanto a los vertimientos se pudo determinar que existen diferencias estadísticamente significativas en la totalidad de variables analizadas (parámetros fisicoquímicos y metales pesados), esto puede deberse a que cada vertimiento es único y sus características dependen del tipo de vertimiento y actividades que se desarrollan (Laino Guanes, y otros, 2015). La concentración de metales pesados presentó una variación significativa a lo largo del río Ocoa, por lo que es posible que se atribuya al aporte de metales pesados por la descarga de vertimientos puntuales.

En la Figura 8, se puede observar la concentración de Plomo en cada uno de los puntos de descarga de vertimientos seleccionados sobre el tramo del río Ocoa, los resultados muestran que existen diferencias estadísticamente significativas (t student $p=0,006$) entre los puntos. El punto V6 y V4 presentaron las máximas concentraciones con 1,47mg/L y 1,33 mg/L respectivamente. Adicionalmente, sólo los puntos V1, V2 y V5 cumplen con el valor máximo permisible para descarga de vertimientos.

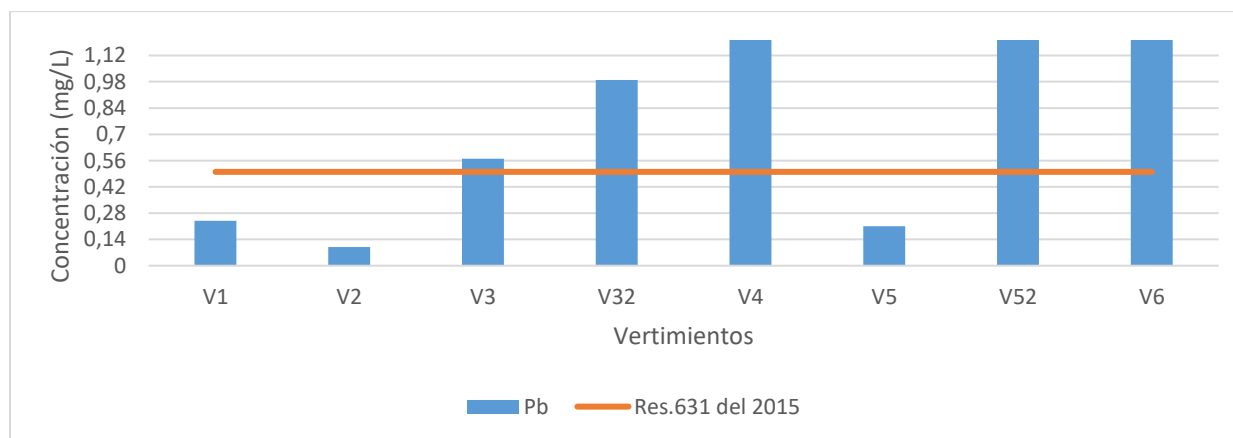


Figura 8. Concentración de Plomo y comparación con la Resolución 631 del 2015, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

En la Figura 9, se puede observar la concentración de Cromo en cada uno de los puntos de descarga de vertimientos seleccionados sobre el tramo del río Ocoa, los resultados muestran un comportamiento variable, presentando diferencias estadísticamente significativas (t student $p=0,021$) entre los puntos. El punto V4 (Agropecuario) y V6 (Agropecuario) presentaron las máximas concentraciones con 1,33 mg/L y 0,81 mg/L respectivamente, esto puede estar

relacionado a que se utiliza la levadura alta en Cromo para la ganancia de peso de novillos (Barajas Cruz, 2018). Adicionalmente, los puntos V1, V2, V3 y V5 cumplen con el valor máximo permisible para descarga de vertimientos.

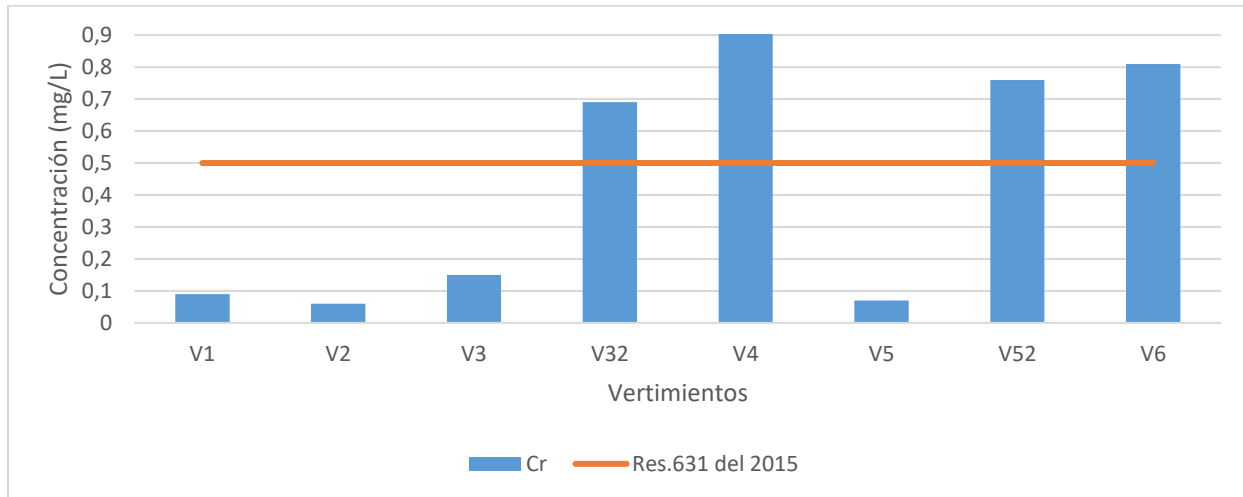


Figura 9. Concentración de Cromo y comparación con la resolución 631 del 2015, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

En las Figuras 8 y 9, las concentraciones de estos metales pesados (Plomo y Cromo) los que contribuyen al aumento son las actividades antrópicas como lo es la influencia de vertimientos agropecuario, donde la presente investigación reportó la mayor concentración en punto P4, donde posiblemente el sistema de alcantarillado puede contener tuberías plomadas que podrían desprender pequeñas partículas (Romero Ledezma, 2009) sumado a la acumulación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) sobre la rivera del cauce. Sin embargo, el mayor aporte de Plomo y Cromo fue en vertimientos de actividades agropecuarias (Acosta & Montilla Peña, 2011) que se le puede atribuir al uso de agroquímicos. Es evidente que a partir del punto P4, la concentración de Plomo en el cuerpo hídrico empezó a disminuir a pesar de que el aporte de Plomo en vertimientos aumentó, este fenómeno puede deberse a las características fisicoquímicas (disponibilidad de metales pesados) o a la velocidad del río donde la mayor parte de los metales pesados se sedimentan (ATSDR, 2005b; Trujillo, 2014), aunque no se halló una correlación que demuestre lo anterior.

En la Figura 10, se puede observar la concentración de Zinc en cada uno de los puntos de descarga de vertimientos seleccionados sobre el tramo del río Ocoa, los resultados muestran que existen diferencias estadísticamente significativas (t student $p=0,00005$) entre los puntos de muestreo, donde el punto V3 presentó la máxima concentración con 30 mg/L.

Cabe resaltar que los puntos tienen relación con los vertimientos como el caso de P4 en el cual se encontró un vertimiento agropecuario (19 mg/L) además de percibirse diversos residuos sólidos a las orillas del río, aunque solo se pudo tomar muestra de un solo vertimiento, al frente del río se encontraban algunas casas con tuberías que iban directo al río (no fue posible tomar muestras de estas por la profundidad del río). Además, la presencia de este metal se debe al uso de los fertilizantes y plaguicidas del suelo en las zonas cercanas al cauce, el cual pasa al río por escorrentía superficial en época de lluvias o por las aguas de riego, por otro lado, este Zinc puede ingresar por la precipitación atmosférica o por quemas de desechos sólidos en los lotes cercanos al río Ocoa.

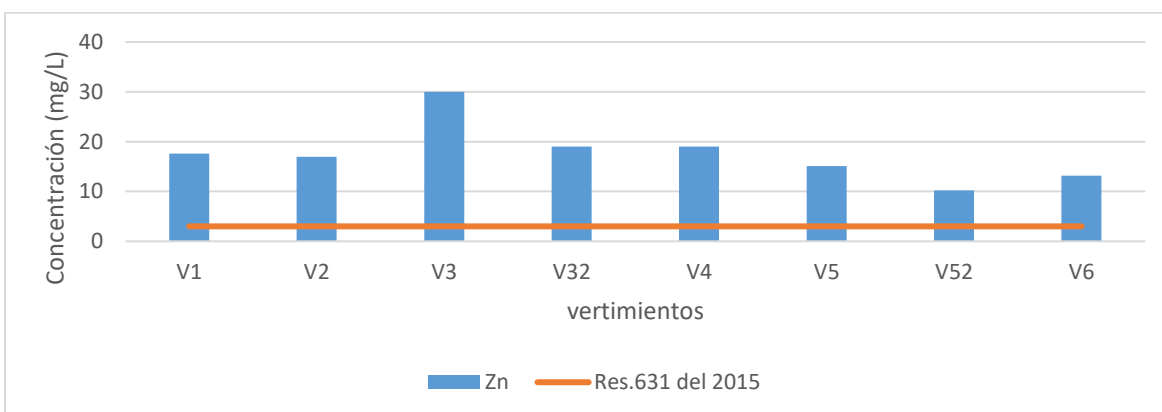


Figura 10. Concentración de Zinc y comparación con la resolución 631 del 2015, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

En la Tabla 10, se puede observar los puntos de vertimientos y su cumplimiento con respecto a las concentraciones de los metales pesados (Pb, Cr y Zn), para la Resolución 631 del 2015, la cual compete a los vertimientos en cuerpos hídricos. En los vertimientos 1 y 2 en Plomo y 1, 2, y 3 Cromo cumple con lo establecido de la Resolución 631 del 2015 la cual dice que no se debe sobrepasar el límite máximo permisible de 0,5 mg/L, ya que para Pb en el V1 fue de 0,24 y V2 de 0,1, y Cr en el V1 de 0,09, V2 de 0,06 y V3 de 0,15. Al ver estos resultados se dice que estos vertimientos no están afectando los componentes del río, esto puede ser porque no eran vertimientos industriales o las tuberías no eran de Plomo u otras actividades que alteran estos

metales. Además, Pb y Cr en el V5 también cumple con lo establecido de la norma. Mientras que el metal pesado Zn sobrepasa el límite máximo permisible de la Resolución. La descarga de los vertimientos, de acuerdo con la norma excedieron el 100%, 50% y 62,5% de las concentraciones de Zinc, Cromo y Plomo respectivamente.

Tabla 10. *Cumplimiento o no de los metales pesados (Pb, Cr y Zinc) con la resolución 631 del 2015.*

Punto	<i>Pb (mg/l)</i>	<i>Cr (mg/l)</i>	<i>Zn (mg/l)</i>	<i>Pb (mg/l)</i>	<i>Cr (mg/l)</i>	<i>Zn (mg/l)</i>
	631 del 2015	631 del 2015	631 del 2015	edencia (%)	edencia (%)	edencia (%)
V1	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	-	-	486.66
V2	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	-	-	466.66
V3	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	14	-	900
V32	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	98	38	533.33
V4	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	166	166	533.33
V5	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	-	-	403.33
V52	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	152	52	420
V6	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	194	62	340

Nota: De acuerdo a la resolución 631 del 2015 se determina su cumplimiento y excedencia de los metales pesados (Pb, Cr y Zn), por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

Los resultados obtenidos permitieron determinar la presencia de metales pesados sobre un tramo seleccionado del río Ocoa y sobre vertimientos puntuales cercanos. De acuerdo con la época de precipitación se presentó una variación en el aporte de metales pesados sobre el cauce, relación descrita por (Trujillo Gonzáles, 2014), pero no se encontró una variación significativa de acuerdo con los puntos de muestreo que podría deberse a la metodología seleccionada.

En resumen, el río Ocoa presenta un alto grado de contaminación por Plomo y Cromo, pero en Zinc, solo en los P1, P3, P4 y P5 si la precipitación es baja, este último este último se puede acumular en los peces, provocando que se biomagnifique en la cadena trófica, por tanto, la acumulación de metales pesados en el río Ocoa, representa un riesgo para la preservación de la flora y fauna como para el consumo humano.

En el 2018 un estudio en el río Ocoa mostró valores inferiores en comparación al presente estudio (Babativa Pulido & Caicedo Molina, 2018), lo cual puede deberse a un aumento en la actividad industrial, doméstica y agrícola (Faro de Vigo, 2017), pues el crecimiento económico (industrial, agricultura, ganadería, etc.) de la región Orinoquia se tiene proyectado en un crecimiento anual del 1,04% del año 2017 al 2021 (Delgado & Pérez, 2018)

9.2 Identificar fuentes de origen antrópico

Para la identificación de las fuentes de origen antrópico (vertimientos) fue fundamental realizar el reconocimiento de todos los seis puntos de muestreo (Tabla 11), en cual se identificaron 8 fuentes de origen antrópico.

Tabla 11. *Tipo de vertimientos de los muestreos con sus respectivas características*

Puntos	N° Vertimiento	Tipo de vertimiento	Características de los Vertimientos
P1	V1	-Puntual (Aguas residuales de piscinas públicas)	Establecimiento público destinado a la recreación. Vertimiento mediante tubería (media pulgada) de PVC directamente al curso hídrico, con diversas sustancias como clorox, detergentes, etc.
P2	V2	-Puntual (Alcantarillado del Barrio Porfía)	Vertimiento mediante tubería (3 pulgadas) de concreto directo al curso hídrico que contiene todo tipo de residuos domésticos e industriales
	V3_1	- Puntual (Vertimiento domestico)	Vertimiento mediante tubería (media pulgada) de PVC directamente al curso hídrico
P3	V3_2	-Puntual (Alcantarillado del Barrio Guatapé)	Vertimiento mediante tubería (una pulgada) de concreto directo al curso hídrico que contiene todo tipo de residuos domésticos e industriales
P4	V4	- No Puntual (Agropecuario)	Vertimiento agua residual debido a la crianza de animales campestres
	V5_1	-Puntual (Alcantarillado de Villavicencio)	Vertimiento mediante (2 pulgadas) de concreto directo al curso hídrico que contiene todo tipo de residuos domésticos e industriales
P5	V5_2	-Puntual (Parqueadero y Lavaderos de vehículos)	Vertimiento mediante tubería (una pulgada) de concreto directo al curso hídrico que contiene todo tipo de grasas y aceites.
P6	V6	-No Puntual (Agropecuario)	Vertimiento por desagüe de agua residual debido al sostenimiento de animales.

Nota: Descripción de los vertimientos, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

Teniendo en cuenta los vertimientos puntuales y no puntuales que se tienen en cuenta para el estudio, también ha habido otras empresas e Industrias que no se han podido analizar (debido a su seguridad privada), que quizás puedan tener un impacto negativo de contaminación al cuerpo hídrico (río Ocoa) que son:

Por un lado, desde el punto de muestreo 1 al punto de muestreo 2 se pueden observar 5 empresas e industrias, en donde se encuentran algunas dedicadas a la producción de margarinas vegetales para panadería que funcionan con maquinaria que es generadora de aguas residuales con posible inclusión de grasas, colorantes y sales minerales que pueden aportar a la posible contaminación por medio de metales pesados en el río Ocoa. Empresas que se dedican a los productos del petróleo y gas natural que puede tener aguas residuales relacionados con los derivados de estos productos. Otras empresas se encargan de la producción de aceite y producción de diversos tipos de vidrios. En el tramo que comprende del punto 2 al punto 3 de muestreo se identifica una empresa dedicada a la reparación de motores diésel, en donde se pueden generar aguas residuales que contengan cantidades de metales pesados. La empresa identificada entre el punto 3 y punto 4 de muestreo dedicada a la reparación de automóviles, con posible generación de aguas residuales que contengan cantidades de metales pesados. Para finalizar dentro del tramo comprendido por el punto 4 y punto 5 del muestreo, hay empresas encargadas de la fabricación de fertilizantes foliares, de inyección y coadyuvantes orgánicos, y generación de productos nutrigénicos.

9.3 Variación de parámetros fisicoquímicos y comparación con la normatividad

Cuerpo Hídrico

Los parámetros fisicoquímicos pH, CE, °T y OD tabulados en la Tabla 12 pueden indicar una primera valoración del estado del cuerpo hídrico del tramo seleccionado en el río Ocoa sobre los 6 puntos de muestreo, teniendo en cuenta la época de precipitación (alta y baja), los cuales fueron comparados de acuerdo a los valores permisibles para consumo humano (Resolución 2115/07) y para la preservación de flora y fauna (Decreto 1594/84), cabe resaltar que la OMS no estipula valores para parámetros fisicoquímicos.

Por un lado, los valores obtenidos de pH (Tabla 12) presentaron un comportamiento ascendente en condiciones de alta precipitación y un comportamiento variable en condiciones de baja

precipitación en los 6 puntos de muestro por lo que se determinó que existen diferencias significativas de acuerdo a los puntos de muestreo (t student $p=0,024$), también es notable que hubo mayor pH en precipitación alta, excepto en el punto P4; sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas de acuerdo a la época (t student $p=0,484$). Además, en precipitación baja se reportaron valores de pH entre ácido (P1, P2, P3), neutro (P5, P6) y alcalino (P4), por lo que la acidez se atribuye a los vertimientos, principalmente de uso recreativo (piscinas). Por otro lado, la disponibilidad o solubilidad de metales pesados se le asocia al pH (Combariza, 2009) siendo más soluble en pH ácidos, evidentemente en pH 7-7,3 se presentó menor concentración de Plomo y Cromo por lo que justifica lo anterior.

Adicionalmente, según la Resolución 21115/07 el valor admisible de pH para consumo humano debe estar comprendido entre 6,5 – 9,0 por lo tanto, el punto P1 (precipitación alta) y los puntos P1, P2 y P3 no cumplen con lo establecido, mientras para la preservación de flora y fauna, se cumple con lo dispuesto en el Decreto 1594/94 (VP= 4,5 – 9,0).

Según el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico planteado por (Cormacarena (2011)) y la Resolución 2115/07 los valores óptimos de conductividad eléctrica para consumo humano no sobrepasan los 1000 $\mu\text{s/cm}$, por lo tanto, los valores obtenidos (Tabla 12) están dentro de las condiciones normales. En condiciones de baja precipitación la conductividad presentó un comportamiento variable y en condiciones de alta precipitación un comportamiento ascendente, puede ser por el arrastre de sólidos aumentando las concentraciones de metales pesados. Los valores máximos de CE se presentaron en condiciones de alta precipitación a excepción de los puntos P1 y P2, debido al aumento en la remoción de sedimentos las cuales descargan iones en las aguas aumentando la conductividad (Fernando Garcés Giraldo & Lucía Hernández Ángel, 2004), sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas según la época (t student $p=0,154$) y puntos de muestreo (t student $p=0,526$).

Los valores de OD, en precipitación baja señalan que se encuentra dentro del rango de bajo impacto para la calidad del recurso hídrico (Posada , Roldán, & Ramírez, 2000), sin embargo, se observó una disminución a partir del punto P4, debido al aumento de contaminación por los vertimientos (Montalvo, y otros, 2008) donde el valor de OD más alto se presentó en el punto P1 el cual se encuentra menos contaminado. En precipitación alta presentó un comportamiento variable, pero no se encontraron diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la época de precipitación (t student $p=0,400$) y puntos de muestreo (t student $p=0,523$). Se comprobó que los

valores de OD (Tabla 12) en cada uno de los puntos, no cumplen con el límite permisible (OD=4,0) para la presentación de flora y fauna según el Decreto 1594/84; y para consumo humano este parámetro no aplica.

La temperatura del agua (Tabla 12) se encontró en un rango entre 24,4 °C y 27,2 °C, donde no se presentaron diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la época (t student p=0,459) y puntos de muestreo (t student p=0,258). Para este caso, no fue posible hacer la comparación con la normatividad debido a que para consumo humano y para la preservación de la flora y fauna no se tiene en cuenta un valor permisible.

Adicionalmente, en precipitación baja, aunque no se encontró una correlación significativa con la °T, según Bates (2008) citado por (Montalvo, y otros, 2008) los incrementos de temperatura en el agua reducen el contenido de OD, comportamiento que justifica los resultados. Además, se observó un aumento en la temperatura en la cuenca media, que se le atribuye a la altitud y la presencia de vegetación, mientras que la variación de la conductividad puede deberse a la descarga de vertimientos que aportan materia orgánica ocasionando un aumento en la conductividad (Chaves Córdoba & Jaramillo Robledo, 1998). Mientras que en precipitación alta, la temperatura y el oxígeno disuelto no se presentaron un comportamiento claro por la influencia de la precipitación, sin embargo, la variación de la temperatura podría alterar el crecimiento y metabolismo de la vida acuática.

Tabla 12. *Valores de los parámetros fisicoquímicos del río Ocoa.*

Punto	Tipo de muestreo	pH	C.E. (µS/cm)	T (°C)	OD (mg/l)
P1	Precipitación alta	5,1	57,7	24,4	7,99
	Precipitación baja	4,58	70,8	24,6	7,82
P2	Precipitación alta	6,6	55,7	27,1	7,57
	Precipitación baja	6,21	67,1	27,1	7,17
P3	Precipitación alta	7,3	70,9	27,2	7,6
	Precipitación baja	6,26	50,5	27,2	7,61
P4	Precipitación alta	7,1	83,4	26,8	7,4
	Precipitación baja	7,5	68,3	26,4	7,58
P5	Precipitación alta	7,06	96,5	25,8	7,02
	Precipitación baja	6,75	69,5	25,1	7,52
P6	Precipitación alta	7,2	100,1	27,2	8,05
	Precipitación baja	6,77	60,3	25,1	6,77

Tabla 12 Continuación

VP	Consumo Humano ¹	6,5	1000	N/A	N/A
	Preservación de flora y fauna ²	4,5	N/A	N/A	4,0

Nota: Valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos en cuerpo hídrico en cada uno de los puntos de muestreo, teniendo en cuenta las precipitaciones bajas y altas. pH: Potencial de hidrógeno; O.D: Oxígeno Disuelto; C.E: Conductividad Eléctrica; °T: Temperatura. VP: Valores Permisibles de la normatividad colombiana. N/A: No aplica. por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

Los parámetros fisicoquímicos deben cumplir con los valores admisibles presentados en el Decreto 1594/84 para la descarga de vertimientos de tal manera que no afecte la calidad del agua o la preservación de la flora y fauna. Los resultados mostraron que todos los vertimientos cumplen con el valor de pH, excepto el vertimiento V1 y todos se encuentran dentro de la temperatura establecida por el Decreto (Tabla 13).

Tabla 13. Valores de los parámetros fisicoquímicos en vertimientos.

Vertimientos	Ph	C.E. (µS/cm)	T (°C)	OD (mg/l)
V1	4,92	19,8	25,4	8,34
V2	6,13	134,1	27,1	6,08
V3	6,77	236	27,6	5,31
V32	7,12	521	26,6	2,72
V4	7,20	100,2	26,8	2,52
V5	7,35	103,6	28,3	7,5
V52	7,3	101,3	26,9	2,54
V6	6,69	77,5	26,7	1,76
VP	5,0 – 9,0	N/A	<40	N/A

Nota: Valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos en vertimientos en cada uno de los puntos de muestreo. pH: Potencial de hidrógeno; O.D: Oxígeno Disuelto; C.E.: Conductividad Eléctrica; °T: Temperatura. VP: Valores Permisibles de la normatividad colombiana (Dec. 1595/84). N/A: No aplica, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020

9.4 Correlaciones

Se determinó mediante la prueba de Shapiro Wilk que las variables evaluadas presentaron un comportamiento normal, es decir presentaron una significancia >0,05. Por lo tanto, se seleccionó estadística paramétrica como el índice de Pearson el cual mostró las siguientes correlaciones:

¹Resolución 2115/07

²Decreto 1594/84. Art. 45

En el cuerpo hídrico de acuerdo a la matriz, se presentaron correlaciones positivas significativas (Tabla 14), donde el pH se relaciona con los 6 puntos de muestreo, además los metales pesados Pb, Cr y Zn se correlacionan con la época de precipitación (alta y baja), esto quiere decir que a medida que aumentan las precipitaciones van aumentando los metales pesados (Pb, Cr y Zn), de igual manera a medida que va aumentando los puntos el pH va aumentando.

En época de precipitación se encontró una variación de los metales pesados (Pb, Cr y Zn), donde las mayores concentraciones se presentaron en precipitación alta, que coincide con los resultados de Sotero & Alva (2013), evaluado en el río Nanay, este fenómeno puede deberse a sedimentos acumulados en las vías que contienen metales pesados generados por el uso de combustible, lubricantes y grasas, o partículas en suspensión generadas por el tráfico vehicular (Zafra Mejía, Santamaría Galindo, & Torres Galindo, 2015), la combustión de gas natural y petróleo (ATSDR, 2005b; Navarro & Sabater, 2004), que por acción de la lluvia y la escorrentía superficial llegan al río Ocoa, acumulando metales pesados. Por lo tanto, dichas actividades actúan como fuentes secundarias de contaminación sobre el río Ocoa, siendo fuentes primarias los vertimientos directos. Igualmente, la acción de la lluvia desencadena turbulencia sobre el río Ocoa ocasionando la re-suspensión de metales pesados que en condiciones de flujo laminar se sedimentan (Trujillo Gonzáles, 2014)

Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el pH de acuerdo a la época de precipitación, se presentó un aumento en época de precipitación alta que puede deberse al arrastre de elementos ácidos que contienen los suelos Oxisoles o por la misma acidez de la lluvia que lleva disuelto CO₂ obtenido de emisiones atmosféricas (Fernando Garcés Giraldo & Lucía Hernández Ángel, 2004).

Tabla 14. *Correlación de los 6 puntos de muestreo con la época de precipitación.*

	Puntos de Muestreo	Época (Precipitación alta y baja)
Puntos de muestreo	1	
Época (Precipitación alta y baja)	0,000	1
Ph	,729**	0,224
C.E. (µs/cm)	0,527	0,439
°T (°C)	0,125	0,237
OD (mg/l)	-0,391	0,268
Pb (mg/l)	0,192	,631**
Cr (mg/l)	-0,042	,941**
Zn (mg/l)	0,348	,833**

Nota: Matriz de correlación de Pearson (+) Correlación positiva. (-) Correlación negativa. *Correlación significativa. pH: Potencial de Hidrógeno, Pb: Plomo, Cr: Cromo, Zn: Zinc. Adaptado de software IBM Statistics.

En el cuerpo hídrico en precipitación baja se presentaron correlaciones negativas significativas como lo es el caso de la Conductividad eléctrica (CE) con Cr, OD con Zn (Tabla 15). Ya que en precipitación baja es normal que tenga una incidencia directa sobre una mayor conductividad eléctrica, debido a que se presenta un menor volumen de agua en la cuenca y por tanto las sales (representadas por la medición de la conductividad) se concentran más en el agua, obteniéndose una correlación negativa significativa con el Cromo (Cr), teniendo en cuenta que este tiene un origen antrópico y la fuente continua haciendo aportes, aunque con un menor caudal de la cuenca y por tanto se presenta una mayor concentración en el agua. Con respecto a la correlación negativa del Zinc (Zn) y el OD, se puede deber ser a una mayor actividad de las algas, por ser un cuerpo de agua en donde llega gran cantidad de aguas residuales domésticas que conllevan a un incremento de las algas y a su vez un mayor oxígeno disuelto por la gran cantidad de fotosíntesis (Ramirez Gonzales, 1998).

Tabla 15. *Correlación de los parámetros fisicoquímicos y los metales pesados (Pb, Cr y Zn) con baja precipitación.*

	pH	C.E. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	T° (°C)	OD (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	Zn (mg/l)
pH	1						
C.E. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	-0,149	1					
°T (°C)	0,350	-0,505	1				
OD (mg/l)	-0,398	0,208	-0,024	1			
Pb (mg/l)	-0,128	-0,584	0,437	0,661	1		
Cr (mg/l)	0,247	-,904*	0,331	-0,326	0,442	1	
Zn (mg/l)	0,198	-0,223	-0,247	-,921**	-0,602	0,432	1

Nota: Matriz de correlación de Pearson (+) Correlación positiva. (-) Correlación negativa. *Correlación significativa. pH: Potencial de Hidrógeno, C.E.: Conductividad Eléctrica, °T: Temperatura, OD: Oxígeno Disuelto, Pb: Plomo, Cr: Cromo, Zn: Zinc. Adaptado de software IBM Statistics

En el cuerpo hídrico en precipitación alta, se presentaron correlaciones positivas significativas (Tabla 16), como es el caso del pH con °T con una correlación de 0,846, donde se dice teóricamente que hay una relación la temperatura (°T) con el potencial de hidrogeno (pH), a medida que aumentan los valores de la °T disminuye el pH, ya que hay una disociación de iones logrando así que el agua tenga una tendencia de acidez alterando el pH natural del río (Fuentes & Massol-Deyá, 2002). Así mismo, el pH tiene una correlación de 0,841 con el Zn, ya que el pH tiene un

efecto sobre la biodisponibilidad de algunos metales pesados entre ellos está el Zinc (Zn), donde afecta el equilibrio entre la solubilidad, la especiación metálica, adsorción e intercambio de los iones (Mancilla Villa, Fregoso Zamorano, Hueso Guerrero, Guevara Gutiérrez, & Palomera García, 2017).

Tabla 16. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y los metales pesados (Pb, Cr y Zn) con alta precipitación.

	Ph	C.E ($\mu\text{s/cm}$)	T° (°C)	OD (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	Zn (mg/l)
Ph	1						
C.E ($\mu\text{s/cm}$)	0,635	1					
T° (°C)	,846*	0,263	1				
OD (mg/l)	-0,431	-0,249	-0,081	1			
Pb (mg/l)	0,177	0,415	0,327	0,683	1		
Cr (mg/l)	0,106	-0,332	0,247	0,137	0,111	1	-0,341
Zn (mg/l)	,841*	0,741	0,619	-0,584	0,093	-0,341	1

Nota: Matriz de correlación de Pearson (+) Correlación positiva. (-) Correlación negativa. *Correlación significativa. pH: Potencial de Hidrógeno, C.E: Conductividad Eléctrica, °T: Temperatura, OD: Oxígeno Disuelto, Pb: Plomo, Cr: Cromo, Zn: Zinc. Adaptado de software IBM Statistics.

En vertimientos, se presentaron correlaciones positivas significativas (Tabla 17), donde el Cr y Pb se correlacionaron, mientras que OD con Pb, Cr con OD obtuvieron una correlación negativa significativa. Los metales pesados plomo y cromo tienen una correlación negativa significativa con el Oxígeno disuelto, ya que las actividades antrópicas son las que generan estos metales y al ser en vertimientos el caudal es menor y por lo tanto el oxígeno disuelto es bajo y las concentraciones son mayores de los metales pesados (Pb y Cr).

Tabla 17. Correlación de los parámetros fisicoquímicos y los metales pesados (Pb, Cr y Zn) con los vertimientos.

	Ph	C.E	°T	OD	Pb	Cr	Zn
pH	1						
C.E	0,355	1					
°T	0,698	0,101	1				
OD	-0,590	-0,311	0,039	1			
Pb	0,502	0,110	-0,161	-,939*	1		
Cr	0,489	0,086	-0,189	-,855*	0,909*	1	
Zn	-0,105	0,360	0,158	0,220	-0,276	-0,252	1

Nota: Matriz de correlación de Pearson. (+) Correlación positiva. (-) Correlación negativa. *Correlación significativa. pH: Potencial de Hidrógeno, C.E: Conductividad Eléctrica, °T: Temperatura, OD: Oxígeno Disuelto, Pb: Plomo, Cr: Cromo, Zn: Zinc. Adaptado de software IBM Statistics.

Finalmente, respondiendo a la hipótesis planteada, para el presente estudio se pudo determinar que existe una variación de las concentraciones de metales pesados sobre el río Ocoa con respecto a la época de precipitación, así mismo, se observaron variaciones pequeñas de acuerdo a las condiciones fisicoquímicas pero no fueron estadísticamente significativas, por tanto, esto no significa ausencia de significancia, por lo que no se puede determinar de forma definitiva la ausencia de las consecuencias de los metales pesados sobre las características fisicoquímicas, pues al presentarse pequeñas variaciones posiblemente estos cambios se le atribuyen al aporte de metales pesados sobre el río Ocoa.

Adicionalmente, la poca variación de los parámetros fisicoquímicos podría suceder debido a diferentes factores entre ellos metodológicos, a que las distancias entre los puntos no fueron suficientes, pues distancias cercanas representan menor variación. Además, el tiempo del muestreo pudo influir ya que las características fisicoquímicas con las concentraciones de metales pesados pueden varían en el transcurso del día.

10. Conclusiones

Los metales pesados Plomo (Pb) y Cromo (Cr) presentan mayor concentración desde el primer al último punto de muestreo en el río Ocoa de acuerdo con el estudio. Teniendo en cuenta, tanto en precipitación baja y alta todas las estaciones presentaron valores que sobrepasan los límites permisibles de acuerdo por la Resolución 2115 del 2007, Decreto 1594 de 1984 y la OMS. Estos altos niveles de concentración pueden asociarse a los vertimientos directos que llegan al río, así como por la escorrentía, la cual arrastra residuos de la zona ribereña al cauce, al aumento en la actividad industrial, doméstica y agrícola (Faro de Vigo, 2017) o por el incremento de los asentamientos cercanos al cauce, pues el mayor aporte de metales pesados en el río Ocoa fueron por actividades agropecuarias y automotrices.

El Zinc (Zn) presenta una mayor concentración desde el primer al último punto de muestreo en época de precipitación alta sobrepasando los valores establecidos por la Resolución 2115 del 2007, el Decreto 1594 de 1984 y la OMS, esto se puede asociar al uso de fertilizantes y plaguicidas en fincas cercanas al río, los cuales llegan por escorrentía superficial en época de lluvia o también por agua de riego. Mientras que en precipitación baja los puntos 1,3,4 y 5 cumplieron con los valores permisibles de acuerdo con la Resolución 2115 del 2007 y OMS, pero no cumplió ninguno de los puntos con el Decreto 1594 de 1984.

En cuanto a las concentraciones de los metales pesados estudiados (Pb, Cr y Zn) en los vertimientos analizados se concluye que el Zinc (Zn) y Plomo (Pb) sobrepasan los valores permisibles establecidos por la Resolución 631 del 2015. Sin embargo, para el Plomo (Pb) se alcanzan niveles de concentración aceptables en los puntos de vertimiento, Barrio San Luís de Ocoa, bajo el puente del Ocoa (Vertimiento 1), el Puente Cra 43-Calle 49 sur, en la unión del barrio Porfía a la vía Villavicencio-Acacias (Vertimiento 2) y en el Puente río Ocoa, Vía Puerto López (Vertimiento 5) Esto puede asociarse a que las tuberías no contenían plomo o no existen industrias que aporten metal al río. El Cromo (Cr) para los vertimientos 1, 2, 3 y 5 cumplió con los valores establecidos por la resolución, lo que hace presumir que no existen vertimientos de industrias o actividades que lo incorporen al río.

De los 8 puntos de vertimientos analizados en el trayecto estudiado, contribuyen con concentraciones por encima de la normativa vigente para metales pesados, contribuyendo a la afectación negativa del cuerpo hídrico. Para el Pb, los vertimientos presentan una concentración total de 6,17 mg/l y un valor promedio de 0,77 mg/l. Con respecto al Cr, los vertimientos presentan un total 3,96 mg/l con un promedio de 0,495 mg/l. Por último, el Zn presentó el mayor aporte en términos absolutos (141 mg/l), con un promedio de 17,63 mg/l por cada vertimiento.

Las variables meteorológicas son un factor importante en la presencia de metales pesados en el río Ocoa, como lo demostraron los muestreos bajo diferentes condiciones de precipitación (Plomo 0,631, Cromo 0,941 y Zinc 0,833), por tanto, en el momento de la toma de muestras, las concentraciones pueden presentar una variación considerable, siendo que en condiciones de alta precipitación los valores de concentración de los metales pesados tienden a tener un aumento considerable en comparación de los valores obtenidos en condiciones de precipitación baja, debido al gran arrastre y crecimiento de caudal que se genera cuando las condiciones de precipitación son altas.

11. Recomendaciones

Se recomienda realizar monitoreos periódicamente en el cuerpo hídrico, sus afluentes y a los vertimientos que realicen descargas de aguas residuales en el río Ocoa, para poder evaluar sistemáticamente el monitoreo de la distribución, variación e incremento o decremento de las concentraciones de Plomo, Cromo y Zinc en el río.

Teniendo en cuenta los resultados de la concentración de los metales pesados a estudiar, se recomienda realizar control y regulación de todas las actividades que se implementan aledañas al río Ocoa.

Tener en consideración la opinión de las comunidades para poder identificar diversas fuentes de contaminación de origen antrópico que puedan estar siendo ocultadas a la vista de las autoridades competentes, y así poder tomar medidas en el asunto para controlar dichos vertimientos

Se recomienda realizar brigadas de salud aplicadas a la población aledaña, en donde se realicen controles de posibles epidemias generadas por enfermedades a base del consumo deliberado del recurso hídrico del río Ocoa, y así poder tomar medidas clínicas para mejorar el bienestar de la comunidad afectada.

Por otro lado, se recomienda realizar un monitoreo detallado de las actividades relacionadas con el petróleo y sus derivados, debido a que estas actividades son las que más se observan a lo largo de todo el trayecto estudiado, y que pueden ser actividades que den como resultado aguas residuales altamente contaminadas que posiblemente sean vertidas directamente al río.

Realizar campañas de concientización e información a las comunidades aledañas al río Ocoa y a las personas involucradas en el uso y aprovechamiento del recurso hídrico, para poder obtener el conocimiento necesario de la situación ambiental referente a la calidad del agua y por ende poder generar estrategias que se adecuen al buen manejo y conservación del río.

También, es recomendable que las autoridades involucradas en la mejora de la calidad del agua brinden una contribución económica importante y así poder realizar diversos estudios futuros en mejores condiciones y con mucha más precisión, y así poder llegar más a fondo del tema relacionado con la contaminación del recurso hídrico a base de los metales pesados Pb, Cr y Zn.

12. Bibliografía

- Contreras Pére, J., Leticia Mendoz, C., & GómeZ, A. (2004). Determinación de metales pesados en agua y sedimentos del río Haina. *Sistema de Información Científica Redalyc*, XXIX(1), 38-71. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/870/87029103.pdf>
- Goyenola , G. (2007). *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras - Conductividad*. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos, Bogota. Obtenido de http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf
- Hernández Cogollo, M. E., & Marrugo Negrete, J. L. (2016). Trihalometanos y arsénico en el agua de consumo en los municipios de Chinúy Corozal de Colombia: evaluación del riesgo a la salud. *Ingeniería y Desarrollo*, 34(1), 88-115. Obtenido de <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/6720/8968>
- Klavinš, M., Briede , A., Rodinov Ilga Kokorite, V., Kokorite, I., Parele , E., & Klavina, I. (2000). Heavy metals in rivers of Latvia. *Science of The Total Environment*, 262(1-2), 175-183. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/12266775_Heavy_Metals_in_Rivers_of_Latvia
- Rodríguez Espejo, M. R. (2014). Influence of Zinc concentration of seawater on its bioaccumulation in *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing (Rhodophyta, Gigartinaceae) Puerto Malabrigo, Ascope, La Libertad. Peru. *Arbaldoa*, 21(2), 367 - 380. Obtenido de [https://www.google.com/search?q=Influence+of+Zinc+concentration+of+seawater+on+its+bioaccumulation+in+Chondracanthus+chamissoi+\(C.+Agardh+\)+K%C3%BCtzing+\(Rhodophyta%2C+Gigartinaceae\)+Puerto+Malabrigo%2C+Ascope%2C+La+Libertad.+Peru&oq=Influence+of+Zinc+con](https://www.google.com/search?q=Influence+of+Zinc+concentration+of+seawater+on+its+bioaccumulation+in+Chondracanthus+chamissoi+(C.+Agardh+)+K%C3%BCtzing+(Rhodophyta%2C+Gigartinaceae)+Puerto+Malabrigo%2C+Ascope%2C+La+Libertad.+Peru&oq=Influence+of+Zinc+con)
- Romero Ledezma, K. P. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Española de Salud Pública*, 12, 45-46. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332009000100013
- Acosta , M. M., & Montilla Peña, J. X. (2011). *Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo, y sedimento y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del*

- rio Balsillas afluente del río Bogotá*. Trabajo de pregrado, Universidad de La Salle, Bogotá. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/128/
- Agroambiente. (2011). Calidad del agua. *Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales*, 80-98. Obtenido de http://www.agroambient.gva.es/estatico/areas/educacion/educacion_ambiental/educ/publicaciones/ciclo_del_agua/cicag/2/2_5_1/index.html
- Alonso, D., Latorre, S., Castillo, E., & Brandao, P. (Marzo de 2014). Environmental occurrence of arsenic in Colombia: A review. *Environmental Pollution*, 186, 272-281. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749113006428>
- Alvarez Arteaga, R. J. (19 de Octubre de 2018). *Evaluación de metales pesados en agua del río Ramis sector Crucero- San Anton y su interpretación en sorftware*. Tesis Magister, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8864>
- ATSDR. (Agosto de 2005). Resumen de salud pública Cinc. *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*, 1- 8. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs60.html
- ATSDR. (Agosto de 2005). Salud Pública - Cinc (Zinc). *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*, 1-8. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs60.html
- ATSDR. (2007). ToxFAQs™ sobre el plomo. *Division of Toxicology and Health Human Sciences.*, 1-2. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html
- Babativa Pulido, I. A., & Caicedo Molina, J. C. (2018). *Evaluación de presencia y distribución de los metales pesados Cromo, Níquel y Plomo en el río Ocoa, en la zona comprendida entre la desembocadura del caño Maizaro hasta el puente Murujuy, Municipio de Villavicencio-Meta*. Trabajo de pregrado, Universidad Santo Tomas de Aquino, Meta, Villavicencio. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12075/2018ivonbarativa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barajas Cruz, R. (2 de Agosto de 2018). El cromo orgánico en la engorda de bovinos. *CONtestogadero*, págs. 2-4. Obtenido de

<https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/el-cromo-organico-en-la-engorda-de-bovinos>

- Beltrán Pineda, M., & Gómez Rodríguez, A. M. (2015). *Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación*. Trabajo de grado, Universidad de Boyaca, Boyaca. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/317571874_Metales_pesados_Cd_Cr_y_Hg_su_impacto_en_el_ambiente_y_posibles_estrategias_biotecnologicas_para_su_remediacion
- Blanco Hernández, A. L., Alonso Gutiérrez, D., Jiménez de Blas, O., Santiago Guervós, M., & Manzano, B. (1998). Estudio de los niveles de Plomo, Cadmio, Cinc Y Arsénico, en aguas de la provincia de Salamanca. *Revista Española de Salud Pública*, 72(1), 18-20. Obtenido de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57271998000100007
- Chaves Córdoba, B., & Jaramillo Robledo, A. (1998). Regionalización de la temperatura del aire en Colombia. *Cenicafé*, 224-230. Obtenido de <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/860>
- Chávez Porras, Á. (2010). Descripción de la nocividad del Cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 1-10. Obtenido de <file:///D:/Dialnet-HidrogeoquimicaEnElAcuiferoCosteroDelEjeBananeroDe-4845697.pdf>
- Chávez Vallarino, C. (2011). *Detección de metales pesados en agua*. Tesis de pregrado, Instituto Nacional de astrofísica, óptica y electrónica., Tonantzintla, Puebla. Obtenido de <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/671/1/ChavezVC.pdf>
- Combariza Bayona, D. A. (2009). *Contaminación por metales pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de Plomo, Mercurio y Cadmio y alteraciones de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca) 2007*. Tesis Magister, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/2341/1/597588.2009.pdf>
- Cormacarena. (2011). *Formulación del plan de ordenamiento del recurso hídrico*. Informe ejecutivo, Cormacarena. Obtenido de *Formulación del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico*: <http://www.cormacarena.gov.co/descargarpdf.php?libro=2103>

- Cormacarena. (2014). *Plan regional de monitoreo*. Informe ejecutivo, Cormacarena, Villavicencio. Obtenido de http://www.cormacarena.gov.co/documentos/tua/PRM_2013-2014.pdf
- Cormacarena. (2019). *Información POMCA río Ocoa rad. 004875*. Villavicencio.
- Corpoica, Sena, & UT. (2007). *Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica Mayor del río Totare Convenio Cortolima*. Obtenido de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/POMCAS/2020/POMCA_TOTARE/FORMULACION
- Covarrubias, S. A., & Peña Cabriales, J. J. (2016). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 21. Obtenido de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.esp01.01>
- Delgado, M., & Pérez, C. (2018). *Proyecciones de actividad económica regional 2017-2021*. Trabajo informativo, FEDESARROLLO, Cundinamarca, Bogotá. Obtenido de https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3608/Repor_Enero_2018_Delgado_y_P%C3%A9rez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Díaz, N. A., Bárcena Ruiz, A., Fernández Reyes, E., & Galván Cejudo, A. (2015). 8. *Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*. Campus Universitario de Rabanales, Córdoba. Obtenido de https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf
- Dorado Cano, S. A., & Zamudio Toquica, Y. A. (2018). *Identificación de la Contaminación del Río Ocoa, en el Sector del Barrio Juan Pablo II de la Ciudad de Villavicencio, en el Primer Trimestre del Año 2018 para Buscar Estrategias que Mejoren la Calidad Ambiental del Mismo*. Trabajo de pregrado, Universidad Cooperativa, Meta, Villavicencio. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/7141>
- Faro de Vigo. (22 de Marzo de 2017). Presencia de metales pesados en el agua. *Faro de Vigo*, págs. 4-8. Obtenido de https://www.farodevigo.es/especiales/dia-mundial-agua-2017/2017/03/medir-reducir-presencia-metales-pesados-agua-n1248_2_36323.html

- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. *Revista Española de Salud Pública*, 26, 141-153. Obtenido de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272003000200008
- Flores, C., Del Angel, E., & Frías, D. (2018). Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. *Tecnología y Ciencias del agua*, IX(2), 5-17. Obtenido de <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1670/1350>
- Fuentes, F., & Massol-Deyá, A. (2002). *Manual de laboratorios ecológá de microorganismos*. Informe de laboratorio, Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico. Obtenido de <https://mydokument.com/manual-de-laboratorios-ecologia-de-microorganismos.html>
- Gavilanez García, L. E., & Puño Lecarnaque, N. (2016). Study of the lead concentration in the water of the river Tumbes period 2012- 2015 as a cause of the aurifera mining and its relationship with the health of the people of the caserío de Rica Playa - Tumbes - 2016. *UCV-SCIENTIA*, 9(1), 20-38. Obtenido de <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/UCV-SCIENTIA/article/view/1599>
- Gomez Álvarez, A., Villalba Atondo, A., Acosta Ruíz, G., & Castañeda Olivares, M. (2004). Metales pesados en el agua superficial del río San Pedro Durante 1997 Y 1999. *Internacional de contaminación Ambiental*, 20(1), 5-12. Obtenido de <http://bva.colech.edu.mx/xmlui/bitstream/handle/1/966/METALES%20PESADOS%20EN%20EL%20AGUA%20SUPERFICIAL%20DEL%20R%C3%8DO%20SAN%20PEDRO%20DURANTE%201997%20Y%201999.pdf?sequence=1>
- Hardoy, J., & Satterthwaite, D. (1987). Las ciudades del Tercer Mundo y el medio ambiente de pobreza. En *Las ciudades del Tercer Mundo y el medio ambiente de pobreza* (págs. 91-92). Texas: Latinoamerica. Obtenido de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/50653/WHF_1987_8_n1_p87-96_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Herrera Núñez, J., Rodríguez Corrales, J., Coto Campos, J. M., Salgado Silva, V., & Borbón Alpizar, H. (Enero de 2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha.*, XXVI(1), 27-36. Obtenido de www.Dialnet-EvaluacionDeMetalesPesadosEnLosSedimentosSuperfici-4835669.pdf

- Herrera Velasquez, W. A., & Rey Calderon, A. Z. (2018). *Implementación de biofiltro como agente depurador de aguas residuales del conjunto Aranjuez II, en el Municipio de Villavicencio Meta*. Tesis pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia, Meta, Villavicencio. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/4174>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2007). *Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales*. Informe instructivo, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2007). *pH en agua por electrometría*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfccdff1>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá. Obtenido de <http://orarbo.gov.co/es/el-observatorio-y-los-municipios/zonificacion-y-codificacion-de-cuencas-hidrograficas-e-hidrogeologicas-de-colombia-br>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2018). *Reporte de avance del estudio nacional del agua 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios, Bogotá, D.C. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/24277/0/Cartilla+ENA+pags.pdf/41815df7-5a90-4d9e-bcb4-a590c2702087>
- Laino Guanes, R. M., Bello Mendoza, R., Gonzáles Espinosa, M., Ramírez Marcial, N., Jiménez Otárola, F., & Musálem Castillejos, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VI(4), 61-74. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000400004

- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Revista Española de Salud Pública*, 14(2), 145-153. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612016000200017&script=sci_abstract&tlng=pt
- Lozano Soldevilla, G. (2009). *Metales pesados: aportaciones al estudio toxicológico de especies y alimentos marinos en las Islas Canarias*. Tesis, Universidad de la Laguna. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=38669>
- Maldonado, J. M. (30 de Noviembre de 2009). Cuidades y contaminación ambiental. *Revista de ingeniería*, 13(2), 66-71. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1210/121015710002.pdf>.
- Mancilla Villa, O. R., Fregoso Zamorano, B. E., Hueso Guerrero, E. J., Guevara Gutiérrez, R. D., & Palomera García, C. (2017). Ionio strength and heavy metals in irrigation water basin Ayuquila-Tuxcacuesco-Armeria river. *Revista Española de Salud Pública*, 35(3), 57-78. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292017000300115
- Marín, J. (19 de Noviembre de 2009). En panorama sombrío está el Medio Ambiente de Cali según investigación de la UniValle. *El tiempo*, págs. 1-5. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-6631708>
- Marrugo Negrete, J., & Paternina Uribe, R. (2011). Evaluación de la contaminación por metales pesados en la Ciénaga La Soledad y Bahía de Cispatá, cuenca del bajo Sinú, Departamento de Córdoba. *Revista Española de Salud Pública*, 1(2), 121-131. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/347226295/EVALUACION-DE-LA-CONTAMINACION-POR-METALES-PESADOS-EN-LA-CIENAGA-LA-SOLEDAD-Y-BAHIA-DE-CISPATA-CUENCA-DEL-BAJO-SINU-CORDOBA-1-pdf>
- Mero Valarezo, M. (2010). *Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en Moluscos Bivalvos de interés comercial de cuatro esteros del Golfo de Guayaquil*. Tesis Magister, Universidad de Guayaquil, Cuataqui-Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/776/1/Determinaci%C3%B3n%20de%20metales%20pesados%20en%20moluscos%20bivalvos%20de%20inter%C3%A9s%20comercial%20de.pdf>

- Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). (1997). *Tomo III: Catálogo de Estándares Ambientales*. Obtenido de <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/Vol342.htm#Plomo:%20compuestos%20org%C3%A1nicos>
- Montalvo, J., García, I., Loza, S., Esponda, S., César, M., González de Zaya, R., & Hernández, L. (2008). *Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de aguas interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba*. Camagüey. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/279446149_Oxigeno_disuelto_y_materia_orgánica_en_cuerpos_de_aguas_interiores_del_Archipielago_Sabana-Camaguey_Cuba
- Morales Robayo, P. A., & Rojas Avirama, R. A. (2018). *Evaluación de presencia y distribución de Arsénico y Cadmio en el río Ocoa, Municipio de Villavicencio, Meta*. Tesis, Universidad Santo Tomás de Aquino, Meta, Villavicencio. Recuperado el 22 de Junio de 2019, de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13700/2018paulamorales.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Navarro, E., & Sabater, S. (2004). Contaminación de los ríos por metales pesados. *Investigación y ciencia*, 17-21. Obtenido de <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/dopaje-gnico-383/contaminacin-de-los-ros-por-metales-pesados-1721>
- Ojeda B. , E. O., & Arias Uribe, R. (2000). *Informe nacional sobre la gestión del agua en Colombia*. Informe tecnico, Cali. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/infonalagua>
- OMS. (21 de Marzo de 2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres
- Posada , J., Roldán, G., & Ramírez, J. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 48(1), 59-70. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/18151>
- Ramirez Gonzales, A. (1998). *Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y estadísticas y analisis*. Bogota: Fundación de la Universidad de Bogota. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/308020822_Limnologia_colombiana_Aportes_a_su_conocimiento_y_estadísticas_de_Analisis
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González , E. (2016). Contaminación por metales pesados:Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería*,

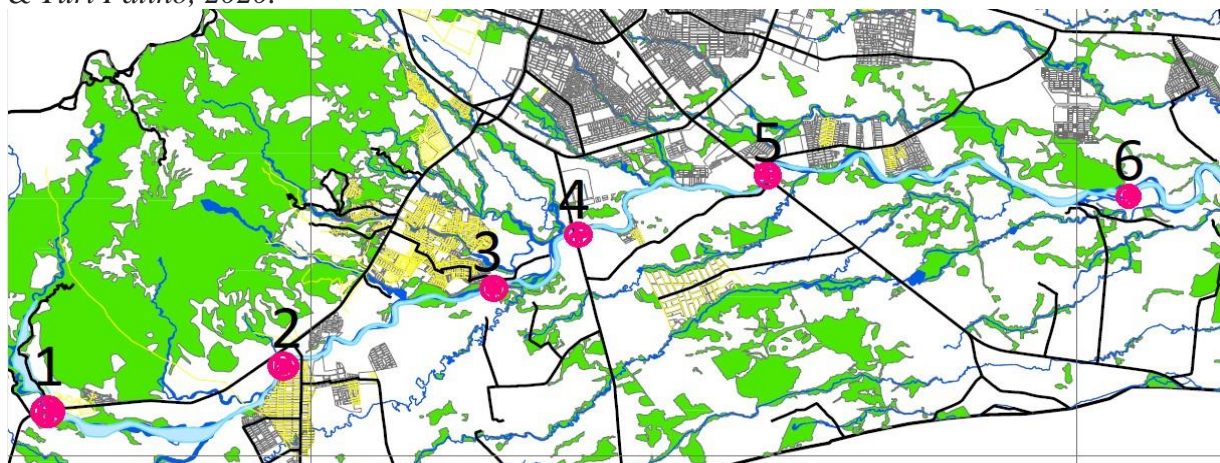
- Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
- Rodríguez Pimentel, H. (13 de Marzo de 2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. *iAgua Magazine* 25, págs. 1-3. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Rodriguez, M. R. (2014). *Influencia de la concentración de Zinc del agua de mar sobre su bioacumulación en Chondracanthus chamissoi (C . Agardh) Malabrigo , Ascope , La Libertad*. Informe tecnico, Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <http://journal.upao.edu.pe>
- Sánchez, F., & Corredor, S. (2016). *Metales tóxicos en Colombia: Presencia, origen, distribución y contaminación en componentes bióticos y abióticos*. Informe tecnico, Universidad Santo Tomas de Aquino, Bogota. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2939/2015sharoncorredor1.pdf?sequence=11&isAllowed=y>
- Sarmiento, M. I., Idrovo, Á. J., Restrepo, M., Díaz M, M., & González, A. (1999). Evaluación del impacto de la contaminación del Embalse del Muña sobre la salud humana. *Salud publica*, 1(2), 159-171. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/22350/1/18950-61825-1-PB.pdf>
- Segura Trian, L. E. (2007). *Estudio de antecedentes sobre la contaminación hidrica en Colombia*. Tesis pregrado, Escuela superior de Administración pública ESAP, Bogota D.C. Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio%20de%20antecedentes%20sobre%20la%20contaminaci%C3%B3n%20h%C3%ADdrica.pdf>
- Sotero Solís, V., & Alva Astudillo, M. (2013). Contenido de metales pesados en agua y sedimento en el bajo Nanay. *Ciencia amazónica*, III(1), 24-32. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/309141323_Contentido_de_metales_pesados_en_agua_y_sedimento_en_el_bajo_Nanay
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel , V., Rosales, M., & de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado problemas ambientales y opciones*. Roma: Livestock's Long Shadow. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/273308193_La_Larga_Sombra_del_Gandado_Problemas_Ambientales_y_Opciones/link/54fd926a0cf2c3f5242517c4/download

- The California Water Boards. State Water Resources Control Board. (2010a). *Folleto Informativo Temperatura*. Obtenido de https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3120sp.pdf
- The California Water Boards. State Water Resources Control Board. (2010b). Folleto Informativo Oxígeno Disuelto (OD). *The California Water Boards. State Water Resources Control Board*, 5. Obtenido de https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf
- Trujillo Gonzáles, J. M. (2014). *Evaluación de tres zonas de la ciudad de Villavicencio a partir de las concentraciones de metales pesados presentes en el polvo vial*. Maestría en Ciencias Ambientales, Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano, Bogota. Obtenido de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/1762>
- Unillanos. (2015). *Cuenca alta del río Meta: Una mirada socioambiental a los ríos Guayuriba y Ocoa y al caño Quenane-Quenanito*. Informe tecnico, Unillanos, Bogota. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/292980675_Cuenca_alta_del_rio_Meta_Una_mirada_socioambiental_a_los_rios_Guayuriba_y_Ocoa_y_al_Cano_Quenane-Quenanito
- Vásquez, D. C. (2013). *Determinación espacio temporal de elementos traza (Pb, Cd, Cu, Mn, Zn, Fe, Ni, Cr, Hg y As) en bivalvos (Mytilus galloprovincialis y Perumytilus purpuratus) y sedimentos de la VIII y X regiones de Chile*. Tesis pregrado, Universidad Austral de Chile, Valdivia-Chile. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/fcm491d/doc/fcm491d.pdf>
- Villarraga Gómez, D. (2019). *Análisis de los factores de contaminación por metales pesados en el río Tunjuelo*. Tesis pregrado, Universidad Militar Nueva Granada, Bogota. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32405/VillarragaG%C3%B3mezDaniela2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villegas Jiménez, N. E. (2011). *Usos potenciales del recurso hídrico en las cuencas en ordenación*. Informe tecnico, Cormacarena, Villavicencio. Obtenido de [file:///C:/Users/YURI%20ACOSTA/Downloads/CAPITULO%203.%20Usos%20potenciales%20del%20agua%20DEF%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/YURI%20ACOSTA/Downloads/CAPITULO%203.%20Usos%20potenciales%20del%20agua%20DEF%20(1).pdf)

- Wang , L., Wang, Y., Xu , C., An Suming Wang, Z., & Wang, S. (2011). Analysis and evaluation of the source of heavy metals in water of the River Changjiang. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173(1), 301–313. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/41826437_Analysis_and_Evaluation_of_the_Source_of_Heavy_Metals_in_Water_of_the_River_Changjiang
- Zafra Mejía, C., Santamaría Galindo, D., & Torres Galindo, C. (2015). Análisis climático de la concentración de metales pesados asociados al sedimento depositado sobre vías urbanas. *Salud pública*, III(17), 351-364. Obtenido de <https://doi.org/10.15446/rsap.v17n3.46672>
- Zorrilla Domenichi, M. F. (2011). *Estado del arte sobre la presencia de metales pesados en tejidos y agallas de peces*. Tesis pregado, Universidad autónoma de occidente, Santiago de Cali. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/1637/1/TAA00771.pdf>

Apéndices

Apéndice A. Área de estudio del río Ocoa visto desde el software ArcMap 10.2.2. por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.



Apéndice B. Curva de patrón de Zinc, por Axel Sánchez. & Yuri Patiño, 2020.

