

**EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA
MEDIANTE EL PROCESO DE AUTODEPURACIÓN EN UN TRAMO DEL CURSO
MEDIO DEL RÍO CESAR.**

AUTORES:

MARÍA JOSÉ MANCILLA SÁEZ

MARIANELLA MANCILLA SÁEZ

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR-CESAR**

2022

**EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA
MEDIANTE EL PROCESO DE AUTODEPURACIÓN EN UN TRAMO DEL CURSO
MEDIO DEL RÍO CESAR.**

AUTORES:

MARÍA JOSÉ MANCILLA SÁEZ

MARIANELLA MANCILLA SÁEZ

DIRECTOR: ING. JOSE LUIS RODRÍGUEZ CASTILLA

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR-CESAR**

2022



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Nota de aceptación

Firma presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Valledupar ____ de ____ 2022

Agradecimientos

Agradezco a DIOS primeramente por darme vida y salud para poder culminar mis estudios, por guiarme en el proceso, por darme su mano cuando creía que no lo lograría, a él le debo todos mis logros. Le agradezco a mi madre que sin ella nada de esto sería posible, su tenacidad y sus ganas de sacarme adelante permitieron que yo haya alcanzado esta meta tan anhelada. Le agradezco muy especialmente a mi amiga, hermana y compañera de tesis Marianella Mancilla por estar siempre a mi lado, por ser mi apoyo en el camino, y por ser mi dupla en este gran objetivo de nuestras vidas. Le agradezco también a mis compañeros y docentes, que me acompañaron en este recorrido de mi carrera profesional, los cuales me aportaron su conocimiento y me hicieron crecer intelectualmente, especialmente a mis amigas Laura P. y Laura G. que siguen siendo parte importante de mi vida.

María José Mancilla Sáez

Agradezco primeramente a Dios por guiarme y cuidarme en cada paso; a mi madre por quererme y apoyarme a lo largo de este camino, por enseñarme a nunca desfallecer y creer en mí; a María José Mancilla mi hermana y compañera no solo de la vida, sino también de este proyecto que emprendimos juntas; a mi director el ing. Jose Luis Rodríguez Castilla por su apoyo y orientación a lo largo del desarrollo de esta trabajo; a mis amigas Laura Gómez, Dana Tapias y Laura Parodi, porque ellas son la clara definición de amistad y compañerismo; y por ultimo a mis profesores y alma mater la Universidad Popular del Cesar por sus enseñanzas y permitirme crecer a nivel profesional.

Marianella Mancilla Sáez

Dedicatoria

Le dedico este proyecto a DIOS que me dio la sabiduría y el entendimiento para poder culminar etapa tan importante. Le dedico este triunfo a la mujer más valiosa de mi vida, mi madre Jesús Elena Sáez, que es mi motor, mi fuerza, que sin su apoyo y su amor no hubiese alcanzado este logro. También le dedico esta meta a mis abuelos Ana Dolores Otorora y Hernando Mancilla que han sido una parte fundamental en mi vida y me han acompañado siempre a lo largo de mis años. A mi padre Gerson Mancilla por ser un soporte y apoyo en mi carrera. A mis tíos que han estado siempre para darme su apoyo cuando lo he necesitado. A mi novio Geovany Salazar por ser mi motivador y alentarme a nunca desfallecer.

María José Mancilla Sáez

Quiero dedicar este proyecto de grado a Dios por permitirme vivir este momento llena de salud y bendiciones; a mi madre Elena Sáez por darme la vida y ser mi mayor motor para salir adelante, por enseñarme a ser fuerte y a esforzarme por lo que quiero, por ser mi sostén en las pruebas más difíciles y por ayudarme a construir la mujer que hoy soy; a mi padre Gerson Mancilla por su compañía, apoyo, amor y presencia a lo largo de mi vida; a mis abuelos Ana y Hernando que han sido otros padres para mí, amándome y acompañándome siempre y por ultimo a mis tíos y primos porque en los momentos más retadores me han brindado su mano.

Marianella Mancilla Sáez

Resumen

Este proyecto de investigación se desarrolló en un tramo de la cuenca media del río Cesar con el propósito de determinar la calidad del agua, por lo que se planteó el objetivo de evaluar el porcentaje de remoción de materia orgánica mediante el proceso de autodepuración en un tramo del curso medio del río Cesar, en el cual se vierten aguas residuales, por consiguiente se establecieron cuatro estaciones de monitoreo a lo largo del río siguiendo el Protocolo de Monitoreo del Agua (IDEAM, 2017); donde se evaluaron con una frecuencia de una vez al mes, durante un periodo de cuatro meses los parámetros de OD y DBO_5 ; empleando el modelo matemático de Streeter y Phelps y teniendo en cuenta los parámetros físicos del río como ancho, longitud, tirante, caudal y temperatura. Posteriormente al obtenerse los resultados de las concentraciones en el laboratorio de la Universidad Popular del Cesar dio como resultado que en la estación uno (EM1, San Juan del Cesar) los valores promedio de OD y DBO_5 fueron de 8,15 mg/L y 7,25 mg/L respectivamente; para la estación dos (EM2, Guacochito) los valores promedio de OD y DBO_5 fueron de 8,4 mg/L y 6,5 mg/L respectivamente; para la estación tres (EM3, Puente Salguero) los valores promedio de OD y DBO_5 fueron de 3,8 mg/L y 52,5 mg/L respectivamente; por último de la estación cuatro (EM4, Las Pitillas) los valores promedio de OD y DBO_5 fueron de 4,4 mg/L y 28 mg/L respectivamente. Después se procedió a determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica la cual utilizando solo los valores obtenidos en el laboratorio arrojó un valor de 46%, mientras en el modelo Streeter y Phelps se obtuvo un valor de 40,88%.

Abstract

This research project was carried out in a section of the middle basin of the Cesar River in order to determine the water quality, therefore, the objective was to evaluate the percentage of organic matter removal through the process of self-purification in a section of the middle course of the Cesar River, in which wastewater is discharged, therefore four monitoring stations were established along the river following the Water Monitoring Protocol (IDEAM, 2017); the OD and BOD parameters were evaluated once a month over a period of four months; using the mathematical model of Streeter and Phelps and taking into account the physical parameters of the river such as width, length, tension, flow rate and temperature. After obtaining the results of the concentrations in the laboratory of the Universidad Popular del Cesar, the result was that in station one (EM1, San Juan del Cesar) the average values of OD and DBO₅ were 8.15 mg/L and 7.25 mg/L respectively; for station two (EM2, Guacochito) the average values of OD and DBO₅ were 8.4 mg/L and 6.5 mg/L respectively; for station three (EM3, Salguero Bridge) the average values of OD and DBO₅ were 3.7 mg/L and 52.5 mg/L respectively; and for station four, respectively (EM4, Las Pitillas) average OD and BOD values were 4.4 mg/L and 28 mg/L respectively. Then proceeded to determine the percentage of removal of organic matter which using only the values obtained in the laboratory yielded a value of 46%, while in the model Streeter and Phelps a value of 42.02% was obtained.

Tabla de Contenido

Abstract.....	7
Lista de Tablas	11
Listas de Gráfica	11
Lista de Figuras.....	12
Lista de Anexos	12
Listas de Ecuaciones	13
Introducción	14
1. Título.....	15
1.1. Planteamiento del Problema.....	15
1.2. Formulación del Problema	16
2. Justificación.....	17
3. Objetivo	18
3.1. Objetivo General	18
3.2. Objetivos Específicos	18
4. Marco Referencial	19
4.1. Antecedentes de la Investigación	19
4.2. Marco Teórico	21
4.2.1. <i>Calidad del Agua</i>	22
4.2.2. <i>Contaminación de Ríos</i>	23
4.2.3. <i>Contaminación por aguas residuales</i>	23
4.2.4. <i>El Río como Receptor de Aguas Residuales</i>	24
4.2.5. <i>Contaminación del Agua por Materia Orgánica</i>	24
4.2.6. <i>Autodepuración del Agua</i>	25
4.2.7. <i>Modelo de Streeter y Phelps</i>	26
4.2.8. <i>Constante de Desoxigenación (K1)</i>	28
4.2.9. <i>Constante de Reoxigenación (K2)</i>	28
4.2.10. <i>Modelo de Disminución del Oxígeno Disuelto</i>	30
4.2.11. <i>Concentración de Saturación de OD</i>	30

4.3.	Marco Conceptual	31
4.3.1.	<i>Aguas Residuales</i>	31
4.3.2.	<i>Autodepuración</i>	31
4.3.3.	<i>Caudal</i>	32
4.3.4.	<i>Materia Orgánica</i>	32
4.3.5.	<i>Materia Orgánica Disuelta</i>	32
4.4.	Marco Contextual.....	32
4.5.	Marco Legal	34
5.	Marco Metodológico.....	35
5.1.	Línea y Sublínea de Investigación	35
5.2.	Tipo de Investigación.....	35
5.3.	Nivel de Investigación.....	35
5.4.	Población de Estudio.....	35
5.5.	Muestra Poblacional.....	35
5.6.	Desarrollo Metodológico.....	36
5.6.1.	<i>Etapa 1: Caracterización de las Condiciones Iniciales de los Parámetros de OD, Caudal, Temperatura, Longitud y Profundidad, del Río Cesar en un Tramo de su Curso Medio en Periodos de Estiaje y de Lluvias.</i>	36
5.6.2.	<i>Etapa 2: Determinación de las Concentraciones DBO5 y OD en un Tramo del Curso Medio del Río Cesar en Periodos de Estiaje y Periodos Húmedos.</i>	38
5.6.3.	<i>Etapa 3: Aplicación del Modelo Streeter y Phelps para Obtener el Porcentaje de Remoción de Materia Orgánica en un Tramo del Curso Medio del Río Cesar.</i>	40
5.7.	Diseño de la Investigación	42
6.	Resultados y Análisis.....	43
6.1.	Medición de los Parámetros de Campo.....	43
6.1.1.	<i>Temperatura</i>	43
	43	
6.1.2.	<i>Velocidad</i>	44
6.1.3.	<i>Caudal</i>	44
6.1.4.	<i>Tirante de Agua y Ancho del Río</i>	46

6.1.5. Longitud.....	47
6.2. Obtención de los Valores de DB05 y OD en el Laboratorio	48
6.2.1. Oxígeno Disuelto	48
6.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno	50
7. Conclusiones	55
8. Recomendaciones	56
Referencias Bibliográficas.....	57
Webgrafía.....	58
Anexos	62

Lista de Tablas

Tabla 1. Factor de corrección para concentraciones de saturación de oxígeno disuelto por el efecto de la salinidad (cloruros) en función a la temperatura.	23
Tabla 2. Valores de las constantes para el modelo Streeter y Phelps.	30
Tabla 3. Normativa correspondiente al marco legal.	34
Tabla 4. Coordenadas de los puntos de monitoreo.	37
Tabla 5. Valores de temperatura del agua en las estaciones de monitoreo.	43
Tabla 6. Velocidad en (m/s) del agua en las cuatro estaciones de monitoreo.	44
Tabla 7. Valores de caudal en las estaciones de monitoreo.	45
Tabla 8. Profundidad del agua en las cuatro estaciones de monitoreo.	46
Tabla 9. Ancho del agua en las cuatro estaciones de monitoreo.	47
Tabla 10. Valores de longitud en la cuenca media del río Cesar.	47
Tabla 11. Valores de OD en las cuatro estaciones de monitoreo.	48
Tabla 12. Valores de DB05 en las cuatro estaciones de monitoreo.	50
Tabla 13. Tabulación y análisis del modelo Streeter y Phelps.	52

Listas de Gráficas

Gráfica 1. Valores de temperatura del agua en las estaciones de monitoreo.	43
Gráfica 2. Valores de caudal en las estaciones de monitoreo.	45
Gráfica 3. Valores de OD en las cuatro estaciones de monitoreo.	49
Gráfica 4. Valores de DB05 en las cuatro estaciones de monitoreo.	50
Gráfica 5. Relación DB05/OD por estación de monitoreo.	51

Lista de Figuras

Figura 1. Recorrido del río Cesar incluyendo los puntos de monitoreo ubicados en un tramo de su curso medio.....	33
Figura 2. Zonas de estudio en un tramo del curso medio del río Cesar.....	37
Figura 3. Medición de los parámetros de campo.....	38
Figura 4. Recolección de las muestras para DBO5, OD y Cloruros.....	39
Figura 5. Obtención de los valores de DBO5 y OD en el laboratorio.....	39

Lista de Anexos

Anexo 1. Recolección de muestra.....	62
Anexo 2. Medición de velocidad.....	62
Anexo 3. Medición de profundidad.....	63
Anexo 4. Medición de temperatura y ancho.....	63
Anexo 5. Obtención de valores en el laboratorio.....	64

Listas de Ecuaciones

Ecuación 1.....	26
Ecuación 2.....	27
Ecuación 3.....	27
Ecuación 4.....	27
Ecuación 5.....	28
Ecuación 6.....	28
Ecuación 7.....	29
Ecuación 8.....	29
Ecuación 9.....	29
Ecuación 10.....	30
Ecuación 11.....	30
Ecuación 12.....	31
Ecuación 13.....	31
Ecuación 14.....	40

Introducción

La contaminación de los ríos es una problemática que se ha venido aumentando con los años. Las aguas vertidas domésticas e industriales que no reciben ningún tipo de tratamiento son los principales causantes de la contaminación de los cuerpos de agua. Además de esto existen otros tipos de actividades tales como; la ganadería, la agricultura, la minera, entre otras, las cuales también afectan la calidad del agua (Isch, 2011).

Se denomina contaminación del agua cuando la capacidad del río de autodepurarse es menor a la cantidad de materia orgánica presente en mismo, esto quiere decir que los microorganismos necesitan de oxígeno para degradar la materia orgánica, pero si esta concentración es mayor a la capacidad del río de depurar la materia, entonces se puede concluir que el agua está contaminada. Para medir la concentración de la materia orgánica existen diferentes formas como lo son la determinación de la DBO_5 y la DQO (Proaño, 2007).

La presente investigación tiene como finalidad evaluar la calidad del agua del río Cesar con respecto a la materia orgánica, ya que, una de las mayores problemáticas que vive el río es el vertimiento de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento previo, provenientes de la ciudad de Valledupar, es por ello que se ha escogido como zona de estudio un tramo del curso medio, debido a que es el área con mayor grado de afectación por la alta concentración de materia orgánica. Entre las diferentes técnicas que existen para determinar la cantidad de materia orgánica presente en un cuerpo de agua, se encuentra la DBO_5 , que es la recomendada para determinar la remoción de la materia orgánica de manera natural mediante las características propias de sus aguas. De acuerdo a lo anterior, se emplea el modelo matemático Streeter y Phelps para establecer el porcentaje de remoción de materia orgánica, permitiendo así conocer la capacidad que tiene el río de purificarse.

1. Título

EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA MEDIANTE EL PROCESO DE AUTODEPURACIÓN EN UN TRAMO DEL CURSO MEDIO DEL RÍO CESAR.

1.1. Planteamiento del Problema

Alrededor del mundo, las personas generan aguas residuales con la realización de sus actividades, el 80% de estas aguas son liberadas al ambiente sin tratamiento previo (UNESCO, 2018). Tres cuartas partes de las aguas residuales generadas en Latinoamérica, regresan a los ríos y otras fuentes hídricas generando un serio problema para la salud pública y el medio ambiente (Banco Mundial, 2013); así mismo, el agua contaminada restringe su uso y reutilización de forma segura y productiva de las fuentes hídricas (OMS & ONU-HABITAT, 2018).

La principal problemática de la calidad del agua es la eutrofización, proceso que se refleja con un aumento en los niveles de nutrientes, y que afecta a la calidad y usos del agua. Las principales fuentes de nutrientes provienen de aguas residuales domésticas e industriales, actividades agrícolas y emisiones atmosféricas (ONU, 2014), las cuales aportan materia orgánica en abundancia y a su vez contaminan los ríos al degradarse, ya que para tal proceso los microorganismos necesitan oxígeno disuelto en grandes proporciones, lo que perjudica la vida y permanencia de los ecosistemas acuáticos (Suarez, 2008).

El río Cesar es un cuerpo de agua que posee un amplio caudal, y de acuerdo a su situación actual no es aprovechado por la población para sus diferentes actividades, entre ellas; de abastecimiento, económicas y recreacionales. Debido a que 2000 litros de aguas residuales provenientes de la ciudad de Valledupar caen al río Cesar sin ningún tipo de tratamiento previo (Comité Agropecuario del Departamento del Cesar, 2015) citado por (El Heraldo, 2015), siendo el sector del puente salguero el punto más crítico de contaminación orgánica y material fecal, dado que las piscinas de aguas servidas se encuentran ubicadas muy cerca de allí. La concentración de materia orgánica en el agua excede los valores permisibles por el decreto 1594 de 1984 en su

artículo 39 para aguas naturales con fines de uso doméstico y el artículo 45 para aguas naturales con fines de conservar de la flora y la fauna (Universidad del Atlántico, 2011).

El uso de aguas contaminadas por materia orgánica, puede ocasionar en las personas enfermedades tales como: el cólera, la fiebre tifoidea, la diarrea, la disentería y la poliomiелitis (ONU, 2019). En la zona de estudio, un alto porcentaje de las enfermedades en la piel ocasionadas en las personas están relacionadas con un cuerpo de agua totalmente contaminado (Gutiérrez, 2015).

Debido a la problemática que enfrenta el río nace la necesidad de determinar la capacidad que posee el mismo de remover o autodepurar la materia orgánica, la que será analizada mediante la concentración de DBO_5 .

1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es el porcentaje de remoción de materia orgánica mediante el proceso de autodepuración en función de las características fisicoquímicas, en un tramo del curso medio del río Cesar?

2. Justificación

La situación del río Cesar es preocupante dado que durante su recorrido es contaminado a causa de las actividades económicas realizadas por parte de las poblaciones aledañas, actividades tales como: la agricultura, la ganadería, la explotación de material de arrastre, entre otras; aunque cada una de estas afectan negativamente al río, es el vertimiento de aguas residuales sin ningún tratamiento previo provenientes de la ciudad de Valledupar quien más vulnera sus aguas (Guzmán, 2013).

Es de suma importancia desarrollar esta investigación, porque nos proporciona un reporte del estado actual del curso medio del río Cesar, esta es realizada mediante la determinación de la capacidad que posee el río de autodepurarse, y dependiendo del resultado, otorgar información que permita redireccionar o tomar nuevas medidas en el tratamiento de las aguas residuales, recomendar los posibles usos que se le puedan dar al agua y hacer cumplir los parámetros de vertimientos estipulados en la Resolución 631 de 2015.

Por otra parte, el análisis a las aguas del río Cesar da a conocer a las poblaciones que se encuentran alrededor de la zona de estudio el grado de contaminación por materia orgánica que posee, previniéndolos de posibles enfermedades que les puedan surgir al momento de utilizarla, ya sea para el consumo, recreación, actividades económicas u otras. No solo los habitantes cercanos al área de investigación se ven beneficiados con este proyecto, sino también aquellos que se encuentran ubicados en el curso bajo del río Cesar, pues el estudio les brinda la información necesaria para conocer la calidad del agua y para qué fines puede ser aprovechada.

3. Objetivo

3.1. Objetivo General

Evaluar el porcentaje de remoción de materia orgánica mediante la autodepuración en un tramo del curso medio del río Cesar.

3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las condiciones iniciales de los parámetros de caudal, temperatura, longitud y profundidad del río Cesar en un tramo de su curso medio en periodos de estiaje y periodos húmedos.
- Determinar las concentraciones de DBO_5 y OD en un tramo del curso medio del río Cesar en periodos de estiaje y periodos húmedos.
- Aplicar el modelo Streeter y Phelps para obtener el porcentaje de remoción de materia orgánica en un tramo del curso medio del río Cesar.

4. Marco Referencial

4.1. Antecedentes de la Investigación

Zabaleta (2016), desarrolla la investigación titulada **EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN FUNCIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL RÍO GRANDE – DISTRITO CELENDÍN**, para optar por el título de Ingeniero Ambiental, en la universidad nacional de Cajamarca, con el propósito de conocer las características del ecosistema fluvial. Esta investigación se lleva a cabo en tres etapas; estas son: ETAPA1: en esta fase de la investigación, el autor establece los tres puntos de monitoreo. ETAPA 2: el autor recolecta las muestras durante un periodo de seis meses tanto en época de estiaje como en época húmeda. ETAPA 3: por último, se realiza el procesamiento de los datos, para posteriormente obtener los valores de remoción de la materia orgánica. El resultado de la investigación arroja que la remoción de materia orgánica biodegradable en el Río Grande de acuerdo a los valores obtenidos en las muestras laboratorio fue del 81% y aplicando el modelo de Streeter y Phelps fue del 77%.

Rivera (2015), desarrolla la investigación titulada **EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE OXIDACIÓN Y REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN LA AUTOPURIFICACIÓN DE UN RÍO DE MONTAÑA, EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**, con la finalidad de conocer las tasas cinéticas y la evaluación de la autopurificación del río Frío, debido a la captación de la carga orgánica. Esta investigación se lleva a cabo en tres etapas; las cuales son: ETAPA 1: en esta fase de la investigación, el autor evalúa las concentraciones de parámetros que evidencian la cantidad de materia orgánica disuelta y particulada en cada uno de los (7) tramos escogidos en el río. ETAPA 2: el autor realiza una serie de inspecciones y muestreos desde el 2008 al 2012, en época de estiaje y húmedas. ETAPA 3: el autor determina la materia orgánica disuelta y particulada del río mediante la evaluación de las tasas de desoxigenación, reaireación, sedimentación y decaimiento de patógenos. Los resultados de la investigación son que comparando las tasas de desoxigenación y reaireación, se observa una relación aproximada de 10 veces mayor la reaireación, lo cual explica cierta capacidad del río para absorber fácilmente el oxígeno, sin embargo, la concentración de carga no permite su recuperación.

(Duarte et al, 2015), desarrollan la investigación titulada DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN EN UN TRAMO DEL RÍO FONCE EN SAN GIL CON BASE EN EL BALANCE DE OXÍGENO DISUELTO, EN LA FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE SAN GIL, con la finalidad de medir la capacidad de autodepuración que tiene el río Fonce para la gestión integral de su cuenca y la formulación de estrategias adecuadas en la sostenibilidad del recurso. Esta investigación se lleva a cabo en cuatro etapas; estas etapas son: ETAPA 1: en esta fase de la investigación, los autores realizan la respectiva revisión bibliográfica primaria y secundaria, iniciando la búsqueda desde las entidades que tienen responsabilidades sobre el río. ETAPA 2: en segunda instancia los autores determinan los parámetros adecuados para medir la capacidad que posee el río Fonce de autodepurarse y se escoge el modelo para oxígeno disuelto. Además, se establecen los sitios donde se presentan descargas y usos del agua, analizando si hay extracciones de agua para consumo humano a lo largo del río, con lo cual se definen los puntos de muestreo y se diseña el plan de monitoreo. ETAPA 3: los autores realizan mediciones de campo de los parámetros definidos, en los puntos elegidos en un periodo de 15 días. ETAPA 4: por último, los autores desarrollan el modelo de oxígeno definido, la elaboración de la curva de oxígeno disuelto, la determinación con los datos obtenidos en campo y los valores de los Índices de contaminación ICO's. Los resultados de la investigación son que la contaminación por materia orgánica (ICOMO) se clasifica como de contaminación "media", donde el principal factor es la contaminación por Coliformes. El porcentaje de autodepuración del río Fonce en el tramo de estudio, se determina en un 24,2% teniendo en cuenta las cargas de entrada y una capacidad de recuperación de oxígeno de 20,54%. Si solo se tiene en cuenta la carga que recibe en el tramo de estudio, la capacidad de autodepuración es del 100% puesto que en este tramo degrada más del que recibe debido a los vertimientos.

(Montes et al, 2013), desarrollan la investigación titulada MODIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL RÍO MAGDALENA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO, EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, con la finalidad de conocer como el incremento en la temperatura del aire y los cambios en el comportamiento del agua, afectan la capacidad de autodepuración de los ríos del país, a través de un estudio de caso. Esta investigación se lleva a cabo en cuatro etapas; estas son: ETAPA 1: en

esta fase de la investigación, los autores seleccionan el modelo para oxígeno disuelto que mejor describa su comportamiento en el río Magdalena. ETAPA 2: en segunda instancia los autores construyen el escenario base que corresponde a representar las condiciones actuales. ETAPA 3: se genera el escenario con cambio climático a partir de datos de entrada al modelo, correspondientes a las proyecciones para el año 2020 de las variables de caudal y temperatura del aire, generadas para la zona de estudio. ETAPA 4: por último, se comparan las condiciones actuales y las condiciones futuras para analizar el comportamiento del consumo de OD y la remoción de DBO y se identifica el intervalo de variación para el río Magdalena bajo escenarios de cambio climático. Los resultados de la investigación son que la simulación indica que puede esperarse mayor degradación de la materia orgánica en la época de estiaje; pero en la época de lluvias, la capacidad de recuperación del OD estaría favorecida por la precipitación.

Altamirano (2013), desarrolla la investigación titulada ESTUDIO HIDROQUÍMICO Y DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO MIRA, para optar el título de Ingeniera Química, en la Universidad Central del Ecuador, con el fin de emplear y profundizar los conocimientos de ingeniería química para relacionar los fenómenos naturales de recuperación de la calidad de agua de un cuerpo hídrico como un factor cinético, estableciendo algoritmos y procedimientos para conocer su autodepuración. Esta investigación se lleva a cabo en cinco etapas; estas etapas son: ETAPA 1: en esta fase de la investigación, el autor estudia el área de la cuenca del río mira para conocer los problemas que enfrenta por los diferentes factores antropogénicos. ETAPA 2: en segunda instancia el autor determina la ubicación para los sitios de muestreo. ETAPA 3: el autor realiza la recolección de las muestras. ETAPA 4: el autor realiza la validación de los resultados. ETAPA 5: por último, el autor determina la calidad del agua a través del índice y modelos escogidos durante el desarrollo de la investigación. Los resultados de la investigación son que, de 29 sitios de muestreo, el 75% (21 sitios) sobrepasan el límite máximo permisible de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), y 29,13% (7sitios) sobrepasan el límite máximo permisible de coliformes fecales.

4.2. Marco Teórico

4.2.1. Calidad del Agua

Analizar la calidad del agua implica una valoración y evaluación de los elementos físicos, químicos y biológicos de las aguas superficiales y subterráneas, en sus estados naturales o cuando estas han sido alteradas por acciones antropogénicas y medio ambientales. Este análisis se lleva a cabo por medio de la medición de componentes que caracterizan a las fuentes de agua, los cuales pueden ser medidos en el mismo lugar o en un laboratorio. Este estudio permite saber su situación para determinar, fomentar y preservar su uso (Altamirano, 2013).

4.2.1.1. Parámetros Físicoquímicos de la Calidad del Agua.

Temperatura. Según Ocasio (2008), la temperatura es una medida del calor de las partículas en una sustancia. Este parámetro tiene relación con el Oxígeno Disuelto. Cuando aumenta la temperatura se disminuye la solubilidad del oxígeno y aumenta la de las sales, a su vez aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura también influye en el plan de diseño de la mayoría de procesos del tratamiento del agua.

Nivel de Agua. El nivel del agua es la altura de la superficie de una corriente de un río, lago u otro cuerpo de agua en relación de un valor de referencia, y su medición puede utilizarse para: conocer el volumen o caudal del agua que recorre por un sitio durante un período de tiempo dado (IDEAM, 2017).

Oxígeno Disuelto. Este es uno de los indicadores más importantes en la calidad del agua. Los valores normales de oxígeno disuelto varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L. La fuente más importante del oxígeno es el aire, el cual se extiende de forma rápida en el agua por la turbulencia en los ríos y por el viento en los lagos (Roldán, 2003).

El OD es fundamental para los seres vivos como fuente de energía. La disminución de las concentraciones de oxígeno produce desequilibrios en el ecosistema, muerte de peces, olores y otros efectos estéticos desagradables. En consecuencia, el oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes del sistema acuático (Suarez, 2008).

Tabla 1. Factor de corrección para concentraciones de saturación de oxígeno disuelto por el efecto de la salinidad (cloruros) en función a la temperatura.

T °C	Constante, r	T °C	Constante, r	T °C	Constante, r	T °C	Constante, r
1	0,08796	8	0,06916	15	0,05602	22	0,04754
2	0,08485	9	0,06697	16	0,05456	23	0,04662
3	0,08184	10	0,06478	17	0,05328	24	0,04580
4	0,07911	11	0,06286	18	0,05201	25	0,04498
5	0,07646	12	0,06104	19	0,05073	26	0,04425
6	0,07391	13	0,05931	20	0,04964	27	0,04361
7	0,07135	14	0,05757	21	0,04854	28	0,04296

Fuente: Vernier, 1911.

Demanda Bioquímica de Oxígeno. La prueba de DBO₅ mide la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para su respiración, estos son los responsables de la oxidación de la materia orgánica a través de su actividad metabólica en medio aerobio (Rivas, 1967).

4.2.2. Contaminación de Ríos

Los ríos han sido empleados como vertederos para los residuos urbanos. Gracias a que los ríos transportan grandes volúmenes de agua, estos mismos son capaces de autodepurarse por sí solos, neutralizando los impactos que generan las grandes cantidades de aguas residuales industriales, domésticas, agrícolas entre otras que reciben. No obstante, al introducir en un cauce altas concentraciones de materia orgánica se debe tener en cuenta que para que esta se descomponga necesitará de oxígeno disuelto para comenzar con las reacciones químicas (Carpio, 2014).

4.2.3. Contaminación por aguas residuales

Los residuos orgánicos generados por las personas, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales son descompuestos por bacterias aeróbicas, en otras palabras, en procesos donde se consume oxígeno. Cuando se presenta un exceso de estos residuos en el agua, el aumento de

bacterias agota el oxígeno, por lo que no pueden vivir ni peces ni cualquier otro ser vivo que necesite oxígeno. Algunas formas de medir la contaminación por residuos orgánicos en el agua son la cantidad de oxígeno disuelto (OD), o la DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno) (Araujo, 1999) citado por (Remenieras, 2000).

El crecimiento poblacional sumado al incremento del uso del agua, han producido un aumento en la generación de las aguas residuales. Entre un 70 y 80% de las aguas domiciliarias recibidas se transforman en aguas residuales vertiéndose en las redes de alcantarillado, si las hay, o en diferentes tipos de desagües, para terminar, engrosando los cuerpos de agua naturales. De la misma manera, las aguas utilizadas por las industrias, ya sea para los procesos de fabricación, enfriado o limpieza, también se vierten en las redes y canales de desagüe, finalizando en ríos, lagos y mares. (Seoanez, 1995).

4.2.4. El Río como Receptor de Aguas Residuales

En un río, si el agua se mantiene lo suficientemente aireada no tendrá problemas en volver a sus condiciones ambientales iniciales, pero si la contribución de oxígeno no es suficiente, las degradaciones serán anaerobias, provocando eutrofización y putrefacciones con todos sus daños y patologías (Félez, 2005) citado por (Carpio, 2014).

4.2.5. Contaminación del Agua por Materia Orgánica

Al introducir en un río, una elevada concentración de materia orgánica se debe tener presente los procesos de descomposición de esta carga contaminante, la cual necesitará de oxígeno disuelto para descomponerse. Entonces se habla de contaminación del agua por materia orgánica cuando la cantidad depositada supera la capacidad de degradación del cauce en el que fue depositada y en la cual los microorganismos no pueden descomponer por la ausencia de oxígeno (Proaño, 2007).

4.2.6. Autodepuración del Agua

La autodepuración consiste en un proceso natural de limpieza del agua mediante la degradación oxidativa de la materia orgánica y otros contaminantes, acompañada de un gasto importante de oxígeno (Mata & Quevedo, 2005).

El proceso de autodepuración en los ríos puede estudiarse a través de la vida acuática, evaluando los parámetros como el oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno, ya que la diversidad de los seres que viven en el agua, necesita del oxígeno disuelto en el agua para desarrollar sus procesos biológicos. (Hernández, 1998).

4.2.6.1. Zonas de Autodepuración de un Río.

Zona de Degradación. Es la zona próxima al ingreso de las aguas contaminadas al cauce. Es el sector con mayores concentraciones de contaminantes. Desaparecen peces y algas; en el fango aparecen gusanos tubíficeos, hongos y protozoos ciliados. Puede que existan peces que necesiten poco oxígeno y se alimenten de materia orgánica. (Suarez, 2008).

Zona Activa de Descomposición. Presenta algunas características físicas como: presencia de olor, color combinado, burbujas de gas, barro viscoso y poca penetración de luz. Características químicas como: reducción del O₂ que puede llegar desaparecer en la parte media de esta zona, observándose presencia de ácido Sulfhídrico y dióxido de carbono al principio y al final, metano y amonio y trazas de nitrato. Características biológicas como: cantidad numerosa de bacterias anaerobias hacia el centro de la zona, ausencia de peces, ausencia de plantas verdes, a excepción de la porción final donde empiezan a desarrollarse abundantes cantidades de gusanos y larvas. (Núñez & O'Ryan, 2000).

Zona de Recuperación. Se aprecia un incremento del oxígeno, agua más clara, reaparición de la vida acuática macroscópica, disminución de hongos y aparición de algas. Es posible encontrar nitratos, sulfatos, fosfatos y carbonatos y se observa la aparición de peces resistentes. (Suarez, 2008).



Zona de Aguas Claras. Aparecen plantas de gran y menor tamaño, reducción de la presencia bacterias y aparece la vida acuática normal. En este procedimiento de depuración intervienen tanto factores físicos, químicos como biológicos (Núñez & O’Ryan, 2000).

4.2.7. Modelo de Streeter y Phelps

Este modelo fue publicado en 1925, se le conoce también como Modelo de Disminución de Oxígeno, este predice las variaciones en la carencia de oxígeno como una función de la DBO5 ejercida y de la reaireación de la corriente. Cuando se tiene expuesta el agua que contiene materia orgánica biodegradable al aire, está atrae oxígeno de la atmósfera para sustituir el oxígeno disuelto que se consume al degradar la DBO5. Los procesos de desoxigenación y reoxigenación ocurren al mismo tiempo. Si la velocidad de desoxigenación es más rápida que la velocidad de reoxigenación, aumentara la ausencia de oxígeno. Si el contenido de oxígeno es cero, no se pueden sostener condiciones aerobias y se presentarán condiciones sépticas, lo que coincide con el aumento de la velocidad de degradación de la materia orgánica (Suarez, 2008).

$D_t = \frac{k_1 L_0}{k_1 - k_2} * [e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}] + D_0 e^{-k_2 t}$ Ecuación 1

Dónde:

D_t = déficit de OD para el tiempo t, mg/L

L_0 = DBO_{UC} DBO_{UC} inicial, t = 0, mg/L

L = DBO ultima remanente

t = tiempo de flujo, d

k_1 = constante de desoxigenación, base e, d^{-1}

k_2 = constante de reaireación, base e, d^{-1}

D_0 = déficit inicial de OD, mg/L



El punto crítico (punto de déficit máximo de OD, punto de concentración mínima de OD) ocurrirá cuando el tiempo de flujo sea $t = t_c$. Para este punto, las tasas de desoxigenación y reaeración son iguales, el déficit de OD no cambia:

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} * L_0 e^{-k_1 t_c} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

D_c = déficit crítico de OD, mg/L

t_c = tiempo para el cual se alcanza el déficit crítico (D_c)

El valor de t_c puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$t_c = \frac{1}{k_1(f-1)} * \ln \left\{ f \left[1 - (f-1) \frac{D_0}{L_0} \right] \right\} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

t_c =Tiempo critico (días⁻¹)

k_1 =Tasa de desoxigenación (días)

f =factor de autodepuración (k_2/k_1)

D_0 =Déficit inicial de oxígeno (mg/L)

L_0 =Carga inicial como DBOu (mg/L)

La distancia al punto crítico:

$$x_c = v t_c \dots\dots\dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

x_c = distancia critica



v = velocidad de flujo en río

t_c = tiempo critico

4.2.8. Constante de Desoxigenación (K₁)

(Romero, 2004) citado por (Zabaleta, 2016) nos presenta la siguiente fórmula para determinar

k₁.

$k_1 = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{L_B}{L_A}$ Ecuación 5

Dónde:

K₁= Constante de desoxigenación, base neperiana, d⁻¹

L_A= DBO_U en el punto A

L_B= DBO_U en el punto B

ΔT= Tiempo de flujo entre A y B

A= punto localizado aguas arriba, para un monitoreo de aguas relativamente limpia.

B= Punto localizado aguas abajo de una fuente puntual de contaminación orgánica, para monitoreo de aguas bien mezcladas

Si el valor negativo de K₁ es debido al incremento de la contaminación ocurrido entre A y B; para obtener K₁ positivo de puede suponer que B es aguas arriba y A aguas abajo.

4.2.9. Constante de Reoxigenación (K₂)

según (O'Connor & Dobbins, 1956) citador por (Zabaleta, 2016)

$K_2 = \frac{(D_f v)^{\frac{1}{3}}}{H^2}$ Ecuación 6

Dónde:



K_2 = constante de reaireación, base neperiana, d^{-1}

D_f = coeficiente de difusión molecular del oxígeno en agua, igual a $1,76 \times 10^{-4} m^2 / día$ a $20^\circ C$

V = velocidad media del flujo del río, m/d

H = profundidad media del Flujo, m

La variación del coeficiente de difusión molecular (D_f) de la ecuación anterior a la temperatura del agua del río ($18^\circ C$) la estimamos como:

$$D_f (18^\circ C) = D_f(20^\circ C) * \theta = 1,760 * \frac{10^{-4} m^2}{día} * 1,037^{18-20} \dots\dots\dots \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

$D_f (20^\circ C) = 1,760 * 10^{-4} m^2 / día$ coeficiente de difusión molecular a $20^\circ C$

$\theta = 1,037^{18-20}$ factor de corrección de la temperatura a ($18^\circ C$)

El valor de las constantes se puede obtener, para diferentes temperaturas, por las siguientes ecuaciones:

$$K_{1T} = K_{1(20^\circ C)} 1,047^{T-20} \dots\dots\dots \text{Ecuación 8}$$

$$K_{2T} = K_{2(20^\circ C)} 1,024^{T-20} \dots\dots\dots \text{Ecuación 9}$$

Dónde:

K_{1T} = constante de desoxigenación, base neperiana a $T^\circ C$

K_{2T} = constante de reaireación, base neperiana a $T^\circ C$

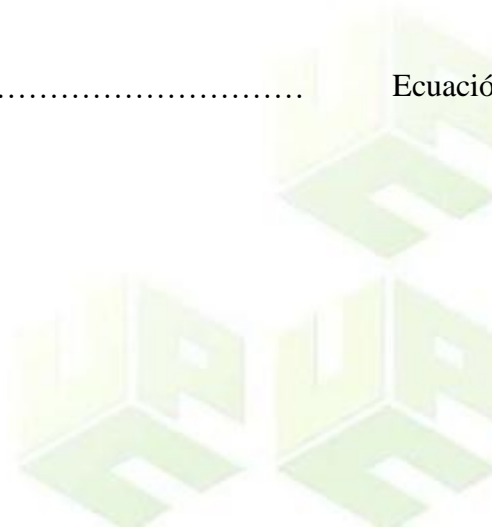


Tabla 2. Valores de las constantes para el modelo Streeter y Phelps.

TIPO DE RIO	$f = \left(\frac{K_1}{K_2}\right)$	K_2, d^{-1}	K_1, d^{-1}	v, m/s	PROFUNDIDAD (m)
Muy lento	1,25-1,5	0,05-0,1	0,03-0,08	0,03-0,2	3-6
Velocidad baja	1,5-2	0,1-1,0	0,05-0,7	0,03-0,2	0,9-3
Velocidad moderada	2-3	1-5	0,5-2,5	0,2-0,6	0,6-1,5
Rápidos	3-5	1-10	0,2-2,3	0,6-1,8	0,6-3,6

Fuente: Romero 2004.

4.2.10. Modelo de Disminución del Oxígeno Disuelto

(Gil, 2005) citado por (Zabaleta, 2016), nos presenta el siguiente modelo para déficit de oxígeno. Déficit de oxígeno, es igual a la concentración de O₂ en equilibrio (concentración de saturación) menos la concentración real a la temperatura local.

$$D = ODS_{CS} - C \dots\dots\dots \text{Ecuación 10}$$

Dónde:

ODS_{CS} = Concentración de O₂ en equilibrio (Concentración de saturación)

C = Concentración de O₂ real a la temperatura local

4.2.11. Concentración de Saturación de OD

(Romero, 2004) citado por (Zabaleta, 2016) la concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua expuesta a presión normal de 760 mm Hg, se puede calcular mediante la ecuación de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), ignorando el efecto de la salinidad.

$$ODS = 14.652 - 0.41022T + 0.007991T^2 - 0.000077774T^3 \dots\dots\dots \text{Ecuación 11}$$

Dónde:

ODS = concentración de saturación de OD



ODT = temperatura, °C

Para corregir el valor de ODS a diferentes altitudes, se puede usar la fórmula de Halley:

P = 760e^{-E/8005} Ecuación 12

Dónde:

P = Presión atmosférica a la elevación E, mm Hg

E = elevación, msnm

El valor de saturación de oxígeno disuelto corregida será:

ODS_c = ODS (P/760) Ecuación 13

4.3. Marco Conceptual

4.3.1. Aguas Residuales

Las aguas residuales son aquellas que resultan de la mezcla de residuos sólidos y líquidos trasladados por el agua, y que provienen tanto de actividades domésticas como de actividades agrícolas e industriales (Mendonca, 1987), citado por (Blázquez & Montero, 2010).

4.3.2. Autodepuración

Es el procedimiento por medio del cual un río, lago, aire, agua costera o suelo, puede llegar a recuperarse de los impactos producidos por la contaminación, que puede ser de forma natural o antropogénica. En este procedimiento intervienen activamente los elementos del clima y los agentes descomponedores, tales como las bacterias, los hongos y otros seres de la microfauna y la microflora. En el caso especial de los ríos y lagos, también se le conoce a este proceso como “autooxidación” (Mata & Quevedo, 2005).

4.3.3. Caudal

(IDEAM, 2007), caudal es el volumen de agua que circula de forma instantánea por una sección de aforos en una unidad de tiempo y que puede ser expresado tanto en metros cúbicos por segundo (m³/s) como en litros por segundo (l/s), cuando se emplean volúmenes pequeños. Las mediciones de caudal se utilizan para conocer las características geométricas e hidráulicas del lecho en diferentes estados hidrológicos, relacionados con las temporadas de lluvias. El caudal en una corriente de agua es función del área de la sección de aforos (A) y de la velocidad media del flujo (V) y se obtiene mediante el producto de estas dos variables:

$$Q = V * A$$

Cuando el caudal cambia, este afecta la profundidad del agua, la composición de los sedimentos y la carga de sedimentos en suspensión. Por tal razón, afecta tanto la estructura física del hábitat como su variación en el tiempo, lo que a su vez determina la composición biológica del sistema (RED MAPSA, 2007).

4.3.4. Materia Orgánica

La materia orgánica puede generar el consumo de oxígeno de los ríos, creando así olores y gustos repulsivos, más aún en condiciones sépticas. Los peces y una gran parte de la vida acuática se asfixian por ausencia de oxígeno y la concentración de éste, relacionada con otras condiciones establece, en los ríos, la permanencia de los peces. La falta de oxígeno producida de manera indirecta por la materia orgánica se considera como el elemento de mayor importancia en la contaminación de los ríos (Suarez, 2008).

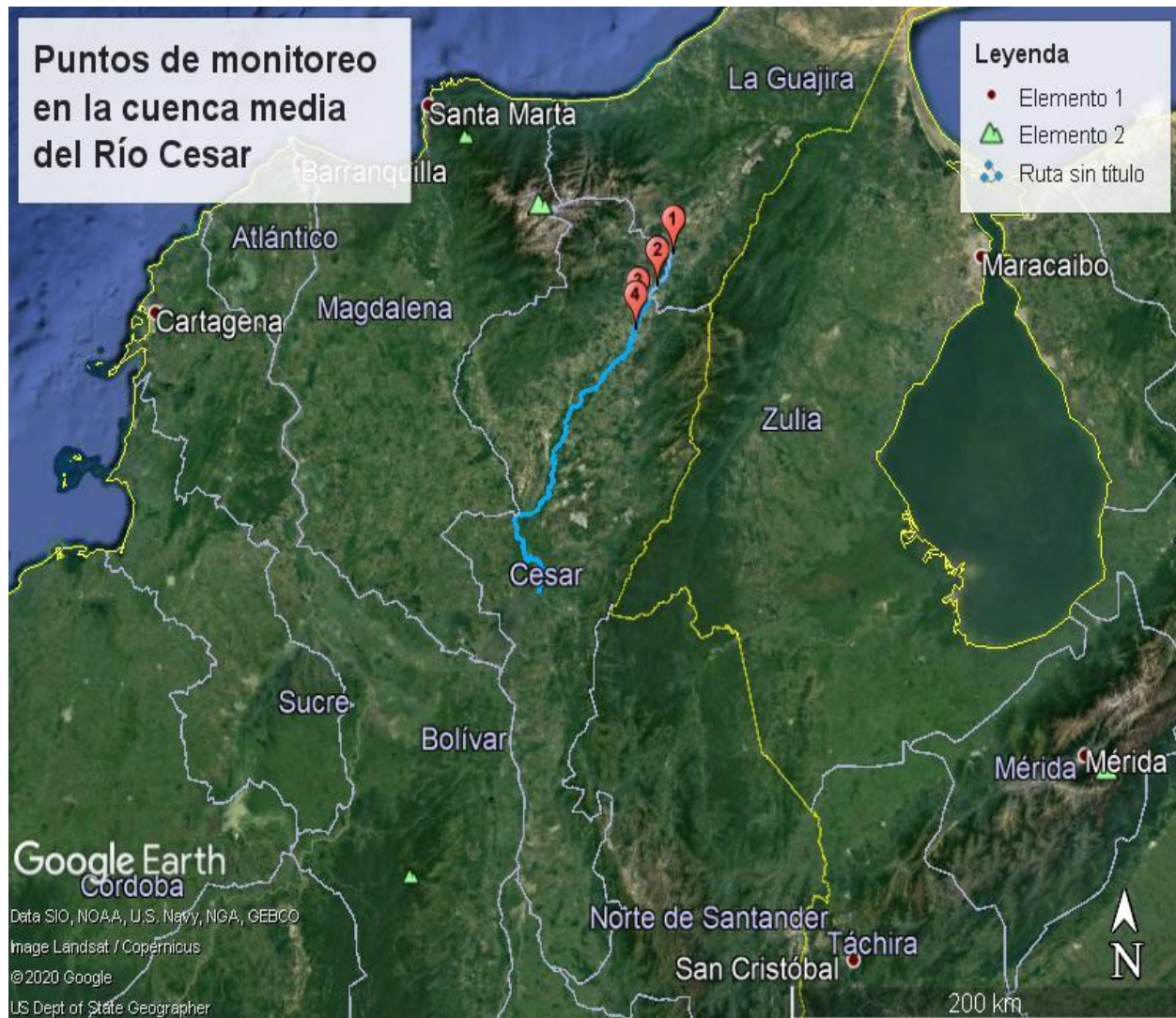
4.3.5. Materia Orgánica Disuelta

La Materia Orgánica Disuelta en las aguas naturales puede ser generada por la degradación del material biológico proveniente de animales, plantas y microorganismos (Spence et al., 2011).

4.4. Marco Contextual

El presente estudio se desarrolla en un tramo del curso medio del río Cesar, ubicado entre el sur del departamento de la Guajira y el norte del departamento del Cesar. El río Cesar nace en la sierra nevada de santa marta a una altura aproximada de 1800 metros sobre el nivel del mar, hace su recorrido por los departamentos mencionados anteriormente, desembocando en la Ciénega de Zapatos y posteriormente en el río Magdalena (Universidad del Atlántico, 2011).

Figura 1. Recorrido del río Cesar incluyendo los puntos de monitoreo ubicados en un tramo de su curso medio.



Fuente: Google Earth, 2020.

4.5. Marco Legal

Tabla 3. Normativa correspondiente al marco legal.

Tipo Normativa y Número de Norma	Descripción
Constitución Política de Colombia	Artículo 80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
Decreto 1594 de 1984, Por el cual se reglamenta parcialmente el [Título I de la Ley 9 de 1979], así como el [Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto Ley 2811 de 1974] en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.	<p>Artículo 38: Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso humano y doméstico.</p> <p>Artículo 40: Los criterios admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola.</p> <p>Artículo 42: Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario.</p> <p>Artículo 45: Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas.</p> <p>Artículo 72: Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las normas establecidas en el presente decreto.</p>
Resolución 631 de 2015, se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.	<p>Artículo 6°: Parámetros microbiológicos de análisis y reporte en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) a cuerpos de aguas superficiales.</p> <p>Artículo 8°: Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas, (ARD) de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales.</p> <p>Artículo 12: Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales no Domésticas (ARnD) a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con elaboración de productos alimenticios y bebidas.</p>

Fuente: Los autores, 2020.

5. Marco Metodológico

5.1. Línea y Sublínea de Investigación

La investigación tiene como línea correspondiente SOSTENIBILIDAD Y GESTIÓN AMBIENTAL y como sublínea GIRH.

5.2. Tipo de Investigación

La investigación se llevó a cabo es de tipo descriptiva, ya que nos permitió observar y describir la capacidad que tiene el río Cesar de remover la materia orgánica mediante su autodepuración y en función de sus características fisicoquímicas.

5.3. Nivel de Investigación

La presente investigación es de nivel descriptivo y correlacional. Descriptivo porque según Tamayo y Tamayo (2003), “la investigación descriptiva, abarca todo lo relacionado con la descripción, registro, estudios e interpretación de la naturaleza actual, y la estructura o procesos de los fenómenos. La investigación descriptiva opera sobre realidades de hecho, y su característica principal es la de presentarnos una interpretación correcta” (p.12); correlacional porque según (Hernández et al, 2014), este tipo de investigación busca “conocer la relación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o un entorno en particular. Algunas veces sólo se estudia la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el análisis vínculos entre tres, cuatro o más variables” (p. 35).

5.4. Población de Estudio

La población del presente estudio son las aguas de un tramo del curso medio del río Cesar.

5.5. Muestra Poblacional

Según el protocolo de monitoreo del agua, IDEAM (2017), se establecieron las zonas de estudio en un tramo del curso medio del río Cesar, de tal forma que dos de ellas quedaran antes del vertimiento de aguas residuales y otras dos después del mismo. Las muestras que se tomaron son de tipo puntuales, recolectadas directamente del río y/o mediante la utilización de un balde,

cada mes durante un periodo de cuatro meses en los cuales se presentaron épocas de estiaje y épocas húmedas.

5.6. Desarrollo Metodológico

5.6.1. Etapa 1: Caracterización de las Condiciones Iniciales de los Parámetros de OD, Caudal, Temperatura, Longitud y Profundidad, del Río Cesar en un Tramo de su Curso Medio en Periodos de Estiaje y de Lluvias.

Actividad 1.1. Revisión de antecedentes de investigaciones desarrolladas en el curso medio del río Cesar.

Descripción: se revisaron los estudios que se realizaron con anterioridad al río Cesar, lo que permitió orientar el desarrollo de la investigación. Así mismo, se obtuvieron conceptos e información relevante acerca de las actividades ejecutadas cerca de la zona de estudio y las condiciones actuales de los diferentes elementos que componen el curso medio del río.

Actividad 1.2. Reconocimiento y delimitación de las zonas de estudio.

Descripción: Según el protocolo de monitoreo del agua, IDEAM (2017), la ubicación de los puntos de monitoreo para aguas superficiales se debe establecer antes y después del vertimiento. En este caso, se definieron cuatro puntos de monitoreo a lo largo de un tramo del curso medio del río Cesar, el primer punto se encuentra en el municipio de San Juan del Cesar, La Guajira; el segundo punto se encuentra en Guacochito corregimiento de Valledupar, Cesar; ambos puntos ubicados antes del vertimiento de aguas residuales de la ciudad de Valledupar; el tercer punto se encuentra en el puente Salguero a las afueras de Valledupar, Cesar y el cuarto punto se encuentra en Las Pitillas corregimiento de San Diego, Cesar; estos dos últimos ubicados después del vertimiento. Posteriormente se hizo un desplazamiento hacia los cuatro puntos de monitoreo, donde se señalaron en qué lugar exacto estarían ubicadas las estaciones de monitoreo marcándolos con estacas.

Figura 2. Zonas de estudio en un tramo del curso medio del río Cesar.



Fuente: Google Earth, 2022.

Tabla 4. Coordenadas de los puntos de monitoreo.

No	Puntos de Monitoreo	Coordenadas
Zona Media de la cuenca		
EM1.	San Juan del Cesar - Guajira, Colombia	10°46'18.22"N 73° 0'43.02"O
EM2.	Guacochito, Valledupar - Cesar, Colombia	10°30'30.43"N 73° 8'46.22"O
EM3.	Puente Salguero, Valledupar - Cesar, Colombia	10°23'2.25"N 73°13'57.65"O
EM4.	Las Pitillas, San Diego - Cesar, Colombia	10°19'47.27"N 73°14'34.88"O

Fuente: Los autores, 2022.

Actividad 1.3. Medición de los parámetros de campo.

Descripción: Teniendo definidos los puntos de monitoreo, se procedió a medir los parámetros de campo cada mes durante un periodo de cuatro meses, para lo cual se utilizaron, cuerda y fichas de campo; para el caudal, se halló el área de la sección, mediante un promedio de profundidades y el ancho, multiplicado por la velocidad, en la medición del caudal se realizó el método del flotador, utilizando los siguientes materiales y equipos: bolitas plásticas, cinta métrica y cronómetro; para la temperatura, se utilizó un termómetro; para la longitud, una cinta métrica y para el nivel de agua, un limnómetro.

Figura 3. Medición de los parámetros de campo



Fuente: Los Autores, 2022.

5.6.2. Etapa 2: Determinación de las Concentraciones DBO_5 y OD en un Tramo del Curso Medio del Río Cesar en Periodos de Estiaje y Periodos Húmedos.

Actividad 2.1. Recolección de las muestras para DBO_5 , OD y Cloruros.

Descripción: siguiendo el protocolo de monitoreo del agua, IDEAM (2017), para la toma de muestras se necesitaron los siguiente materiales y equipos: mapa con los puntos de monitoreo georreferenciados previamente, libreta de campo, marcadores, cinta de enmascarar, formato de captura de datos, etiquetas y cámara fotográfica, en el caso específico de la DBO_5 , se recogió una muestra puntual en una botella plástica de 1000ml tomándola por debajo del cuello sumergiéndola en dirección opuesta al flujo del agua, el frasco se llenó totalmente de forma lenta para evitar la

formación de burbujas, posteriormente se refrigeró en un cooler a 4°C; para los casos de Cloruros y OD se utilizaron recipientes plásticos de 50ml y se repitió el mismo procedimiento de recolección que en la DBO₅, por último las muestras se llevaron al laboratorio para sus respectivos análisis.

Figura 4. Recolección de las muestras para DBO₅, OD y Cloruros.



Fuente: Los Autores, 2022.

Actividad 2.2. Obtención de los valores de DBO₅ y OD en el laboratorio.

Descripción: para la DBO₅ se realizó el método analítico donde se determinó los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica presente en el agua; para la determinación del OD, se vació la muestra recogida a un vaso de precipitado y posteriormente se introdujo a el medidor portátil de oxígeno disuelto, cabe resaltar que es probable que los resultados se alteren debido a que no se midió la concentración de OD in situ; en el caso de los Cloruros se empleó el método de volumetría con Nitrato de Plata. Dichos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de la Universidad Popular del Cesar.

Figura 5. Obtención de los valores de DBO₅ y OD en el laboratorio.



Fuente: Los Autores, 2022.

Posteriormente a la obtención de la concentración de DBO_5 en el laboratorio para cada mes, se procedió a calcular el porcentaje de materia orgánica biodegradable de la cuenca media del río Cesar mediante las siguientes ecuaciones presentadas por (Zabaleta, 2016).

$$e = \frac{DBO_5(\text{afluente}) - DBO_5(\text{efluente})}{DBO_5(\text{afluente})} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 14}$$

Donde:

e = Eficiencia de remoción de materia orgánica biodegradable (%)

$DBO_5(\text{afluente})$ = Concentración de materia orgánica en EM3 (Puente Salguero), 100 m después de la mezcla con la descarga más significativa de aguas residuales hacia el río Cesar.

$DBO_5(\text{efluente})$ = Concentración de materia orgánica en EM4 (Las Pitillas).

Con los datos de remoción de materia biodegradable por cada mes se realizó un promedio del mismo.

5.6.3. Etapa 3: Aplicación del Modelo Streeter y Phelps para Obtener el Porcentaje de Remoción de Materia Orgánica en un Tramo del Curso Medio del Río Cesar.

Actividad 3.1. Tabulación los datos obtenidos en el Software Excel.

Descripción: después de haber hallado las concentraciones en el laboratorio y recogido los datos en campo, se procedió a tabularlos durante un periodo de 4 meses en el Software Excel para su procesamiento.

Actividad 3.2. Análisis de los valores adquiridos, empleando el modelo de Streeter y Phelps, para la obtención del porcentaje de remoción de materia orgánica.

Descripción: los datos antes tabulados fueron analizados mediante la aplicación del modelo Streeter y Phelps, obteniendo así el porcentaje de remoción de materia orgánica biodegradable, en un tramo del curso medio del río Cesar, comparándolo luego con el porcentaje obtenido de los laboratorios.

El modelo Streeter y Phelps se desarrolló en Excel de la siguiente forma: (VerTabla.13)

Columna 1: Estaciones de monitoreo (**EM1, EM2, EM3, EM4**)

Columna 2: DBO_5 obtenidos de laboratorio mg/L

Columna 3: OD obtenidos de laboratorio mg/L

Columna 4: Distancia de Estaciones de monitoreo (**d**) m

Columna 5: Velocidad (**V**) m/s

Columna 6: Velocidad media (**Vm**) = (**V**) * 0,85 m/s

Columna 7: Temperatura del agua (**T**) °C

Columna 8: Tirante o profundidad (**H**) m

Columna 9: Caudal (**Q**) m³/s

Columna 10: Tiempo de recorrido de flujo (**t**) = (**d/Vm/86400**) días

Columna 11: Constante de desoxigenación (**k1**) a 20°C = LN (DBO_U en EM1/ DBO_U en EM2)
/tiempo de flujo a partir de EM1 hasta la EM2

Columna 12: Constante de desoxigenación (**k1**) corregida a (**T**) del agua = k_1 a 2°C * $1.047^{(T-20)}$

Columna 13: Constante de reoxigenación (**k2**) a 20°C = $(1.76 * 10^{-4} * Vm * 86400)^{1/2}/$
 $((H$ en EM1 + H en EM2)/2)^{3/2}

Columna 14: Constante de reoxigenación (**k2**) corregida a (**T**) del agua = k_2 a 2°C * $1.034^{(T-20)}$

Columna 15: DBO_U o (L_o) = $DBO_5 / 1 - e^{-0,23*5}$

Columna 16: OD de saturación a presión (**P**) normal 760 mmHg = $14,652 - 0,41022 * T +$
 $0,007991 * T^2 - 0,000077774 * T^3$

Columna 17: Corrección de presión (**P**) * altura de (**EM**) = $760 * e^{(-Altitud\ sobre\ el\ nivel\ del\ \frac{mar(E)}{8005})}$



Columna 18: OD de saturación corregida por altitud y presión (ODsc) = OD saturación a presión normal * (presión corregida por altitud/ 760)

Columna 19: OD de saturación corregida por cloruros (salinidad) = (ODsc) – (Factor de corrección de salinidad relacionado con la temperatura * concentración de sales (cloruros) mg/L obtenido de laboratorio para cada EM)

Columna 20: Déficit Inicial de Oxígeno (D_o) = (OD obtenido de laboratorio – OD de saturación corregida por salinidad)

Columna 21: Déficit de oxígeno para un tiempo $D_t = \frac{k_1 * L_o}{K_2 - K_1} * [e^{-k_1 * t} - e^{-k_2 * t}] + D_o * e^{-k_2 * t}$

Columna 22: OD final = (ODsc - D_t)

Columna 23: DBO remanente $L_t = L_o * e^{-k_1 * t}$ para la EM4 se tomará el lugar de la $DBO_U (L_o)$

Columna 24: DBO_5 final (calculado) $y_5 = L_o(1 - e^{-k_1 * t})$

Columna 25: Remoción de Materia Orgánica (%) = (DBO_5 laboratorio EM3 – DBO_5 calculado final) * 100 / DBO_5 laboratorio EM3

Columna 26: tiempo crítico (tc) días = $t_c = \frac{1}{k_1(f-1)} * Ln \left\{ f \left[1 - (f - 1) \frac{D_o}{L_o} \right] \right\}$

Columna 27: Déficit crítico de oxígeno (D_c) (mg/L) = $D_c = \frac{k_1}{k_2} * L_o * e^{-k_1 * t_c}$

Columna 28: distancia crítica (X_c) Km = $X_c = V t_c$

5.7. Diseño de la Investigación

La presente investigación presentó un diseño de investigación no experimental ya que los estudios realizados no contaron de un manejo deliberado de las variables, sino que, se observaron los fenómenos de la manera natural en que se presentan, para luego analizar.

6. Resultados y Análisis

6.1. Medición de los Parámetros de Campo

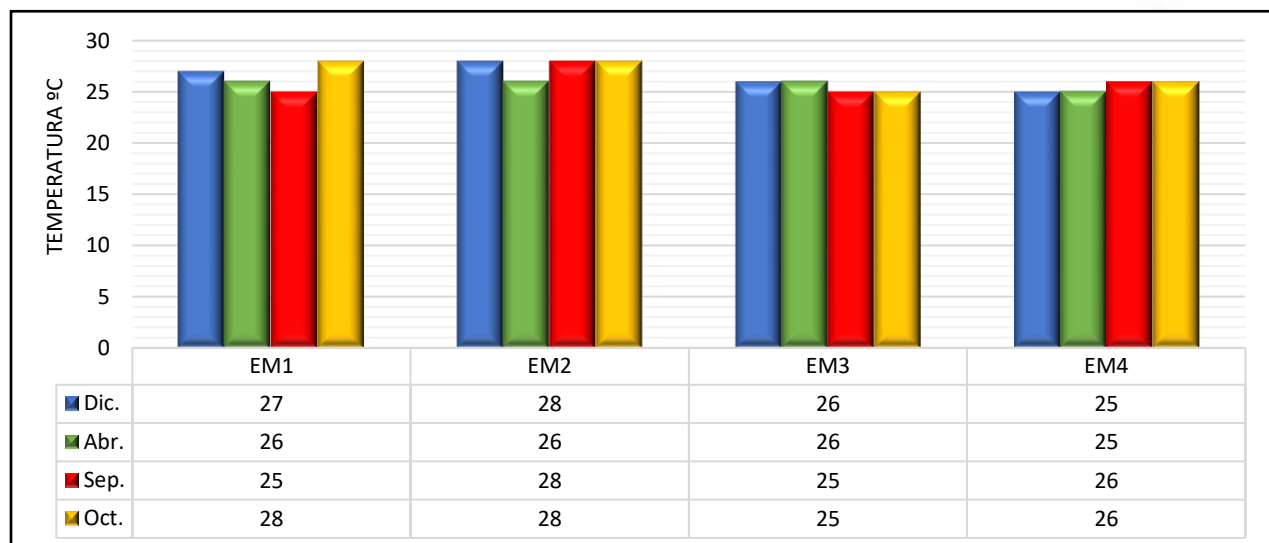
6.1.1. Temperatura

Tabla 5. Valores de temperatura del agua en las estaciones de monitoreo.

Estación de Monitoreo	Lugar	Coordenadas	Hora de Monitoreo	Temperatura (°C)				
				Frecuencia de Monitoreo (Meses 2021-2021)				
				Dic.	Abr.	Sep.	Oct.	Prom.
EM1.	San Juan	10°46'18.22"N 73° 0'43.02"O	9:00-9:45 am	27	26	25	28	26,5
EM2.	Guacochito	10°30'30.43"N 73° 8'46.22"O	10:45-11:15 am	28	26	28	28	27,5
EM3.	Puente Salguero	10°23'2.25"N 73°13'57.65"O	6:00-6:45 am	26	26	25	25	25,5
EM4.	Las Pitillas	10°19'47.27"N 73°14'34.88"O	7:15-8:00 am	25	25	26	26	25,5

Fuente: Los Autores, 2022.

Gráfica 1. Valores de temperatura del agua en las estaciones de monitoreo.



Fuente: Los Autores, 2022.

La medición de la temperatura se realizó a lo largo de las cuatro estaciones de la cuenca media del río Cesar, los valores se encuentran entre 25 °C y 28 °C, tal como se puede apreciar en la tabla 5, según Romero (2004), las temperaturas varían dependiendo de la hora del día en que se tomen; para este caso se realizó entre las 6:00 y 11:15 am, en el caso del Puente Salguero (EM3), y Las Pitillas (EM4), se obtuvieron las temperaturas más bajas, probablemente porque fueron los primeros lugares que se midieron.

6.1.2. Velocidad

Tabla 6. Velocidad en (m/s) del agua en las cuatro estaciones de monitoreo.

Estaciones de Monitoreo	Altura (msnm)	Coordenadas	Dic.	Abr.	Sept.	Oct.	Prom. por EM	Prom. General
EM1.	211	10°46'18.22"N 73° 0'43.02"O	0,7	0,64	0,93	0,6	0,72	
EM2.	135	10°30'30.43"N 73° 8'46.22"O	0,64	0,86	0,56	0,94	0,75	
EM3.	115	10°23'2.25"N 73°13'57.65"O	0,28	0,62	0,46	0,69	0,51	0,66
EM4.	164	10°19'47.27"N 73°14'34.88"O	0,83	0,58	0,69	0,65	0,66	

Fuente: Los Autores, 2022.

La velocidad promedio obtenida fue 0,66 como se puede ver en la tabla 6. Según (Romero, 2004) citado por (Zabaleta, 2017), los ríos que poseen esta característica son considerados rápidos.

6.1.3. Caudal

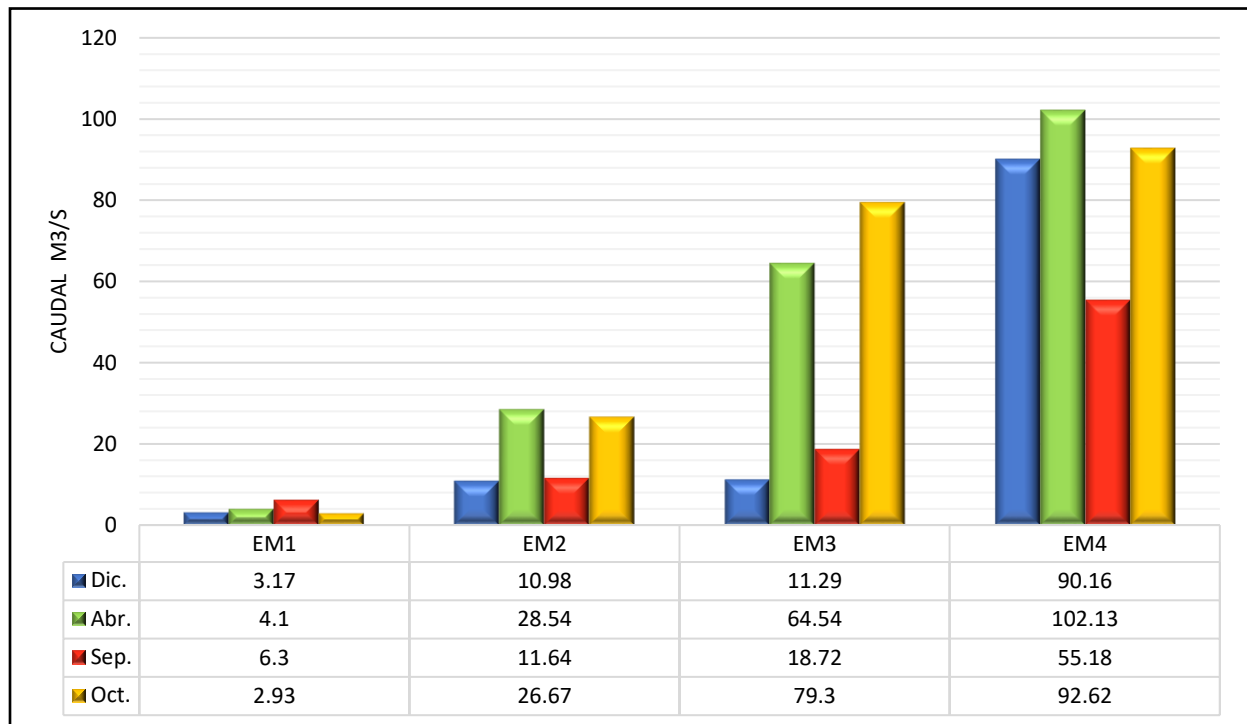


Tabla 7. Valores de caudal en las estaciones de monitoreo.

Estación de Monitoreo	Lugar	Coordenadas	Caudal (m ³ /s)				
			Frecuencia de Monitoreo (2021-2022)				
			Dic.	Abr.	Sep.	Oct.	Prom.
EM1.	San Juan	10°46'18.22"N 73° 0'43.02"O	3,17	4,1	6,3	2,92	5,87
EM2.	Guacochito	10°30'30.43"N 73° 8'46.22"O	10,98	28,54	11,64	26,67	19,45
EM3.	Puente Salguero	10°23'2.25"N 73°13'57.65"O	11,29	64,56	18,72	79,3	43,48
EM4.	Las Pitillas	10°19'47.27"N 73°14'34.88"O	90,16	102,13	55,18	92,62	85,02

Fuente: Los Autores, 2022.

Gráfica 2. Valores de caudal en las estaciones de monitoreo.



Fuente: Los Autores, 2022.

Los resultados promedio del caudal en la cuenca media del río Cesar arrojaron valores de 5,87 m³/s en San Juan (EM1); 19,45 m³/s en Guacochito (EM1); 43,48 m³/s en Puente Salguero

y 85,02 m³/s en Las Pitillas, estos valores fueron obtenidos durante un periodo de cuatro meses, donde se presentaron mayores precipitaciones en unos meses más que en otros. Se pudo observar un incremento del caudal después de cada uno de los puntos, esto se debe, a que entre la EM1 y a la EM2, el río Cesar recibe las aguas del río Badillo, de igual manera sucede entre la EM2 y la EM3, recibiendo las aguas del río Guatapurí y los vertimientos de la laguna de oxidación de la ciudad de Valledupar, por su parte entre la EM3 y EM4 se evidenció un aumento de caudal probablemente debido a las quebradas y escorrentías generadas por las lluvias. El caudal es muy importante en esta investigación ya que, a mayor incremento del mismo existe una mayor autodepuración por dilución de la materia orgánica.

6.1.4. Tirante de Agua y Ancho del Río

Tabla 8. Profundidad del agua en las cuatro estaciones de monitoreo.

Estaciones de Monitoreo	Lugar	Altura (msnm)	Coordenadas	TIRANTE POR MES				Valores prom. tirante	Prom. tirante (m)
				Dic.	Abr.	Sep.	Oct.		
EM1.	San Juan	211	10°46'18.22". N 73° 0'43.02"O	0,29	0,4	0,6	0,31	0,4	
EM2.	Guacochito	135	10°30'30.43"N 73° 8'46.22"O	0,58	0,99	0,74	0,97	0,82	1,91
EM3.	Puente Salguero	115	10°23'2.25"N 73°13'57.65"O	1,6	3,2	1,5	3,42	2,43	
EM4.	Las Pitillas	164	10°19'47.27"N 73°14'34.88"O	3,5	5,25	2,8	4,42	3,99	

Fuente: Los Autores,2022.

La cuenca media del río Cesar tiene una profundidad promedio de 1,91 metros, considerándose un río poco profundo, lo que permite que exista un mayor contacto con el aire, por lo tanto, se reoxigena con una mayor rapidez.

Tabla 9. Ancho del agua en las cuatro estaciones de monitoreo.

Estaciones de Monitoreo	Altura (msnm)	Coordenadas	Ancho del Río Prom. (4 meses)	Prom. (m)
EM1.	211	10°46'18.22"N 73° 0'43.02"O	18,73	31,25
EM2.	135	10°30'30.43"N 73° 8'46.22"O	34,4	
EM3.	115	10°23'2.25"N 73°13'57.65"O	34,87	
EM4.	164	10°19'47.27"N 73°14'34.88"O	37	

Fuentes: Los Autores, 2022.

Según los datos obtenidos el ancho promedio de la cuenca media del río Cesar fue de 31,25 m. La anchura de la cuenca varió de acuerdo al caudal de cada mes, es decir que, a mayor caudal, mayor el ancho del río.

6.1.5. Longitud

Tabla 10. Valores de longitud en la cuenca media del río Cesar.

Estación de Monitoreo	Lugar	Coordenadas	Longitud del Tramo (m)	Longitud total (m)
EM1.	San Juan	10°46'18.22"N 73° 0'43.02"O	0	93279
EM2.	Guacochito	10°30'30.43"N 73° 8'46.22"O	48060	
EM3.	Puente Salguero	10°23'2.25"N 73°13'57.65"O	30358	
EM4.	Las Pitillas	10°19'47.27"N 73°14'34.88"O	14861	

Fuente: Los Autores, 2022.

El tramo elegido en la cuenca media constó de cuatro estaciones para determinar su longitud, la EM1 partió desde 0, haciendo un recorrido hasta la EM2 donde se obtuvo una longitud de 48060 m, de ese punto hasta la EM3 fueron 30358 m, terminando el trayecto en la EM4 con 14861 m. Fue de vital importancia para el desarrollo de la investigación conocer la longitud del río de estación a estación ya que utilizándola en el modelo Stretter y Phelps nos permitió saber cuál es la distancia en la que el oxígeno está agotado en su totalidad y el río inicia su autodepuración.

6.2. Obtención de los Valores de DBO₅ y OD en el Laboratorio

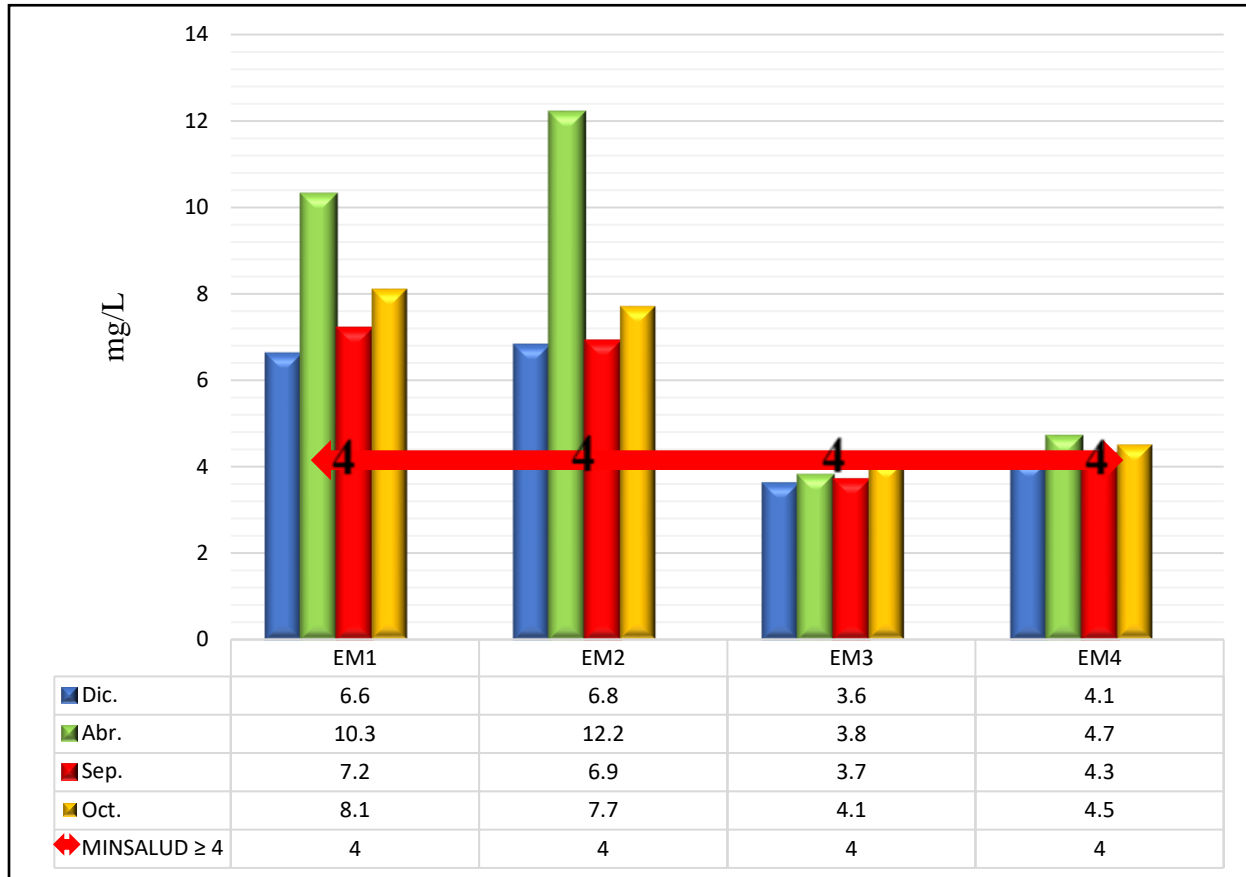
6.2.1. Oxígeno Disuelto

Tabla 11. Valores de OD en las cuatro estaciones de monitoreo.

Estación de Monitoreo	Lugar	Coordenadas	OD (mg/L)				
			Frecuencia de Monitoreo (2021-2022)				
			Dic.	Abr.	Sep.	Oct.	Prom.
EM1.	San Juan	10°46'18.22"N 73° 0'43.02"O	6,6	10,3	7,6	8,1	8,15
EM2.	Guacochito	10°30'30.43"N 73° 8'46.22"O	6,8	12,2	6,9	7,7	8,4
EM3.	Puente Salguero	10°23'2.25"N 73°13'57.65"O	3,6	3,8	3,7	4,1	3,8
EM4.	Las Pitillas	10°19'47.27"N 73°14'34.88"O	4,1	4,7	4,3	4,5	4,4

Fuentes: Los Autores, 2022.

Gráfica 3. Valores de OD en las cuatro estaciones de monitoreo.



Fuente: Los Autores, 2022.

La finalidad de este proyecto se centró en la necesidad de saber el grado de contaminación por materia orgánica en la cuenca media del río Cesar mediante la concentración de oxígeno disuelto. Según la gráfica presentada anteriormente se puede apreciar que en las estaciones de monitoreo 1,2 y 4 los valores están dentro de los límites permisibles ≥ 4 para preservación de flora y fauna en aguas cálidas según lo establecido en el decreto 1594 de 1984; mientras que en la EM3, los tres primeros meses se obtuvieron valores por debajo de lo establecido, debido a que es el punto que recibe los vertimientos residuales, por lo que hace que exista una mayor demanda de oxígeno para degradar la materia orgánica y este disminuya en comparación con los otros puntos; por otro lado se puede observar que en el cuarto mes en la EM3 el valor aumentó probablemente debido al crecimiento del caudal.

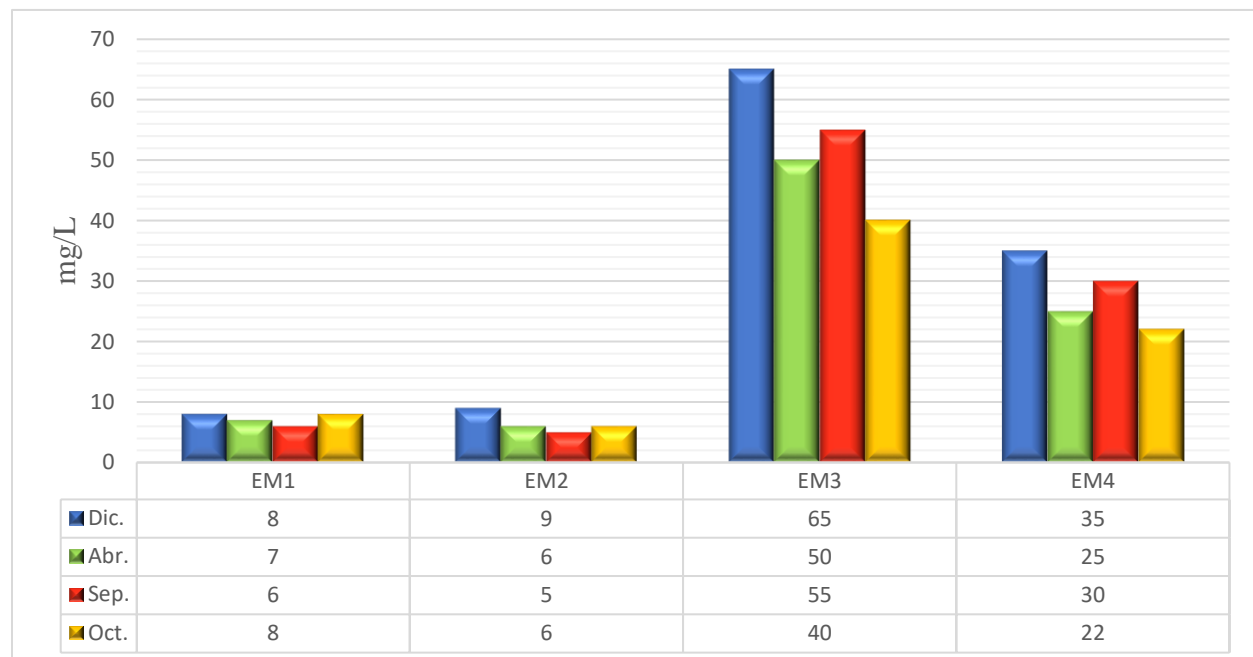
6.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno

Tabla 12. Valores de DBO₅ en las cuatro estaciones de monitoreo.

Estación de Monitoreo	Lugar	Coordenadas	DBO ₅ (mg/L)				
			Frecuencia de Monitoreo (2021-2022)				
			Dic.	Abr.	Sep.	Oct.	Prom.
EM1.	San Juan	10°46'18.22"N 73° 0'43.02"O	8	7	6	8	7,25
EM2.	Guacochito	10°30'30.43"N 73° 8'46.22"O	9	6	5	6	6,5
EM3.	Puente Salguero	10°23'2.25"N 73°13'57.65"O	65	50	55	40	52,5
EM4.	Las Pitillas	10°19'47.27"N 73°14'34.88"O	35	25	30	22	28

Fuente: Los Autores, 2022.

Gráfica 4. Valores de DBO₅ en las cuatro estaciones de monitoreo.

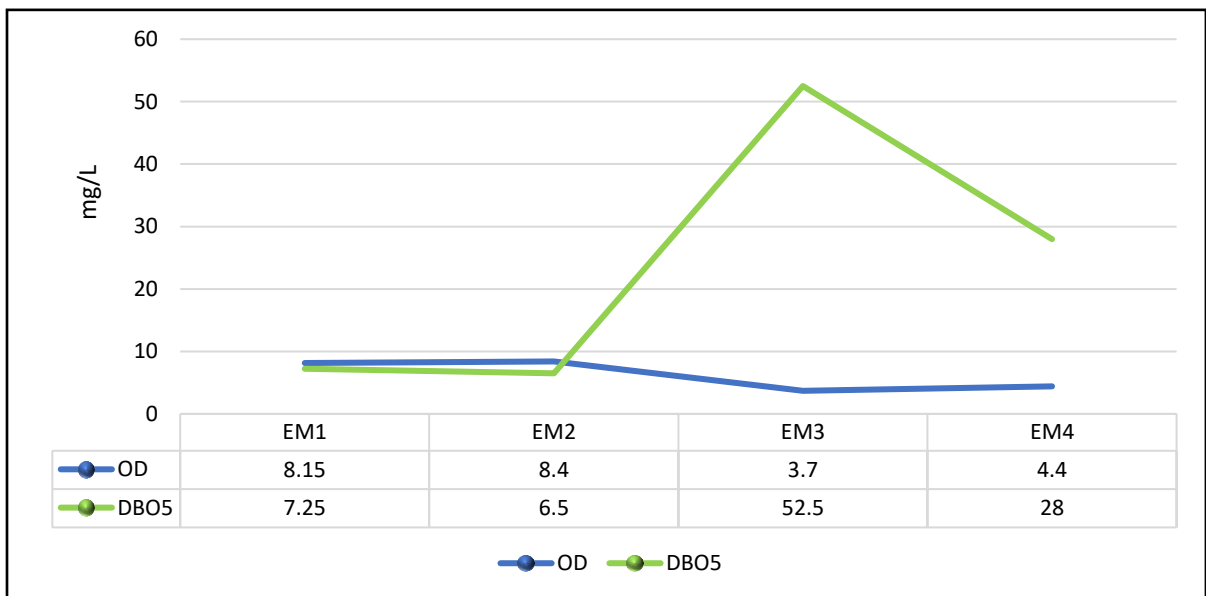


Fuente: Los Autores, 2022.

Las mediciones promedio de DBO₅ realizadas mostraron que los puntos EM3 (Puente Salguero) y EM4 (Las Pitillas) fueron las de mayor valor con 52,5 mg/L y 28 mg/L

respectivamente, seguidos de la EM1 (San Juan) con 7,25 mg/L y EM2 (Guacochito) con 6,5 mg/L, resaltando el hecho de que en los meses donde se presentaron mayores lluvias, se obtuvieron las concentraciones de DBO_5 más bajas, sin embargo estas siguen siendo unas concentraciones muy altas al compararla con cuerpos de agua naturales que no reciben vertimientos, tal como es el caso del estudio realizado por (Martínez & Zequeira, 2018) en el río Guatapurí en el cual se obtuvieron valores inferiores a 2 mg/L de DBO_5 , además según la resolución 0330 de 2017 título C, los valores recomendados de DBO_5 para fuentes de abastecimiento deben ser entre 1 – 3 mg/L.

Gráfica 5. Relación DBO_5 /OD por estación de monitoreo.



Fuente: Los Autores, 2022.

En la relación DBO_5 /OD (Ver Figura No. 10) se puede observar que mientras más bajas sean las concentraciones de DBO_5 mayor será la disponibilidad de oxígeno en el agua, como es el caso de la EM1 y EM2, por el contrario, en la EM3 las concentraciones de DBO_5 aumentaron debido a los vertimientos de agua residual, ocasionando un déficit de OD, por su parte en la EM4 la concentración de DBO_5 sigue teniendo una concentración elevada aun cuando haya disminuido, debido a la reaireación.

Tabla 13. Tabulación y análisis del modelo Streeter y Phelps.

Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10	Columna 11	Columna 12	Columna 13	Columna 14	Columna 15	
Mes	Estación	DBO5 (Laboratorio)	OD (Laboratorio)	Cloruros o Sales (Laboratorio)	Distancia (m)	Velocidad (m/s)	Velocidad Media $V*0.85$ (m/s)	Temperatura (°C)	Tirante o Profundidad (m)	Caudal (Q, m ³ /s)	Tiempo de recorrido de flujo (t) días	K1 a 20 °C	K1 a T °C	K2 a 20 °C	K2 a T °C
Diciembre	EM-01	8	6,6	7,1	0	0,7	0,6	27	0,29	3,17					
	EM-02	9	6,8	10,6	48.060	0,68	0,57	28	0,58	10,98	0,97	2,16	3,12	10,26	12,4
	EM-03	65	3,6	21,3	30.358	0,28	0,24	26	1,6	11,29	1,46	1,35	1,78	1,68	1,93
	EM-04	35	4,1	17,7	14.861	0,83	0,7	25	3,5	90,16	0,25	2,48	3,12	0,8	0,9
Abril	EM-01	7	10,3	7,1	0	0,64	0,54	26	0,4	4,1					
	EM-02	6	12,2	14,2	48.060	0,86	0,73	26	0,99	28,54	0,76	2,59	3,26	5,75	6,63
	EM-03	50	3,8	17,7	30.358	0,62	0,52	26	3,2	64,56	0,68	3,12	4,11	0,93	1,1
	EM-04	25	4,7	21,3	14.861	0,58	0,49	25	5,25	102,13	0,35	1,98	2,49	0,31	0,35
Septiembre	EM-01	6	7,2	28,36	0	0,93	0,79	25	0,6	6,3					
	EM-02	5	6,9	24,86	48.060	0,56	0,48	28	0,74	11,64	1,15	1,93	2,79	4,93	5,96
	EM-03	55	3,7	35,45	30.358	0,46	0,39	25	1,5	18,72	0,9	2,66	3,35	2,05	2,31
	EM-04	30	4,3	12,4	14.861	0,69	0,59	26	2,8	55,18	0,29	2,1	2,76	0,95	1,1
Octubre	EM-01	8	8,1	10,63	0	0,6	0,51	28	0,31	2,92					
	EM-02	6	7,7	14,18	48.060	0,94	0,8	28	0,97	26,67	0,69	2,33	3,36	6,81	8,23
	EM-03	40	3,7	21,27	30.358	0,69	0,59	25	3,42	79,3	0,6	3,17	3,99	0,92	1,03
	EM-04	22	4,5	3,54	14.861	0,65	0,55	26	4,42	92,62	0,31	1,92	2,53	0,37	0,43

	Columna 16	Columna 17	Columna 18	Columna 19	Columna 20	Columna 21	Columna 22	Columna 23	Columna 24	Columna 25	Columna 26	Columna 27	Columna 28	Columna 29
Mes	DBOu	OD Saturado a presión normal 760 mm Hg	Presión corregida por altitud (P)	Concent. de Saturación de oxígeno corregida (ODsc)	(ODsc) Corregida por la concentr. de cloruros	Déficit inicial de oxígeno (Do)	Déficit de oxígeno para un tiempo (Dt)	OD Final	DBO Rem. (Lt)	Final Calculado	Remoción de materia orgánica (%)	Tiempo Crítico (tc) días	Déficit crítico de oxígeno (Dc) (mg/L)	Distancia Crítica (Xc) (Km)
Diciembre	11,71	7,87	740,23	7,67	7,36	0,76								
	13,17	7,72	747,29	7,59	7,13	0,33	0,21	6,92	7,2	4,92				
	95,12	8,02	749,16	7,91	6,97	3,37	-16,7	-9,73	46,46	31,75	51,16			
	51,22	8,17	744,59	8	7,2	3,4	3,25	3,95	33,04	22,58	35,48	0,14	1,15	8,45
Abril	10,24	8,02	740,23	7,81	7,5	-2,8								
	8,78	8,02	747,29	7,89	7,26	-4,94	0,63	6,63	5,04	3,44				
	73,16	8,02	749,16	7,91	7,13	3,33	6,43	0,7	42,76	29,22	41,56			
	36,58	8,17	744,59	8	7,04	3,14	5,93	1,47	23,07	15,76	36,96	0,08	1,46	3,38
Septiembre	8,78	8,17	740,23	7,96	6,68	-0,52								
	7,32	7,72	747,29	7,59	6,52	-0,38	0,25	6,27	3,84	2,62				
	80,48	8,17	749,16	8,1	6,51	2,81	4,92	1,59	44,72	30,56	44,44			
	43,9	8,02	744,59	7,86	7,31	3,51	4,78	2,53	24,39	16,67	44,43	0,19	0,65	9,69
Octubre	11,71	7,72	740,23	7,52	7,1	-1								
	8,78	7,72	747,29	7,59	6,98	-0,72	0,57	6,41	5,12	3,5				
	58,53	8,17	749,16	7,1	6,14	2,44	2,28	3,86	34,84	25,34	36,65			
	32,19	8,02	744,59	7,86	7,7	3,8	3,52	4,18	20,49	14	36,36	0,07	1,59	3,33
											40,88	0,12	1,21	6,21

El porcentaje de remoción obtenido con la utilización solo de las concentraciones de DBO_5 halladas en el laboratorio (Ecuación 14) fue de 46%. Posteriormente para el desarrollo del modelo Streeter y Phelps se tuvieron en cuenta los parámetros trabajos en campo, más lo obtenidos en el laboratorio los cuales nos permitieron conocer la dinámica del río Cesar en cada uno de los puntos de monitoreo; el resultado del porcentaje de remoción de materia orgánica fue de 40,88 %.

Pudimos comprender a través de este resultado que no solo es necesario la DBO_5 , sino también factores tales como la temperatura, velocidad, longitud, profundidad y el caudal los cuales fueron relevantes, ya que cada uno de ellos influye en el aumento o disminución del resultado obtenido. Además, utilizamos la presión atmosférica y la salinidad (hallada en laboratorio) para mayor precisión en las concentraciones de OD. Por otra parte, en el caso de la constante de reoxigenación (k_2) optamos por elegir otra ecuación distinta a la propuesta por Streeter y Phelps pues esta solo hacia uso de la temperatura, la elegida fue la de (O'Connor y Dobbins, 1956) la cual abarcaba factores tales como la velocidad media, la profundidad y la constante del coeficiente de difusión molecular del agua, con la cual obtuvimos un valor con un rango de error menor. Con el modelo Streeter y Phelps además pudimos conocer el tiempo y la distancia crítica en donde la cantidad de oxígeno está consumida en su totalidad la cual es de 6,21 Km aguas debajo de la EM3 (Puente Salguero), es este el punto donde el río inicia su autodepuración.

7. Conclusiones

- El río Cesar presenta condiciones óptimas y saludables en la EM1 y EM2; después de la EM3 el oxígeno disuelto llega a valores por debajo de 4 mg/L, lo que indica un cuerpo de agua contaminado. Esto se debe a los vertimientos con cargas contaminantes que le llegan y a la poca reaeración que tiene el río en la cuenca media.
- De acuerdo a los resultados obtenidos de concentraciones de DBO₅ y OD, pudimos evidenciar que las cargas contaminantes vertidas desde la laguna de oxidación de la ciudad de Valledupar, no solo afectan en ese punto (Puente Salguero), sino también kilómetros aguas abajo al corregimiento de Las Pitillas.
- El porcentaje de remoción de materia orgánica obtenida solo mediante el uso de las concentraciones de DBO₅ en el laboratorio fue de 46 %, mientras que con la aplicación del modelo Streeter y Phelps obtuvimos un porcentaje de remoción de 40,88 %, lo cual nos permite concluir que, para obtener un valor más preciso fue de suma importancia tener en cuenta todos los factores que inciden directamente sobre el río.
- Según datos obtenidos en esta investigación podemos concluir que en los meses donde hubo mayores precipitaciones se dieron las concentraciones más bajas de DBO₅, esto debido a que, a mayor caudal, mayor dilución de la materia orgánica y por ende menor demanda de oxígeno disuelto.

8. Recomendaciones

- Se debe tener mayor seguimiento en las descargas de los vertimientos de la PTAR de la ciudad de Valledupar, debido a que son ellos los principales causantes del deterioro actual del río principalmente en su cuenca media.
- Para posteriores trabajos de investigación se recomienda realizar otros parámetros de calidad del agua, tales como: grasas y aceites, nitratos, fosfatos, entre otros, para así obtener un análisis más preciso del estado del río.
- Realizar estudios de monitoreo al río Cesar durante periodos con sequias más prolongadas, para medir el comportamiento de este en esas épocas, y así poder hacer una comparación en diferentes escenarios.
- Fomentar el uso de esta metodología en ríos de la región receptores de aguas residuales, para conocer su porcentaje de remoción de materia orgánica, y poder brindarles información a las poblaciones aledañas sobre las condiciones en las que se encuentran los ríos.

Referencias Bibliográficas

- Altamirano, M.G. (2013). Estudio hidroquímico y de calidad del agua superficial en la cuenca del río mira.
- Atiaga, O., & Proaño, C. (2007). Aplicación de un modelo de materia orgánica para la determinación de la contaminación por materia orgánica del río San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y la Armenia.
- Duarte, C.C., Pico, G.S., & Estupiñán, R. A. (2015). Determinación de la capacidad de autodepuración en un tramo del río Fonce en San Gil con base en el balance de oxígeno disuelto. Revista Matices Tecnológicos Edición 6. Unisangil. ISSN 2027-4408.
- Hernández, M.A. (1998). Depuración de aguas residuales. Madrid: Editorial Paraninfo S. A. España, 4ta edición.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. México D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Montes, R.T., Navarro, I., Domínguez, R., & Jiménez, B. (2013). Modificación de la capacidad de autodepuración del río Magdalena ante el cambio climático. Tecnología y Ciencias del Agua, 4, (5), 71-83.
- Núñez, F., & O'ryan, O. (2000). Bases del tratamiento de excretas en el medio rural. TecnoVet, 6, (1).
- Ocasio, F.A. (2008). Evaluación de calidad del agua y posibles fuentes de contaminación en un segmento del río Piedras.
- Remenieras, G. (2000). Tratado de hidrología aplicada. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S.A.

- Rivas, G. (1967). Tratamiento del agua residual. Caracas: Tipografía Vargas S.A.
- Rivera, J.V. (2015). Evaluación de la cinética de oxidación y remoción de materia orgánica en la autpurificación de un río de montaña. *Dyna*, 82, (191), 183-193.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del Método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia.
- Romero, J.A. (2004). Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño. Bogotá: Editorial Colombiana de Ingeniería.
- Seoanez, M. (1995). Aguas residuales urbanas. Madrid: Análisis y Trabajos Prospectivos, D.L.
- Spence A., Simpson A.J., McNally D.J., Moran B.W., McCaul M.V., Hart K., Paul B., & Kelleher B.P. (2011). The degradation characteristics of microbial biomass in soil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75, (10), 2557-2996.
- Suarez, J. (2008). Calidad de Agua en Ríos: Autodepuración.
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). El proceso de la investigación científica. México D.F.: Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores Balderas 95.

Webgrafía

- Banco Mundial. (2013). Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas. Disponible en:
<https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>
- Blázquez, P., Montero, M.C. (2010). Reutilización de agua en Bahía Blanca Plata 3era cuenca. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/agua_reutilizacion.pdf

Blu Radio. (2015). Río Cesar, emergencia ambiental ecológica: última oportunidad. Disponible en: <https://www.bluradio.com/medio-ambiente/rio-cesar-emergencia-ambiental-ecologica-ultima-oportunidad>

Carpio, P.M. (2014). Análisis in vitro de la capacidad de remoción de materia orgánica de aguas residuales procedentes de la matanza y faenamiento de ganado, mediante la utilización de quitosano. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6701/1/UPS-CT003357.pdf>

El Heraldo. (2015). Río cesar, en emergencia por aguas residuales. Disponible en: <https://www.elheraldo.co/cesar/rio-cesar-en-emergencia-por-aguas-residuales-186980>

Guzmán, K. (2013). El río Cesar. Disponible en: https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/dtser_188.pdf

IDEAM. (2007). Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua: Observación y medición en aguas superficiales de niveles, caudales y sedimentos. Imprenta Nacional de Colombia. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021172/Protocoloparaelmonitoreoyseguimientodelagua.pdf>

IDEAM, INVEMAR. (2017). Protocolo de monitoreo del agua: Técnicas y procedimientos. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023773/PROTOCOLO_MONITOREO_AGUA_IDEAM.pdf

Martínez, N., & Zequeira, A. (2018). Evaluación del recurso hídrico del balneario Hurtado, Río Guatapurí, determinada a través de macroinvertebrados acuáticos implementando índices

biológicos y fisicoquímicos. Disponible en:

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13864/2018nicolasmartinezalvaroz-equeira.pdf?sequence=1>

Mata, A., & Quevedo, F. (2005). Diccionario didáctico de ecología. Disponible en:

<https://books.google.com.co/books?id=a2kW3pjzcwC&pg=PA43&dq=autodepuracion&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjRvoadvYvpAhVQU98KHbfXA7YQ6AEIKDAA#v=onepage&q=autodepuracion&f=false>

OMS & ONU-HABITAT. (2018). Progresos en el tratamiento y el uso de las aguas residuales de

manera adecuada. Disponible en:

file:///C:/Users/usuario/Downloads/SDG6_Indicator_Report_631_Progress-on-Wastewater-Treatment_SPANISH_2018.pdf

OMS. (2019). Agua. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20puede%20transmitir,zonas%20con%20escasez%20de%20agua.>

ONU. (2014). El agua fuente de vida 2005-2015. Disponible en:

<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. (2007). Disponible en:

http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Velocidad%20de%20la%20corriente%20y%20caudal.pdf

UNESCO. (2018). Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. Disponible en:

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261494>

Universidad del Atlántico. (2011). Caracterización e impactos ambientales por vertimientos en tramos de la cuenca media y baja del río Cesar, Valledupar. Disponible en:
<https://www.corpocesar.gov.co/riocesar.html>

Vernier, P. (1911). Enciclopedia Británica 27 (11ª ed.). Cambridge, Inglaterra. Disponible en:
http://www.vernier.com/files/sample_labs/CMV-41-oxigeno_disuelto.pdf

Zabaleta, E. (2016). Evaluación del porcentaje de remoción de materia orgánica en función de las características fisicoquímicas del río Grande- distrito Celedín. Disponible en:
http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1762/TESIS%20_%20EVER%20ZABALETA%20VILLANUEVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Anexos

Anexo 1. Recolección de muestra.



Anexo 2. Medición de velocidad.



Anexo 3. Medición de profundidad.



Anexo 4. Medición de temperatura y ancho.



Anexo 5. Obtención de valores en el laboratorio.

