

EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA, MEDIANTE EL  
MONITOREO Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y  
MICROBIOLÓGICOS COMO INSUMO PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN LA VEREDA BALCONES DE RESTREPO  
META.



DESCHNER EDUARDO ARDILA PINEDA  
DIEGO ALEJANDRO ROJAS CESPEDES



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO

2018

EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA, MEDIANTE EL  
MONITOREO Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y  
MICROBIOLÓGICOS COMO INSUMO PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN LA VEREDA BALCONES DE RESTREPO  
META.

DESCHNER EDUARDO ARDILA PINEDA  
DIEGO ALEJANDRO ROJAS CESPEDES

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero ambiental

Asesor:

HENRY CONTRERAS LEÓN  
Ingeniero Ambiental y Sanitario

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO

2018

**Autoridades académicas**

**P. JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMACA, O.P.**

Rector General

**P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO, O.P.**

Vicerrector Académico General

**P. JOSÉ ARTURO RESTREPO, O.P.**

Rector Sede Villavicencio

**P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA, O.P.**

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

**JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN**

Secretaria de División Sede Villavicencio

**Ing. YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN**

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

**Nota Aceptación**

---

---

---

---

**YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN**

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental

---

**HENRY CONTRERAS LEÓN**

Director Trabajo de Grado

---

**CHRISTIAN JOSÉ ROJAS REINA**

Jurado

---

**JUAN JOSÉ NIETO**

Jurado

Villavicencio, noviembre de 2019

## Tabla de contenido

	Pág.
Resumen.....	12
Abstract.....	13
Introducción .....	14
<b>CAPÍTULO I</b> .....	15
Planteamiento del problema.....	15
Objetivos.....	17
Objetivo general .....	17
Objetivos específicos.....	17
Justificación .....	18
Alcance .....	21
<b>CAPÍTULO II</b> .....	23
Antecedentes .....	23
<b>CAPÍTULO III</b> .....	25
Marco de referencia .....	25
Marco teórico .....	25
Marco legal.....	27
<b>CAPITULO IV</b> .....	28
<b>Metodología</b> .....	28
Área y periodo del estudio .....	28
Fase I caracterización del agua residual mediante, recolección de información, identificación de variables y monitoreo de parámetros fisicoquímicos.....	28
Recolección de información .....	29
Variables dependientes e independientes.....	29
Variables independientes .....	29
Tipos de días de la semana .....	29
Variables dependientes .....	30
Monitoreo .....	31

Recolección de información .....	32
Variables independientes, dependientes y Monitoreos .....	34
Fase II procesamiento y análisis de la información .....	35
Análisis estadístico de los datos .....	35
Análisis del modelo experimental .....	36
Fase III. Propuesta preliminar del sistema de tratamiento de agua residual .....	36
Aspectos generales del diseño .....	36
Definición del nivel de complejidad del sistema.....	36
Propuesta para el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual para la zona suroccidental del municipio de Restrepo-Meta. ....	37
CAPITULO V .....	38
Resultados y análisis .....	38
Fase I y Fase II Resultados de monitoreos y análisis estadístico de la información.....	38
Parámetros in situ .....	38
<b>Caudal</b> .....	38
<b>Conductividad</b> .....	42
<b>Temperatura</b> .....	44
<b>PH</b> .....	46
<b>Sólidos Sedimentables</b> .....	48
Parámetros de laboratorio.....	50
<b>DBO<sup>5</sup> (Demanda Bioquímica de Oxígeno)</b> .....	50
<b>DQO (Demanda Química De Oxígeno)</b> .....	52
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b> .....	54
<b>Grasas y aceites</b> .....	55
<b>Nitrógeno</b> .....	57
<i>Coliformes fecales y Totales</i> .....	60
<b>Fósforo Total</b> .....	61
Análisis de modelo experimental .....	62
Análisis de cargas contaminantes .....	62
Grado de impacto que genera el vertimiento de agua residual comparando Caudal, DBO <sub>5</sub> , DQO Y Sólidos suspendidos totales.....	67

Fase III. Propuesta preliminar del sistema de tratamiento de agua residual. ....	69
Aspectos generales del diseño .....	69
Proyección poblacional Restrepo – Meta .....	70
Propuesta para el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual para la zona suroccidental del municipio de Restrepo-Meta. ....	72
Tratamiento Preliminar .....	72
Tratamiento biológico.....	73
Discusión de resultados y Recomendaciones .....	76
Conclusiones .....	77
Referencias Bibliográficas .....	79
Anexos .....	84

## Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. Diagnóstico de la calidad de agua del rio Upín año 2011. ....	19
Tabla 2. Valores máximos permisibles para un sistema de alcantarillado de agua residual Doméstica y agua residual no doméstica. ....	20
Tabla 3. Modelo experimental comparativo .....	30
Tabla 4. Fechas de monitoreo en periodo de sequía .....	34
Tabla 5. Fechas de monitoreo periodo de lluvia .....	34
Tabla 6. Consumo de habitante por día .....	40
Tabla 7. Resultados estadísticos de tendencia central, Caudal L/S .....	41
Tabla 8. Resultados estadísticos de tendencia central, conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).....	43
Tabla 9. Resultados estadísticos de tendencia central, Temperatura $^{\circ}\text{C}$ .....	45
Tabla 10 . Resultados estadísticos de tendencia central, pH.....	47
Tabla 11. Resultados estadísticos de tendencia central, sólidos sedimentables .....	49
Tabla 12. Resultados estadísticos de tendencia central, DBO <sub>5</sub> .....	51
Tabla 13. Resultados estadísticos de tendencia central, DQO.....	53
Tabla 14. Resultados estadísticos de tendencia central, SST.....	54
Tabla 15. Resultados estadísticos de tendencia central, Grasas y aceites.....	56
Tabla 16. Resultados estadísticos de tendencia central, nitratos .....	58
Tabla 17. Resultados estadísticos de tendencia central, Nitrógeno amoniacal.....	59
Tabla 18. Resultados estadísticos de tendencia central, Nitrógeno total. ....	60
Tabla 19. Resultados estadísticos de tendencia central, coliformes totales y fecales.....	61
Tabla 20. Resultados estadísticos de tendencia central, fosforo total.....	62
Tabla 21. Carga contaminante de la DBO <sub>5</sub> , DQO Y SST .....	63
Tabla 22. Coeficiente de Pearson de cargas contaminantes de DBO <sub>5</sub> , DQO y SST .....	63
Tabla 23. Proyección de cargas contaminantes, DBO <sub>5</sub> , DQO y SST.....	65
Tabla 24. Datos monitoreo Edesa ESP. ....	67
Tabla 25. Valores máximos permisibles vs vertimiento de agua residual.....	68
Tabla 26. Nivel de complejidad del sistema .....	69

Tabla 27. Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad (RAS 2017, título B)..	70
Tabla 28. Proyección poblacional a 25 años de la zona occidental de Restrepo .....	70
Tabla 29. Proyección de caudales .....	71
Tabla 30. Lodos activados. ....	73
Tabla 31. Valores de diseño para un filtro percolador convencional .....	74
Tabla 32. Proyección de valores .....	74

## Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Vertimiento de agua residual domestica por la zona suroccidental.....	16
<i>Figura 2.</i> Ubicación geográfica del punto de vertimiento, vereda Balcones, Restrepo, Meta. ...	21
<i>Figura 3.</i> Nutrientes. Rio Upín, Restrepo, Meta. (Cormacarena, 2011) .....	24
<i>Figura 4.</i> Mezcla del caudal del cuerpo receptor y el caudal del vertimiento, vereda .....	32
<i>Figura 5.</i> Precipitación promedio de los meses de monitoreo. ....	33
<i>Figura 6.</i> Toma de muestras en campo en el caño Lata, vereda Balcones, Restrepo, Meta.....	35
<i>Figura 7.</i> Comportamiento del caudal en el punto de vertimiento por.....	38
<i>Figura 8.</i> Comportamiento de los valores promedios de la conductividad en el punto de .....	42
<i>Figura 9 .</i> Comportamiento de los valores promedios de la temperatura en el punto de vertimiento,.....	44
<i>Figura 10.</i> Comportamiento de los valores promedios del pH en el punto de vertimiento, caño Lata, Restrepo, Meta. ....	46
<i>Figura 11.</i> Comportamiento de los valores promedios de los sólidos sedimentables en el .....	48
<i>Figura 12.</i> Comportamiento DBO <sup>5</sup> en periodo de sequía y lluvias, Restrepo, Meta. ....	50
<i>Figura 13.</i> Comportamiento DQO en periodo sequía y lluvias, Restrepo, Meta. ....	52
<i>Figura 14.</i> Comportamiento SST en periodo sequía y lluvia, pico máximo y mínimo de.....	54
<i>Figura 15.</i> Comportamiento Grasas y Aceites en periodo de sequía y lluvias, Restrepo, Meta...	55
<i>Figura 16.</i> Comportamiento de los valores de nitratos en el Punto de Vertimiento por .....	57
<i>Figura 17.</i> Comportamiento de los valores de nitrógeno amoniacal en el Punto de .....	58
<i>Figura 18.</i> Comportamiento de los valores de nitrógeno total en el Punto de .....	59
<i>Figura 19.</i> Coliformes totales y fecales de acuerdo a la temporalidad climática, Restrepo,.....	60
<i>Figura 20.</i> Comportamiento de los valores del fósforo total en el punto de vertimiento por .....	61
<i>Figura 21.</i> Relación de las cargas contaminantes entre los municipios de Villavicencio y .....	65
<i>Figura 22.</i> Proyección de cargas contaminantes para la parte occidental del municipio de Restrepo, Meta .....	66
<i>Figura 23.</i> Comparación del caudal con respecto a DBO <sub>5</sub> , DQO Y Sólidos suspendidos.....	67
<i>Figura 24.</i> Proyección poblacional a 25 años de la zona occidental de Restrepo .....	71
<i>Figura 25.</i> Diagrama de flujo del diseño conceptual del sistema de tratamiento de aguas residuales, .....	75

## Listado de anexos

	Pág.
Anexo 1. Tabla de leyes, decretos, resoluciones y libros pertinentes al estudio. ....	84
Anexo 2. Tabla de parámetros de medición, equipos de medición y método de análisis.....	85
Anexo 3. Tabla de tecnologías de tratamiento de agua residual doméstica consideradas en la formulación de los esquemas .....	86
Anexo 4. Diagrama metodológico y recorrido del agua por la tubería.....	87
Anexo 5. Fórmulas de cálculo para cada uno de los caudales .....	88
Anexo 6. Fórmulas para análisis de laboratorio.....	89
Anexo 7. Ecuaciones para el cálculo de lodos activados.....	90
Anexo 8. Tabla de pruebas matemáticas de funcionamiento de lodos activados .....	91
Anexo 9. Ecuaciones generales utilizadas en la ejecución del trabajo .....	92

## Resumen

El presente estudio evalúa el grado de contaminación presente en el agua residual de un vertimiento puntual ubicado en la zona suroccidental del municipio de Restrepo Meta, el cual recoge todas las aguas residuales procedentes de la mitad del casco urbano municipio. Para cumplir dicho propósito se realizó inicialmente una caracterización del agua residual mediante revisión de información primaria y monitoreo *in situ* de parámetros como: pH, oxígeno disuelto, conductividad, caudal y temperatura.

Los parámetros *ex situ* analizados en laboratorio fueron: DBO<sub>5</sub>, DQO, aceites y grasas, nitratos, nitrógeno amoniacal, fósforo total, Coliformes fecales y totales así como sólidos suspendidos totales. Luego de obtener la caracterización planteada se procesó y analizó estadísticamente la información, obteniendo una evaluación de la carga contaminante del vertimiento para posteriormente definir los aspectos básicos de diseño, proyección poblaciones y nivel de complejidad del sistema, lo cual finalmente permitió proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales para la zona suroccidental del municipio de Restrepo Meta. Para el monitoreo tanto de parámetros *in situ* como *ex situ* se tuvieron en cuenta la temporalidad climática de periodos de lluvia y sequía, así como el desarrollo de las actividades de la población (día hábil y no hábil) que correspondió a monitorear cuatro (4) escenarios posibles de generación de aguas residuales, los cuales a su vez se validaron por triplicado, para finalmente realizar 12 muestreos compuestos de 24 horas en los meses de marzo a mayo respectivamente. La caracterización del agua residual presento un comportamiento inversamente proporcional de los parámetros en relación con los caudales, los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos totales y la conductividad presentaron valores de mayor magnitud en periodo de sequía aumentando un 45% con respecto al periodo de lluvias. Finalmente a partir de esta información se propuso el diseño conceptual del sistema de tratamiento basado principalmente para tratamiento preliminar en rejillas y desarenador y para tratamiento biológico primario en filtro percolador.

Palabras clave: Contaminación, temporalidad climática, agua residual doméstica, vertimiento puntual.

### **Abstract**

The present study evaluates the degree of contamination present in the wastewater of a point discharge located in the southwestern zone of the municipality of Restrepo Meta, which collects all the wastewater from the middle of the urban municipality. To fulfill this purpose, a characterization of the residual water was initially carried out by reviewing primary information and monitoring in situ parameters such as: pH, dissolved oxygen, conductivity, flow and temperature.

The ex situ parameters analyzed in the laboratory were: BOD, COD, oils and fats, nitrates, ammonia nitrogen, total phosphorus, fecal and total coliforms as well as total suspended solids. For the monitoring of both in situ and ex situ parameters, the climatic temporality of periods of rain and drought was taken into account, as well as the development of the activities of the population (Business days and not Business days) that corresponded to monitoring four (4) Possible scenarios of wastewater generation, which in turn were validated in triplicate, to finally carry out 12 composite samples of 24 hours in the months of January and May respectively. The characterization of the wastewater showed an inversely proportional behavior of the parameters in relation to the flows, the parameters presented data of greater magnitude in the dry period, with a 45% reduction in the parameters of BOD, COD, total suspended solids and the conductivity in the period of rain. After obtaining the proposed characterization, the information was processed and analyzed statistically, obtaining an evaluation of the contaminant load of the shedding to later define the basic aspects of design, population projection and level of complexity of the system, finally allowed to propose a water treatment system residuals for the southwestern area of the municipality of Restrepo Meta.

**Keywords:** Pollution, climatic temporality, domestic wastewater, punctual dumping.

## Introducción

El deterioro de los cuerpos de agua por vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento corresponde a una de las problemáticas ambientales más importante en Colombia, donde entidades como ACODAL han podido establecer que solo el 31% de las ciudades del país cuentan con un sistema para tratar sus vertimientos (Asociación Colombiana De Ingeniería , 2017) , no obstante el Ministerio de Medio Ambiente ha instaurado políticas para la conservación del recurso hídrico como la resolución 0631 de 2015 la cual establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales (Ministerio de Medio Ambiente, 2015).

El municipio de Restrepo , Meta no es ajeno a esta problemática donde hay presencia de conexiones de aguas residuales por sectores, los cuales llegan a realizar sus respectivas descargas en cuerpos hídricos aledaños sin realizar tratamiento (Cormacarena, 2011), una de estas descargas comprende el objeto de estudio en el presente proyecto, el cual evalúa el estado del agua residual doméstica, mediante el monitoreo y análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que funcionó como insumo para el diseño conceptual del sistema de tratamiento de agua residual en la vereda Balcones de Restrepo Meta.

Es importante determinar sus características estadísticas para predecir los valores máximos, mínimos y promedios, así como su posible ocurrencia durante la operación del sistema de tratamiento, de acuerdo con lo anterior se aplicó un análisis estadístico a los resultados de los valores de parámetros fisicoquímicos monitoreados en el punto de vertimiento, luego de esto fue posible obtener cargas contaminantes y correlacionarlas con características de temporalidades climáticas y días hábiles y no hábiles.

Lo anterior responde a una necesidad de conservar la calidad del recurso hídrico en el cuerpo receptor teniendo en cuenta las dinámicas de uso del suelo aguas abajo del vertimiento, con el fin de establecer un sistema de tratamiento de aguas residuales más acorde y minimizar el riesgo al utilizar estas aguas tratadas que se vierten nuevamente a fuentes hídricas y que aguas abajo son utilizadas en actividades como agricultura, pesca, piscicultura y recreativas (Cormacarena, 2011).

## CAPÍTULO I

### Planteamiento del problema

La falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia ha sido una de las causas de la contaminación del 55% de los ríos del país, según las últimas revisiones de la asociación colombiana de ingeniería (ACODAL) solo el 31% de las ciudades colombianas cuentan con un sistema para tratar sus vertimientos (Asociación Colombiana De Ingeniería, 2017). Sin embargo en los últimos años se han instaurado políticas para la conservación y protección del recurso agua, una de ellas es la política nacional del recurso hídrico (PNRH), la cual tiene como objetivo general asegurar la sostenibilidad del recurso a través de la mejora de la calidad y minimización de su contaminación (Ministerio de medio ambiente, 2014). Por otro lado la resolución 0631 de 2015 establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua Superficiales (Ministerio de Medio Ambiente, 2015).

El departamento del Meta cuenta con 5 plantas de tratamiento de agua residual, además se ha realizado el diseño y construcción de 10 sistemas de tratamiento de agua residual a lo largo del departamento (Empresa de Servicios Públicos del Meta, 2017). Según el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) realizado en 2011 para el departamento por CORMACARENA (Cormacarena, 2011). En el municipio de Restrepo- Meta son evidentes los vertimientos de aguas residuales sin tratamiento al Río Upín y a algunos de sus cauces tributarios afectando así la calidad del recurso hídrico. Uno de esos cauces que alimentan el Upín es el caño Lata el cual recibe directamente el vertimiento de las aguas residuales domésticas de 10.200 personas.

Desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Upín, el caño Lata atraviesa el casco urbano y el área rural del municipio de Restrepo, este afluente recorre barrios y urbanizaciones como: Minuto de dios, Libertador, Simón Bolívar, Antonio Nariño, Villas del sol, Nuevo horizonte y Villa santos (Alcaldía Restrepo, 2012). Dichos barrios comparten un sistema de alcantarillado el cual finalmente vierte sus aguas residuales directamente al caño Lata. Aguas abajo en el área rural del municipio de Restrepo se encuentra la Vereda Balcones donde se hace la descarga puntual del alcantarillado al caño Lata lo cual genera que la población de esta vereda se vea afectada por estas

aguas residuales sin tratamiento que contaminan el recurso hídrico, indispensable en actividades como agricultura, ganadería, avicultura y piscicultura que se desarrollan allí. Al no contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales adecuado en la zona se corre el riesgo de que poblaciones aledañas aguas abajo del punto de vertimiento adquieran enfermedades como diarrea, cólera, anemia entre otras teniendo en cuenta que el agua es un importante trasmisor de enfermedades (Bv, 2017) .



**Figura 1. Vertimiento de agua residual doméstica por la zona suroccidental del municipio de Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.**

A partir de lo anterior se plantea la siguiente pregunta problema ¿Cuál es el estado actual del agua residual generada por la mitad del casco urbano del municipio de Restrepo que realiza su vertimiento sobre el caño lata? y cuál es el sistema de tratamiento de aguas residuales a aplicar?.

## Objetivos

### Objetivo general

Evaluar el estado del agua residual doméstica, mediante el monitoreo y análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como insumo para el diseño conceptual del sistema de tratamiento de agua residual en la vereda Balcones de Restrepo Meta.

### Objetivos específicos

- Caracterizar el agua residual mediante, recolección de información, identificación de Variables y monitoreo de parámetros fisicoquímicos teniendo en cuenta los requerimientos establecidos en el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2017.
- Analizar los niveles de carga contaminante presentes en el agua residual del punto de vertimiento en el municipio de Restrepo-Meta, por medio del procesamiento y análisis estadístico de la información.
- Proponer el sistema de tratamiento de agua residual a nivel conceptual, ajustado a las necesidades de la zona suroccidental del municipio de Restrepo-Meta, de acuerdo a la estimación de aspectos básicos de diseño.

## Justificación

En el municipio de Restrepo existe la necesidad de dar cumplimiento a la meta 106 del Subprograma 22, dimensión 2 que se encuentra propuesta dentro del plan de desarrollo Municipal “Restrepo, experiencia compromiso y resultados” 2016-2019 (Alcaldía Restrepo, 2012), donde se plantea que es necesaria la implementación de un sistema de tratamiento de agua residual para el sector suroccidental del municipio, clave para la protección del recurso hídrico, el cual es importante para el desarrollo de las personas y su calidad de vida. Fue de vital importancia conocer el estado de la contaminación del agua residual en el punto de vertimiento antes de realizar el diseño del sistema. Se estimaron las cargas contaminantes presentes y proyectaron las cargas futuras. Los monitoreos realizados en el punto de vertimiento arrojaron información sobre el estado de los siguientes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: caudal, pH, temperatura, conductividad, sólidos sedimentables, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales, nitratos, nitrógeno amoniacal, aceites y grasas, fósforo total, coliformes fecales y coliformes totales.

Tal información funcionó como insumo para realizar la caracterización del agua residual, a partir de esto se evaluaron las condiciones en las que llega el agua residual al punto de vertimiento para posteriormente proponer el sistema de tratamiento de aguas residuales más ajustado a las necesidades de este caso. Los beneficios que recibirá el caño Lata con la implementación del sistema de tratamiento de agua residual que se planteó durante este estudio es la mejora de la calidad del recurso hídrico y la calidad de vida de los habitantes que viven cerca al punto de vertimiento debido a que el agua *“contribuye al mantenimiento y funcionamiento de los ecosistemas, a la salud, bienestar y seguridad alimentaria de la sociedades y al avance económico, industrial, social y cultural”* (Segura, 2007). Teniendo en cuenta que la calidad del recurso hídrico fue alterada desde el momento que se comenzó a realizar el vertimiento de agua residual doméstica al caño Lata. La Vereda Balcones lugar donde se realiza el vertimiento posee una población aproximada de 100 personas, estas serían beneficiadas por el funcionamiento de un sistema de tratamiento de agua residual. De acuerdo con el estudio realizado por CORMACARENA (Cormacarena, 2011), se pudieron establecer los valores de parámetros como DBO, DQO,

compuestos de nitrógeno y orto fosfatos presentes en algunos tramos del río Upín en el año 2011 *Tabla 1*. En la *Tabla 2* se pueden observar los valores máximos permisibles para descargas de aguas residuales a cuerpos de agua superficiales (Ministerio de Medio Ambiente, 2015), que con la implementación del sistema de tratamiento de agua residual propuesto se espera lograr una reducción en los valores de estos parámetros. El caño Lata luego de recibir directamente el vertimiento de aguas residuales desemboca 200 metros más adelante en el Río Upín aportando parte de la carga contaminante a éste.

**Tabla 1. Diagnóstico de la calidad de agua del río Upín año 2011.**

<b>Fuente</b>	<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Hora</b>	<b>DQO (mg/L O<sub>2</sub>)</b>	<b>DBO (mg/L O<sub>2</sub>)</b>	<b>Sólidos totales (mg/L)</b>	<b>Mg (N-NO<sub>2</sub> /L)</b>
Río Upín	01/03/2011	11:30 am	< 10	<2	20	0,22
Río Upín	23/03/2011	04:05 pm	36	15	180	0,01
Río Upín	01/03/2011	01:30 pm	17	7	29	0,01
Río Upín	23/03/2011	09:30 am	< 10	2	5	<0,01
Río Upín	03/03/2011	05:30 pm	20	11	32	0,06
Río Upín	23/03/2011	02:37 pm	25	4	62	0,02

*NOTA: condiciones del cuerpo hídrico upin (Cormacarena, 2011).*

Se puede evidenciar los valores de DQO, DBO, Sólidos totales, Orfos fosfatos y nitratos, estos parámetros fueron analizados en plan de ordenamiento del recurso hídrico en el año 2011.

**Tabla 2. Valores máximos permisibles para un sistema de alcantarillado de agua residual Doméstica y agua residual no doméstica.**

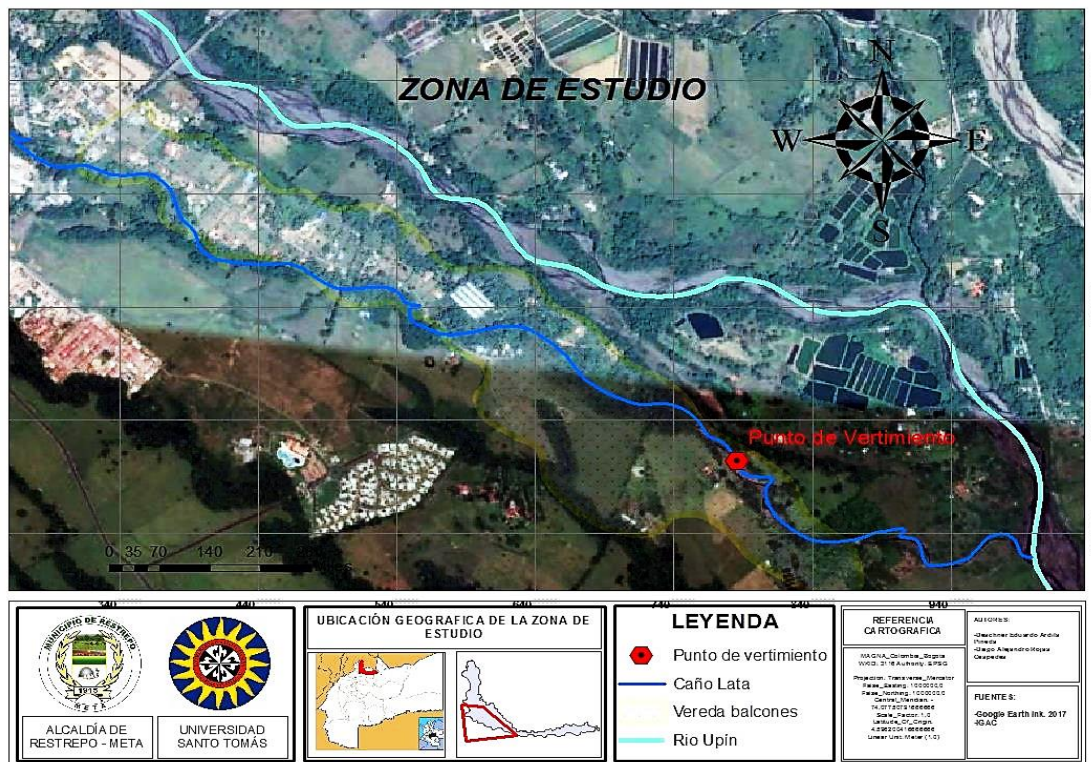
Parámetros	Unidad	AGUA RESIDUAL DOMESTICA- ARD CON	
		UNA CARGA MAYOR A 625,00 kg/día Y MENOR O IGUAL A 3000,00 DBO	
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	
Conductividad	µS/cm	NA	
DBO	mg/L O <sub>2</sub>	180	
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	90	
SST	mg/L	90	
Grasas y Aceites	mg/L	20	

*NOTA: valores de carga contaminante de agua residual domestica con cargas mayores a 625,00 kg/día Y MENOR O IGUAL A 3000,00 DBO (Ministerio de Medio Ambiente, 2015).*

Con base a lo anterior, fue pertinente e importante la realización de este proyecto el cual permitió proponer el diseño del sistema de tratamiento de agua residual para la zona sur occidental del municipio de Restrepo- Meta. Las tomas de muestras se realizaron bajo un modelo experimental, el cual ayudó a establecer la cantidad de monitoreos necesarios para este estudio, estas muestras se llevaran a cabo en dos temporalidades climáticas y se tendrán en cuenta los días hábiles y días no hábiles de la semana. El planteamiento de este estudio permitió poner en práctica los aprendizajes obtenidos gracias a la formación académica en Ingeniería Ambiental, así como brindar desde la academia un aporte a la solución de esta problemática ambiental presente en el municipio de Restrepo-Meta beneficiando a la población de la Vereda Balcones que son los principales afectados por el vertimiento de agua residual al caño Lata.

## Alcance

El Caño Lata Pertenece a la cuenca hidrográfica del Rio Upín (Cormacarena, 2011), transita por el sector Noroccidental del casco urbano de Restrepo, con un recorrido aproximado de 4 km en sentido Sur-Occidental observar en la *Figura 2*. El proyecto se desarrolló en el punto de vertimiento encontrado a 2,5 km del perímetro urbano, la zona de estudio de esta investigación comprende un área de 3 km<sup>2</sup> ubicada en la jurisdicción del municipio de Restrepo al Noreste del departamento del Meta, República de Colombia. Restrepo cuenta con una extensión total de 434 km<sup>2</sup>; su distancia respecto a la capital del Meta (Villavicencio) es de 16 kilómetros. Sus límites son por el norte con los municipios de Medina (Cundinamarca) y Cumarál (Meta), por el Occidente: Municipios de San Juanito y El Calvario, por el sur Villavicencio y por el oriente con Puerto López (Alcaldía Restrepo, 2016), El área y localización del estudio se pueden observar en la *Figura 2*, donde también se puede notar el recorrido del caño Lata y el punto donde se realiza el vertimiento.



*Figura 2. Ubicación geográfica del punto de vertimiento, vereda Balcones, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila, 2018*

La temperatura promedio del municipio es de 20,4 °C correspondiente a clima cálido y húmedo (84% promedio de humedad) (IDEAM, 2016); los meses con mayor régimen de lluvias son Mayo, Octubre y Noviembre, por el comportamiento climático bimodal que allí se presenta (IDEAM, 2012). Por ende Se llevó a cabo la toma de doce muestras, seis en periodo de lluvias y seis en periodo de sequía. Estos muestreos se realizaran durante el primer semestre del año 2018, la ejecución del estudio duró 7 meses, la población beneficiada principalmente en caso de que este proyecto se ejecute por entes gubernamentales, serán los habitantes de la vereda balcones y de más pobladores aguas abajo.

## **CAPÍTULO II**

### **Antecedentes**

En el año 2011 CORMACARENA dentro de su estudio denominado Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico PORH describe algunos de los problemas ambientales que presentan las principales cuencas hidrográficas del departamento del Meta (Cormacarena, 2011). Entre estas la del Rio Upín, que sufre problemáticas ambientales relacionadas al deterioro del recurso hídrico, entre las cuales se encuentra la presencia de descargas puntuales de aguas residuales tanto tratadas como sin tratamiento previo, provenientes de asentamientos humanos en algunas de sus subcuencas. Lo anterior describe la problemática principal de este estudio donde se tiene en cuenta el vertimiento de aguas residuales domesticas al caño Lata el cual unos metros aguas abajo desemboca en el cauce del Rio Upín.

Teniendo en cuenta el estudio anterior (PORH) en 2011 en su capítulo de diagnóstico de la calidad físico química del agua, se pudo establecer el estado de la calidad del agua de los principales ríos del departamento entre ellos el Upín, donde se instalaron 3 estaciones de monitoreo de agua ubicadas estratégicamente una aguas arriba del río y las otras dos aguas abajo después de que el afluente cruza por el casco urbano del municipio. Este muestreo se realizó en los meses de febrero y marzo, donde se tuvieron resultados normales en cuanto a la mayoría de los parámetros en la estación de aguas arriba pero en las dos estaciones aguas abajo se observó una tendencia al aumento en cuanto parámetros como orto fosfatos y nitrógeno amoniacal, elementos característicos de las aguas residuales domésticas, más precisamente por residuos detergentes y materia orgánica residente (Cormacarena, 2011).

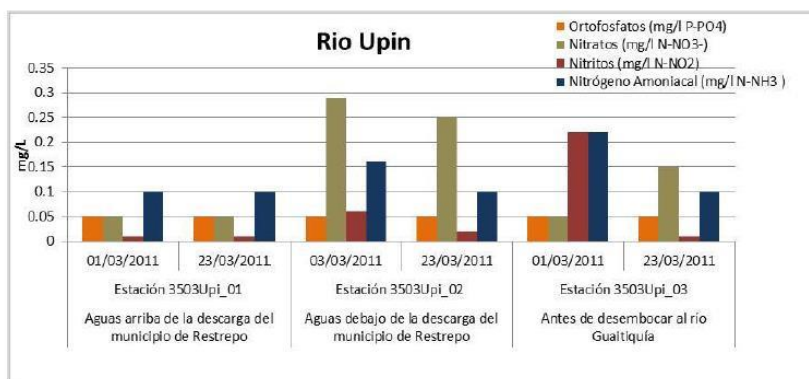


Figura 3. Nutrientes. Rio Upín, Restrepo, Meta. (Cormacarena, 2011)

La investigación realizada por Galvis, A \* Cardona, D.A.\*\* Bernal, D. P.\*\*\* en el año 2004, brinda una serie de parámetros a tener en cuenta para hacer la selección de tecnologías para el control de la contaminación por aguas residuales domesticas en localidades colombianas menores de 30.000 habitantes, el modelo desarrollado por este estudio integra un sistema experto para hacer más sencillo el proceso de selección de tecnologías, teniendo en cuenta conceptos como sostenibilidad, teoría general de sistemas, producción más limpia, gestión integrada de recursos hídricos, e impacto en salud y medio ambiente (A, Galvis; D, Cardona; D, Bernal, 2004). De igual manera existen documentos guías relacionados con la selección de tecnologías apropiadas de tratamiento de aguas residuales para ciudades pequeñas y medianas (Noyalo, 2013), se dictan consideraciones a tener en cuenta para depurar aguas residuales municipales, donde se tienen en cuenta la diversidad de aguas residuales, el uso o disposición del agua tratada, costos de montaje, operación y mantenimiento, aspectos sociales entre otros.

## CAPÍTULO III

### Marco de referencia

#### Marco teórico

Este estudio estuvo enfocado en dar solución a un problema ambiental relacionado con contaminación hídrica por vertimientos de aguas residuales proveniente de actividades domésticas a un cuerpo hídrico, cabe aclarar que las aguas residuales son aquellas aguas usadas y sólidos que se introducen en las cloacas y son transportados a través del sistema de alcantarillado (Rojas, 1999).

Dentro de la clasificación de estas aguas se encuentran las Aguas Residuales Domesticas (ARD), que se definen como las "*procedentes de los hogares, así como de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a descargas de retretes y servicios sanitarios como también de las descargas de los sistemas de aseo personal (duchas, lavamanos), procedentes de cocinas, sumideros para lavados de pisos como de paredes y lavado de ropa* (Ministerio de Medio Ambiente, 2015)".

Toda agua servida o residual debe ser tratada, tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente. **Los sistemas de tratamiento de agua residual** son un conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico que tienen como propósito final, eliminar o reducir la contaminación o las características no deseables de las aguas residuales (Rojas, 1999). La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final.

Para un posterior diseño, operación y control de los sistemas de tratamiento de aguas residuales es fundamental conocer las características del agua residual, esto con el objetivo de determinar el grado de contaminación del agua. Esto se realiza midiendo ciertos parámetros que se clasifican en químicos, físicos y microbiológicos. Estos parámetros se obtienen a través de tomas de muestra y

aforos, donde se obtiene información fundamental para analizar el grado de contaminación del agua residual a tratar (Ramirez, 2011).

Existen dos tipos de muestreo para aguas: el muestreo manual y el automático, para este caso en particular se llevó a cabo un muestreo manual el cual se realiza por la persona encargada directamente en el punto de descarga, esto permite a la persona que recolecta la muestra estar al tanto de cualquier característica especial en el sitio (Ramirez, 2011).

En monitoreos de calidad de agua se presentan como los tipos de muestras más comunes las instantáneas, las compuestas y las integradas, debido a que en este estudio se necesita evaluar un tipo de agua residual que presenta cierta variabilidad se aconseja utilizar muestra compuesta la cual consta de pequeñas muestras instantáneas que en este caso se toman con una frecuencia de muestreo de 24 horas, estas muestras individuales se mezclan para formar una muestra total que finalmente se analiza en laboratorio (Ramirez, 2011).

Para el desarrollo del monitoreo de aguas residuales en este estudio, se tienen en cuenta las actividades desarrolladas por la población aportante referente al gasto de agua, puesto que el volumen de aguas residuales sufre variaciones, horarias, diarias y anuales. Lo anterior ocurre como consecuencia de hábitos que dependen de horarios de trabajo, horarios de estudio, lavado de ropa, cocinar, uso del baño, vacaciones, viajes etc. donde la cantidad de agua consumida varía y por ende también el caudal de agua residual (Kuznia, W. Valter y O., 1990). Para este caso en particular se pretende proponer el diseño conceptual de un sistema de tratamiento de agua residual con el objetivo de ajustar los valores de una serie de parámetros fisicoquímicos presentes en el agua residual para lograr su reducción a los límites máximos permisibles según la normatividad vigente en Colombia (res 0631 de 2015) (Ministerio de Medio Ambiente, 2015) teniendo en cuenta un vertimiento puntual presente en la Vereda Balcones, municipio de Restrepo - Meta.

## Marco legal

Es de vital importancia conocer los decretos, leyes y reglamentación que se debe tener en cuenta a la hora de realizar el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual, donde se encuentran los lineamientos básicos necesarios a tener en cuenta para el sistema que se pretende diseñar en este proyecto.

La Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009” (Ministerio De Vivienda, 2017).

### Artículo 1

La presente resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo (Ministerio De Vivienda, 2017). Otra resolución importante para la ejecución del proyecto es la 0631 del 2015 que deroga artículos del decreto 1594 de 1984 y establece nuevos valores máximos permisibles para vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas a cuerpos de agua superficial.

### 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 Domesticas (ARD y ARND) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales (Ministerio de Medio Ambiente, 2015). Complementario a las resoluciones mencionadas previamente se deben tener en cuenta la el *anexo I* la cual tiene importancia en el proyecto a realizarse.

## CAPITULO IV

### Metodología

#### **Área y periodo del estudio**

Con el objetivo de tener información más representativa para un posterior análisis, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se monitorearon teniendo en cuenta la dinámica de la población, entendiendo que el gasto de agua varía tanto en días hábiles y no hábiles, es decir entre semana y fines de semana.

El periodo climático fue otro factor tenido en cuenta para el monitoreo de estas aguas residuales, por efecto del comportamiento climático bimodal que se presenta en la zona de estudio (IDEAM, 2012). Por lo tanto se llevó a cabo el muestreo en período de lluvias y período de sequía que corresponden a los meses de marzo, abril y mayo respectivamente del año 2018, a partir de esta información realizó el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual para la zona suroccidental del municipio de Restrepo - Meta.

Para el desarrollo del estudio se tuvieron en cuenta las siguientes fases:

**Fase I caracterización del agua residual mediante, recolección de información, identificación de variables y monitoreo de parámetros fisicoquímicos.**

Para este estudio se hizo uso de un modelo experimental tipo comparativo donde se tuvieron en cuenta dos condiciones los periodos climáticos y tipos de día de la semana de acuerdo a esto se realizó el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, también se llevó a cabo la revisión de información existente, censos poblacionales, estudios realizados en Caño Lata por los entes gubernamentales y secretarías de medio ambiente de Restrepo-Meta, para esto se utilizaron los siguientes métodos:

## **Recolección de información**

Se llevó a cabo una vista técnica en la cual se pudo observar el punto de vertimiento e identificar las zonas aledañas al caño Lata. Haciendo Reconocimiento de la zona de muestreo previamente establecida, este punto fue ubicado con la ayuda del sistema de posicionamiento global (GPS).

Se revisó el censo poblacional realizado por la Secretaría de Vivienda para conocer el número de personas que realizan vertimientos al caño Lata, También se conoció la distribución del alcantarillado público el cual fue modificado en el año 2015 por la empresa EDESA departamental. Esta información secundaria hizo posible conocer el origen del agua residual doméstica que es vertida al caño Lata.

## **Variables dependientes e independientes**

Las variables dependientes e independientes son factores de vital importancia a la hora de realizar el muestreo, las variables independientes que se tuvieron en cuenta para el estudio fueron:

### **Variables independientes .**

#### ***Periodos climáticos***

Se realizó el monitoreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos teniendo en cuenta la variación climática, es decir, los periodos de lluvia y de sequía debido a que *“es importante destacar que las variaciones naturales de los niveles y calidad del agua residual están íntimamente relacionadas con variaciones espaciales y temporales de variables meteorológicas e hidrológicas que definen las diferentes épocas climáticas”* (IDEAM, 2002).

#### **Tipos de días de la semana**

Otra condición que se evaluó en el monitoreo son los tipos de días de la semana: días hábiles (lunes, martes, miércoles, jueves, viernes) y días no hábiles (Sábado, domingo y festivos), ya que

el uso del agua varía por las diferentes actividades realizadas por la población (aseo personal, preparación de alimentos, trabajo, estudio, vacaciones y festividades del municipio) lo cual incide en el gasto de agua generando un aumento o una disminución en el caudal del vertimiento. Con respecto a lo anterior se llevó a cabo un modelo experimental comparativo simple donde se contrastaron las temporalidades climáticas de periodo de lluvias y periodo de sequía con los tipos de días de la semana: día hábil y no hábil observar en la *Tabla 4*.

### **Variables dependientes**

Las variables dependientes se ven afectadas por las alteraciones de las variables independientes, se buscó establecer que tan significativas eran las variaciones de las cargas contaminantes en los periodos climáticos y tipos de días de la semana. Las variables dependientes que se identificaron y que se midieron son parámetros fisicoquímicos y microbiológicos como: Caudal, pH, temperatura, conductividad, sólidos sedimentables, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, aceites y grasas, fósforo total, coliformes fecales y coliformes totales.

*Tabla 3. Modelo experimental comparativo*

<b>FACTORES</b>	<b>Periodo de sequía</b>	<b>Periodo de lluvias</b>
<b>Día hábil</b>	Q Sequía y Día hábil	Q lluvias y Día hábil
<b>Día no hábil</b>	Q Sequía y Día no hábil	Q lluvias y Día no hábil

*NOTA: Contrasté de variables dependientes e independientes tenidos en cuenta en el muestreo de agua residual, por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*

La validación de resultados fue realizada por triplicado, es decir que se repitió el ejercicio 3 veces dando como resultado 12 monitoreos. Asimismo durante cada monitoreo se realizó una toma de muestras puntuales en tres momentos del día que corresponden a los dos picos más altos de caudal y el pico más bajo.

## Monitoreo

Para el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos se llevó a cabo la toma de muestras in situ y ex situ en los cuales se midieron los valores de los parámetros ilustrados en el *anexo 2* y en esta se puede conocer el tipo de laboratorio o método utilizado para encontrar los valores de los parámetros.

Adicionalmente en cada uno de los monitoreos compuestos, se tomaron las siguientes muestras puntuales:

Caudal Máximo: Cuando se presentaron los dos picos máximos de caudal durante el monitoreo compuesto de 24 horas. En cada uno se analizará:

- DQO
- DBO
- Sólidos suspendidos totales

Caudal mínimo: Cuando se haga lectura del caudal mínimo durante el monitoreo compuesto de 24 horas, analizando:

- DQO
- DBO
- Sólidos suspendidos totales

Lo anterior con el fin de monitorear aquellas condiciones extremas presentes por parte de las características de las aguas residuales. Para el conocimiento de las características fisicoquímicas y microbiológicas, se llevaron a cabo 12 monitoreos compuestos 24 horas. Se recolectaron cada hora tanto las muestras in situ (Temperatura del agua, pH, Oxígeno disuelto, Conductividad, Caudal y sólidos sedimentables) como las muestras ex situ (DBO, DQO, aceites y grasas, coliformes totales, coliformes fecales, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno total, fósforo total y Sólidos suspendidos Totales), lo mencionado aporta mayor precisión y confiabilidad de los datos, las muestras se tomaron directamente al punto de vertimiento. La recolección de la muestras se

hicieron bajo los lineamientos de la Guía para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas publicado por el IDEAM en el año 2002. En esta se reglamenta la toma de muestras, cuidados que se deben de tener en el transporte de las muestras al laboratorio e implementos necesarios para recolección de muestras (IDEAM, 2012). Finalmente los análisis de parámetros fisicoquímicos se desarrollaron en los laboratorios de la universidad Santo Tomás Sede Villavicencio.

### **Recolección de información**

El punto de vertimiento de agua residual se encuentra ubicado en las coordenadas, (E 01057829 N 00961810), esta obra fue realizada en el año 2014 con aprobación de la comunidad ubicada en la vereda balcones, en donde se construiría una planta de tratamiento de agua residual en un plazo de 1 año. Las afectaciones que han generado se presentan en temporalidad de sequía por la proliferación de vectores, que según la comunidad ha ocasionado enfermedades y olores fuertes, la afectación del cauce del caño lata se puede evidenciar en la *Figura 4*, en ella se evidencia el cambio de color del caño lata después del punto de vertimiento,.



*Figura 4. Mezcla del caudal del cuerpo receptor y el caudal del vertimiento, vereda, Balcones, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018*

La distribución del sistema de alcantarillado realizado en el año 2015 conectó los barrios localizados en el sector occidental del municipio de Restrepo, el número de barrios conectados fueron 9 (Minuto de dios, Libertador, Simón Bolívar, Antonio Nariño, Villas del sol, Nuevo horizonte, Villa santos, Balcones de Cofrem) y a su vez se conectó 3 productores de pan de arroz

(Lanzallamas, Alcaraván y Pan de arroz) (Viva, 2015), en el *anexo 4* se observa el tiempo que tarda cada barrio y fábricas de pan de arroz en llegar el agua utilizada al punto de vertimiento.

Los censos poblacionales revisados para la realización de este trabajo fueron dos, el censo realizado por el DANE en el año 2005 el cual afirma que el municipio de Restrepo cuenta con una población de 10.178 habitantes con una proyección de 10.543 habitantes al año 2010 (DANE, 2005), el último censo del POT realizado por la secretaria de planeación el municipio en el año 2017 (Restrepo A. , PBOT, 2017) el cual permitió determinar que Restrepo cuenta con más de 19.678 habitantes en total, de los cuales 17.000 habitan en la zona urbana del municipio, por lo tanto de acuerdo a lo mencionado previamente se toma en cuenta solo el 60% de esta población correspondiente a 10.200 personas ya que habitan la zona occidental del municipio y comparten el mismo sistema de recolección de aguas residuales que finalmente realiza el vertimiento al caño lata. En los puentes festivos y celebraciones de semana santa la población aumenta un 5% debido a la presencia de población flotante (Restrepo S. d., 2018) afectando el gasto de agua en el municipio y por ende la generación de aguas residuales. Otro de los aportantes de flujo al sistema de aguas residuales es el agua lluvia, debido a algunas conexiones erradas y combinación del sistema sanitario y aguas lluvias. A continuación se representa el comportamiento climático en las dos temporalidades.

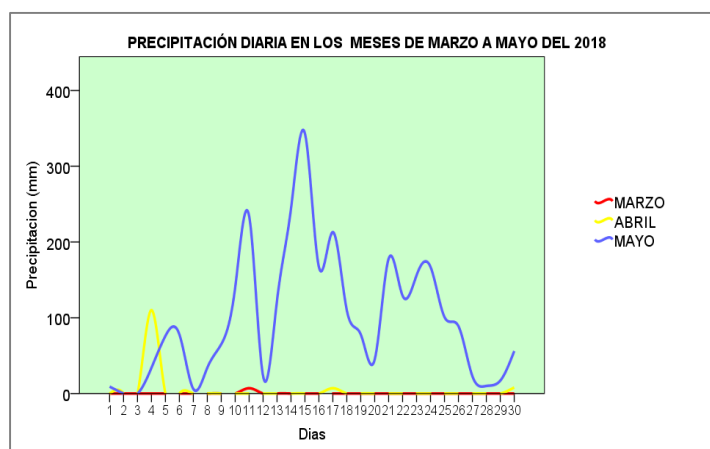


Figura 5. Precipitación promedio de los meses de monitoreo. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas. 2018

En la *Figura 5* se puede observar que en el mes de marzo se presentó tan solo un día de precipitación el día 11 con un valor de 7 mm, después su comportamiento fue de 0 mm en los días

restantes, en el mes de abril al igual que en marzo se presentó una sola precipitación el día 4 de ese mes el cual registró una magnitud de 110 mm, el comportamiento del mes de mayo inicia de menor a mayor alcanzando su punto máximo el día 15 con 345 mm (IDEAM, 2018), a partir de esta fecha los valores de precipitación tienden a decaer hasta el final del mes. Por lo que se puede evidenciar que en el periodo que se desarrolló el estudio se presentaron las dos temporalidades (Sequia y lluvia).

### **Variables independientes, dependientes y Monitoreos**

Con la información secundaria recolectada y el reconocimiento del punto de vertimiento, se inició con la toma de muestras en el mes de marzo debido a la falta de equipos y reactivos de laboratorio en los meses de enero y febrero En las *Tabla 4* y *Tabla 5* se ven las fechas escogidas para los monitoreos, estas fechas se tomaron con ayuda del director del proyecto y las predicciones climáticas (IDEAM, 2018) para no afectar el monitoreo en los dos periodos estudiados. En el periodo de sequía en los días no hábiles se escogieron días con puente festivo y semana santa los cuales acogieron población flotante aumentando el caudal en el punto de vertimiento.

**Tabla 4. Fechas de monitoreo en periodo de sequía**

<b>Día Hábil</b>	<b>Día Hábil</b>	<b>Día no Hábil</b>	<b>Día no Hábil</b>	<b>Día Hábil</b>	<b>Día no Hábil</b>
Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6
15 de marzo	22 de marzo	29 de marzo	01 de abril	05 de abril	08 de abril

*NOTA: Días de verano escogidos para realizar los muestreos de agua residual en el punto de vertimiento, vereda Balcones, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*

**Tabla 5. Fechas de monitoreo periodo de lluvia**

<b>Día Hábil</b>	<b>Día No Hábil</b>	<b>Día Hábil</b>	<b>Día No Hábil</b>	<b>Día Hábil</b>	<b>Día No Hábil</b>
Monitoreo 7	Monitoreo 8	Monitoreo 9	Monitoreo 10	Monitoreo 11	Monitoreo 12
10 de mayo	14 de mayo	17 de mayo	20 de mayo	24 de mayo	27 de mayo

*NOTA: Días de invierno escogidos para realizar los muestreos de agua residual en el punto de vertimiento, vereda Balcones, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*

La hora de inicio en cada monitoreo era a las 04:00 am, se iniciaba tomando los datos de profundidad del caudal, oxígeno disuelto directamente en el punto de vertimiento y se realizaba la

toma de una muestra en una botella de vidrio a la cual se le tomaban los parámetros de pH, conductividad y temperatura del agua. En un cono Imhoff se vertía 1000 ml de agua tomada del punto de vertimiento para conocer la concentración de sólidos sedimentables. Esto se repitió durante cada hora obteniendo finalmente un total de 24 muestras conservadas en cabás con hielo, a su vez en cada monitoreo a las 12:00 pm y 02:00 am se tomaron muestras puntuales para analizar aceites y grasas en frascos schott con su respectivo conservantes, para realizar la muestra compuesta se necesitaba conocer el porcentaje necesario de cada una de las 24 muestras tomadas anteriormente en los frascos de 1000 ml esto se realizaba por medio de una operación matemática se puede ver la formula en el *anexo 5*, esto generaba 4 frascos de 1000 ml y 4 de 500 ml los cuales eran las muestras puntuales en los picos altos y bajos. Las imágenes de los monitoreos se pueden observar en las *Figuras 6*, esto se repitió en cada uno de los 6 monitoreos de cada uno de los dos periodos estudiados.



*Figura 6. Toma de muestras en campo en el caño Lata, vereda Balcones, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018*

## **Fase II procesamiento y análisis de la información**

### **Análisis estadístico de los datos**

La variabilidad de los flujos de aguas residuales, en cantidad y en composición obliga a determinar sus características estadísticas para predecir o valorar los valores máximos, mínimos y promedios, así como su posible ocurrencia durante la operación del sistema de tratamiento (Rojas, 1999).

Después de obtener los resultados del monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se les aplicó un análisis estadístico descriptivo a cada uno de los parámetros nombrados en las fases anteriores, se utilizó el software SPSS, donde se hizo uso de medidas estadísticas de tendencia central y dispersión, entre ellas se encuentran la media aritmética ponderada, mediana y moda. Posteriormente bajo el mismo software se determinaron medidas de dispersión: varianza y desviación estándar, también se establecieron los valores máximos y mínimos para cada variable, además de construir gráficos de dispersión, también se realizaron correlaciones de pearson entre las cargas contaminantes de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST. Lo anterior se realizó con el fin de poder interpretar como se comportan cada uno de estos parámetros en el tiempo, requisito indispensable para poder plantear un sistema de tratamiento de agua residual.

### **Análisis del modelo experimental**

Caudal lluvia y día hábil

Caudal lluvia y día no hábil

Caudal verano y día hábil

Caudal verano y día no hábil.

### **Fase III. Propuesta preliminar del sistema de tratamiento de agua residual**

#### **Aspectos generales del diseño**

Para esta fase se utilizó la información recolectada y analizada en las fases anteriores, a partir de los resultados se definieron los siguientes aspectos:

#### **Definición del nivel de complejidad del sistema**

Para definir el nivel de complejidad del sistema se utilizaron los criterios expuestos en el título E del numeral A.3.1. Del Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS donde se establecen 4 niveles de complejidad: bajo, medio, medio alto y Alto. *Es necesario para definir el*

*nivel de complejidad del sistema conocer la población de la zona urbana del municipio, población proyectada al periodo de diseño y tener un estimativo de la capacidad económica de la población* (Ministerio de medio ambiente, 2003), para obtener la información anterior se hizo una cuidadosa revisión de los últimos censos poblacionales ejecutados en el municipio de Restrepo que hacen parte de la Fase I del presente estudio.

### **Propuesta para el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual para la zona suroccidental del municipio de Restrepo-Meta.**

*Teniendo el grado de contaminación del agua residual en el punto de vertimiento establecido y los aspectos generales de diseño ya calculados finalmente fue posible plantear el sistema de tratamiento de agua residual acorde a la necesidades encontradas, por ende a continuación se proponen las siguientes fases en el sistema de tratamiento y tecnologías más apropiadas en cada una de ellas anexo 3.*

El desarrollo de esta investigación se ejecutó de acuerdo al siguiente diagrama de flujo contenido en el *anexo 4*

## CAPITULO V

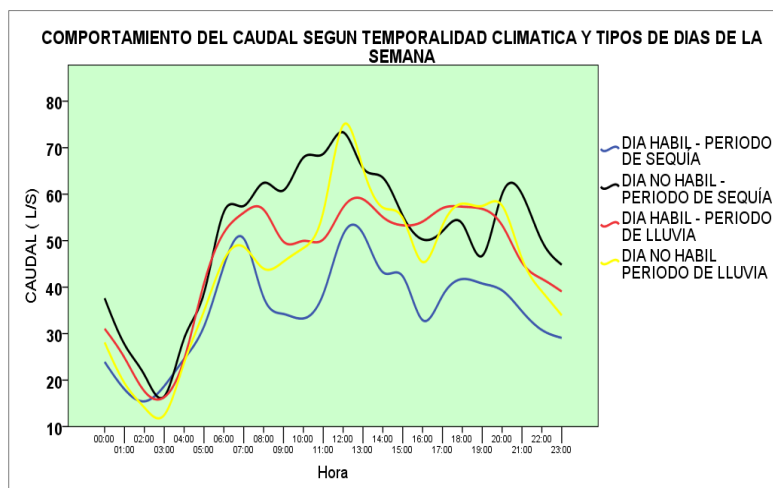
### Resultados y análisis

#### Fase I y Fase II Resultados de monitoreos y análisis estadístico de la información

##### Parámetros in situ

En las *Tablas 6 a 23* se presentan los resultados estadísticos para cada una de las variables de cada uno de los 12 monitoreos realizados. Por otro lado en las *Figuras 7 a 20* se representan valores promedio 24 horas de cada parámetro donde se ilustra el comportamiento de cada una de las relaciones establecidas entre periodos climáticos de sequía y lluvias además de los tipos de día de la semana día hábil y día no hábil.

##### Caudal



*Figura 7. Comportamiento del caudal en el punto de vertimiento por Temporalidades climáticas y tipos de días a la semana, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018*

En la *Figura 7*, se puede observar que en el día hábil periodo de sequía se presentan los valores mínimos a comparaciones de las otras 3 tendencias, registrando un valor máximo de 51,52 L/S a la 1;00 pm y un valor mínimo de 15,14 L/S a las 2;00 am, se puede interpretar que ésta situación

ocurre debido a que en este intervalo de tiempo la población aportante suele realizar con mayor frecuencia actividades típicas diarias como uso de la cocina, aseo personal, uso de sanitarios entre otras. En la curva de día no hábil (Domingo) en periodo de sequía se registra un pico alto caudal de 73,32 L/S a las 12:00 y un pico mínimo de 16,49 L/S a las 3:00, el caudal presenta un aumento del 30% con respecto al día hábil de la misma temporalidad, esto ocurre debido a que la población de Restrepo en días no hábiles aumenta, ya que la economía del municipio depende en gran parte del turismo, por lo tanto se aumenta el número de población por la población flotante y por consiguiente el consumo de agua, el crecimiento poblacional según los registros tomados por la oficina de turismo del municipio es del 5% ( Secretaria de turismo de Restrepo , 2018).

En el día hábil del periodo de lluvia se presenta un comportamiento constante con respecto al día no hábil de esta misma temporalidad. Se determinó que el caudal máximo presentado fue de 58,91 L/S, el mínimo fue 16,33 L/S. En el día no hábil en periodo de lluvias se obtuvo un valor máximo de 74,82 L/S a las 12:00 pm y un valor mínimo de 12,49 L/S a las 3:00 am, los datos presentaron una variabilidad mayor debido a las constantes lluvias que ocasionaron un aumento del caudal desde las 12:00 pm hasta las 16:00 pm.

Se analiza que hay un aumento del 13 % en los caudales del periodo de lluvia en día hábil con comparación al periodo de sequía en día hábil, esto sucede por las precipitaciones que se dieron en el periodo de lluvia. Esto pudo deberse al aumento de población flotante que se presentaron de un periodo a otro, debido que en la época seca el clima pudo haber favorecido la realización de actividades turísticas y también la permanencia de visitantes más tiempo en el municipio. Lo cual contrasta con lo ocurrido en la época de lluvia.

Asimismo, de acuerdo a los caudales reportados y la población que genera los vertimientos se puede establecer el aporte per- cápita de agua residual por habitante día.

**Tabla 6. Consumo de habitante por día**

	<b>Día hábil - Periodo de sequía</b>	<b>Día no hábil - Periodo de sequía</b>	<b>Día hábil - Periodo de lluvias</b>	<b>Día no hábil - Periodo de lluvias</b>
<b>Caudal Promedio de agua residual (L/S)</b>	35,29	50,81	45,78	44,35
<b>Consumo por habitante (L/ Hab.Día )</b>	298,91	430,41	387,76	375,67

*NOTA: Consumo de agua por habitante al día, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018*

Se realizó el cálculo de gasto de agua por habitantes en el sector suroccidental del municipio de Restrepo, se obtuvieron los promedios de los caudales por periodo y día de la semana los cuales se cruzaron con la cantidad de habitantes. Se puede observar que en el periodo de sequía día hábil la generación de agua residual per cápita fue de 298,91 (L/ Hab.Día), relación en la que hubo menos consumo lo cual se puede relacionar a la poca cantidad de personas que se encontraban en esa fecha en el municipio. A diferencia del dato de promedio de día no hábil en periodo de sequía el cual registró mayor valor entre los días estudiados, 430,41 (L/ Hab.Día), influenciado por la población flotante que se presentaba en el municipio en puentes festivos y semana santa, de manera que la cantidad de población se incrementa, pero no se cuenta con el número real de dicha población para poder desarrollar un cálculo más confiable de la producción per- cápita.

En el periodo de lluvia el día hábil obtuvo un valor mayor de consumo de agua por habitante en esta temporalidad con un dato de 387,76 (L/ Hab.Día), esto relacionado con la cantidad de precipitación que se presentó en esos días. En el día no hábil se obtuvo un valor de 375,67 (L/ Hab.Día), la población flotante en este periodo disminuyó debido a la presencia de precipitación y la poca cantidad de puentes festivos en los que se realizaron los monitoreos.

El gasto per cápita de agua en el municipio de Restrepo en la zona suroccidental es mayor con respecto a la media nacional de 140 (L/ Hab.Día) (Ministerio De Vivienda, 2017) según el ras 2017 para ciudades con altura menor de 1000 m (Ministerio De Vivienda, 2017), en el día de menor gasto per cápita de agua existe una diferencia del 53% con relación a la media nacional y en el día de mayor gasto per cápita de agua se obtuvo una diferencia del 67% con la media nacional. Esto ocurre por la distribución del sistema de alcantarillado (Viva, 2015) al no tener

división con la aguas lluvias estas llegan mezcladas con las aguas utilizadas por la población, otro factor que aumenta esto valores con la media nacional es la presencia de agua en los suelos o agua subterránea esta se puede infiltrar por las tuberías debido a la profundidad en la que se encuentran ubicados los tubos más cercanos al caño lata como también a conexiones erradas.

Tabla 7. *Resultados estadísticos de tendencia central, Caudal L/S*

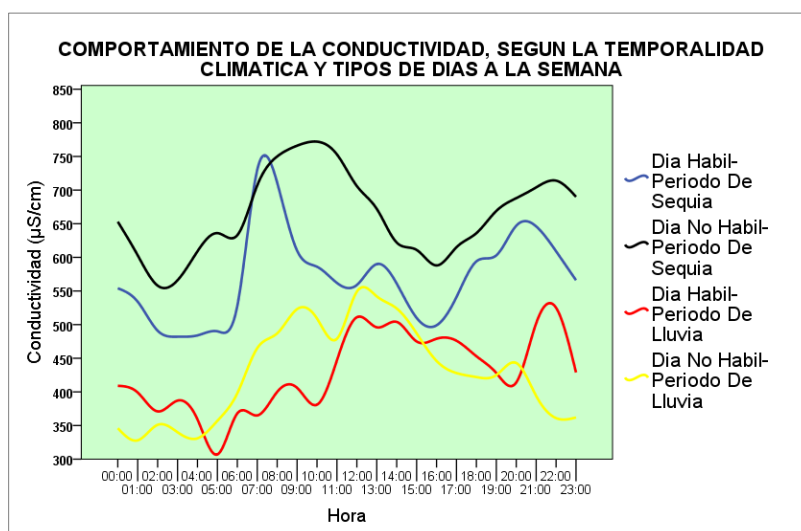
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
<b>MEDIA</b>	23,9	39,2	54,2	47,5	42,7	50,7	51,5	48,8	44,1	39,2	41,7	45,1
<b>MEDIANA</b>	23,8	38,4	55,7	48,0	45,1	55,5	52,8	50,4	46,8	38,4	43,2	49,5
<b>MODA</b>	15,6	38,4	38,4	48,0	48,0	62,4	50,4	67,2	46,1	38,4	43,2	14,4
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	6,5	14,8	19,9	15,7	10,7	19,0	16,7	21,6	10,6	14,8	19,6	14,5
<b>VARIANZA</b>	42,1	219,8	394,1	245,5	114,0	359,3	277,9	467,4	111,6	219,8	382,5	208,8
<b>MÍNIMO</b>	15,6	10,6	10,1	20,7	20,2	7,2	14,4	10,1	20,2	10,6	6,2	14,4
<b>MÁXIMO</b>	36,1	72,0	86,4	81,6	64,8	80,2	82,6	86,4	60,0	72,0	76,8	66,0

*NOTA: Valores estadísticos de tendencia central de caudal para cada uno de los 12 monitoreos, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018*

Los resultados estadísticos para el comportamiento de los datos de caudal en el estudio permiten indicar, que en los primeros monitoreos la desviación estándar tuvo un valor promedio de 14,4, el cual nos indica que el caudal se encontraron datos con una oscilación alta en estos datos se obtuvieron valores máximo de 86,44 L/S en el monitoreo 3 y un caudal mínimo de 10,57 L/S en el monitoreo 2, los datos estuvieron entre estos límites, la varianza promedio fue de 229 esta indica que los valores tuvieron grandes diferencias como se explicó anteriormente en la desviación, la media y la mediana obtuvieron datos parecidos entre ellos y estuvieron lejos de los datos altos de los monitoreos. Esto debido a la presencia de datos muy bajos lo cual alteraban el promedio de los datos. El valor promedio de la varianza fue 278, aumentando un 20% respecto a lo anterior periodo descrito. Esto sucede por la fluctuación en los datos, en la desviación estándar, de la misma manera la varianza aumentó un 4%, donde se registró un dato menor de 6,24 L/S en el monitoreo 11 y un dato mayor de 86,44 L/S. la media y la mediana arrojó el mismo comportamiento que en el periodo de sequía.

## Conductividad

A continuación en la *Figura 8* se observa el comportamiento de la conductividad en las temporalidades climáticas estudiadas y días (día hábil y día no hábil).



*Figura 8. Comportamiento de los valores promedios de la conductividad en el punto de Vertimiento, caño Lata, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018*

En el periodo de sequía se evidencia que los valores máximos para día hábil fueron de 730 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a las 7:00 am esto generado posiblemente por la cantidad de sólidos disueltos que se encuentran en el agua, la cual es generada por los habitantes que preparan sus alimentos y las fábricas de pan de arroz (Viva, 2015), las cuales utilizan gran cantidad de sal en los procesos de producción. Después en este día hábil, el comportamiento de la conductividad declino y osciló cercano a los 482 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) que fue su valor mínimo a las 3:00 am hasta las 647 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). En el día no hábil se obtuvo un pico alto de 772 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a las 10:00 am y un pico bajo de 558 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 02:00 am, en donde se evidencia el aumento porcentual de las magnitudes. Este fenómeno ocurrió ya que los días de muestreos en días no hábiles se realizaron en puentes festivos y semana santa, lo cual ocasionó mayor consumo de agua por la cantidad de habitantes que encontraban desarrollando turismo en el municipio de Restrepo ( Secretaria de turismo de Restrepo , 2018) y la poca presencia de lluvias en estos días. En el periodo de lluvia se puede observar la disminución de los valores

de conductividad, en el día hábil el pico alto fue de 525 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 10:00 pm pero su tendencia osciló entre los 307 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) pico bajo y 500 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). En el día no hábil aumentó un poco en el pico alto 549 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 12:00 pm y su pico bajo 328 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 01:00 am. Se aprecia en la *Figura 8* el cambio que se presenta por cada temporalidad, debido a la cantidad de precipitación que ocurrieron en los días de monitoreo de época de lluvia *Figura 6*. Esto se debe a que las aguas lluvias entran directamente al sistema de alcantarillados (Viva, 2015) y ayudan a diluir las concentraciones de sólidos disueltos (Peña, 2008), generando que este parámetro presente menores valores que en la época seca.

**Tabla 8. Resultados estadísticos de tendencia central, conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )**

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
<b>MEDIA</b>	600	576,1	535,3	663,8	660,7	665,5	409,3	516	361	388,2	407,7	491,3
<b>MEDIANA</b>	601	562,5	525	659,5	667,5	671	418	538,5	330,5	376,5	401,5	485
<b>MODA</b>	487	556	342	632	510	705	228	465	234	230	389	496
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	73,9	72,08	107,5	62,06	82,15	60,9	89,25	91,98	113,6	112,7	95,52	48,27
<b>VARIANZA</b>	5464	5196	11560	3851	6749	3709	7965	8459	12894	12703	9123	2330
<b>MÍNIMO</b>	487	480	342	543	510	539	228	324	183	230	259	418
<b>MÁXIMO</b>	755	862	790	793	788	766	597	654	545	673	560	593

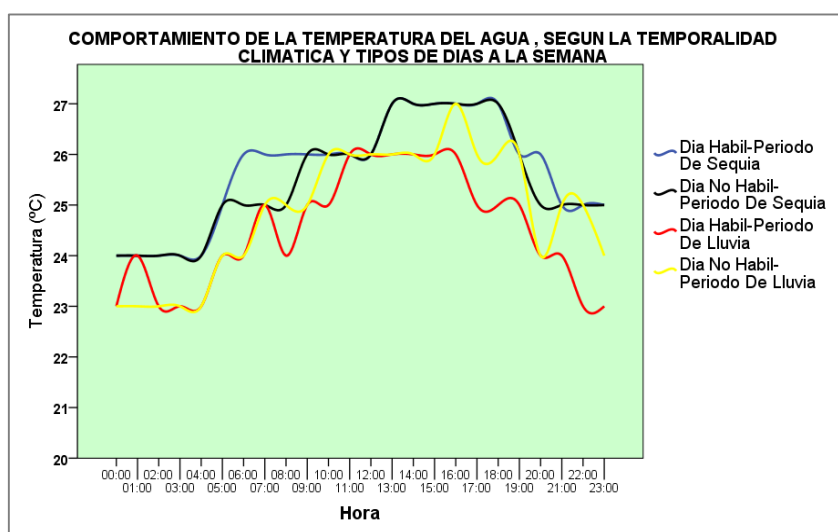
*NOTA: Valores estadísticos de tendencia central de conductividad para cada uno de los 12 monitoreos, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*

En el vertimiento de agua residual del caño lata, la conductividad en la temporalidad seca presenta un valor máximo de 862  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el monitoreo 2, esto tiene relación con la cantidad de personas viven en esta parte de la ciudad y el drenaje lleva conectado algunas empresas productoras de pan de arroz, generando mayor cantidad de sólidos disueltos presentes en el agua. En esta misma temporalidad se presentan valores mínimos que van desde los 342  $\mu\text{S}/\text{cm}$  hasta los 543  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; la variación que presenta la desviación estándar con relación a la mediana es alta debido a los datos bajos que se presentaron en la temporalidad húmeda los cuales varían a los de la temporalidad seca esto más asociado a las precipitaciones que aumentaron de una época a otra; en la varianza llegando a encontrar valores altos como 12894,26 el cual se presentó en el monitoreo 9. La conductividad máxima en la temporalidad húmeda fue 673  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la monitoreo, en esta temporalidad los valores de conductividad fueron más bajos que la anterior debido a la

precipitación que se presentó en los días de monitoreo, el valor mínimo presentado fue 183  $\mu\text{s}/\text{cm}$  en el monitoreo 9. En esta temporalidad se presentaron precipitaciones en los días de monitoreo ocasionando que los valores medios mostraran un comportamiento bajo a la temporalidad de sequía.

## Temperatura

A continuación en la *Figura 9* se observa el comportamiento de la temperatura en las temporalidades climáticas estudiadas y tipos de días (día hábil y día no hábil).



*Figura 9 . Comportamiento de los valores promedios de la temperatura en el punto de vertimiento, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*

La temperatura según el periodo climático no representa gran cambio, la temperatura del agua residual en el punto de vertimiento se mantiene en el rango de 23 °C a 27 °C en las dos temporalidades pero se puede observar que las temperaturas mayores se presentaron en el periodo de sequía la cual obtuvo valores de 27,8 °C a las 13:00 pm tanto en día hábil como en día no hábil esto ayuda a la degradación de los microorganismos y limpieza del agua residual vertida ya que estos procesos son afectados negativamente cuando la temperatura es inferior a 20 °C en el agua residual (Duran, 2009). Las temperaturas mínimas que se presentaron tanto en día hábil como día no hábil fue de 24 °C a las 04:00 am. La variación de los datos en el periodo de lluvia se puede evidenciar mejor debido a que se presentaban fuertes precipitaciones en horas de la madrugada y

la mañana, pero después de estas la temperatura aumentaba por las fuertes radiaciones, se presentaron más lluvias en los días hábiles, estas se prolongaban por horas ocasionando los datos mínimos, el pico alto en los días hábiles es de 26 °C a las 10:00 am después la temperatura del agua se mantuvo en ese mismo rango y después se evidencia una disminución la cual se prolonga hasta horas de la madrugada y obteniendo los picos bajos 23°C a las 22:00 pm y 03:00 am. En los días no hábiles se presentaron lluvias de poca duración y se presentó algunos momentos de radiación solar lo cual aumento la temperatura del agua a 27,8 °C a las 16:00 pm en su pico alto y tubo un pico bajo de 23,4 °C.

**Tabla 9. Resultados estadísticos de tendencia central, Temperatura °C**

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
<b>MEDIA</b>	25,8	25,9	25,4	25,5	25,6	25,7	24,53	24,11	25,8	25,9	23,6	24,76
<b>MEDIANA</b>	25,8	26	25,2	25,9	25,6	25,5	24,95	24,4	25,8	26	23,35	24,45
<b>MODA</b>	26,5	27,2	25,2	26,1	25,5	27	24,30	24,10	27,1	27,2	23,00	24,00
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	0,69	1,43	1,29	0,84	0,93	0,98	1,3	1,19	1,07	1,43	1,56	1,45
<b>VARIANZA</b>	0,47	2,04	1,65	0,7	0,87	0,97	1,69	1,41	1,14	2,04	2,43	2,11
<b>MÍNIMO</b>	24,6	23,5	23	23,7	23,6	24,1	22	21,5	23,5	23,5	21	22,3
<b>MÁXIMO</b>	26,6	27,8	27,8	26,7	27,5	27,2	26,2	25,6	27,3	27,8	26,3	26,8

*NOTA: Valores estadísticos de tendencia central de temperatura para cada uno de los 12 monitoreos, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*

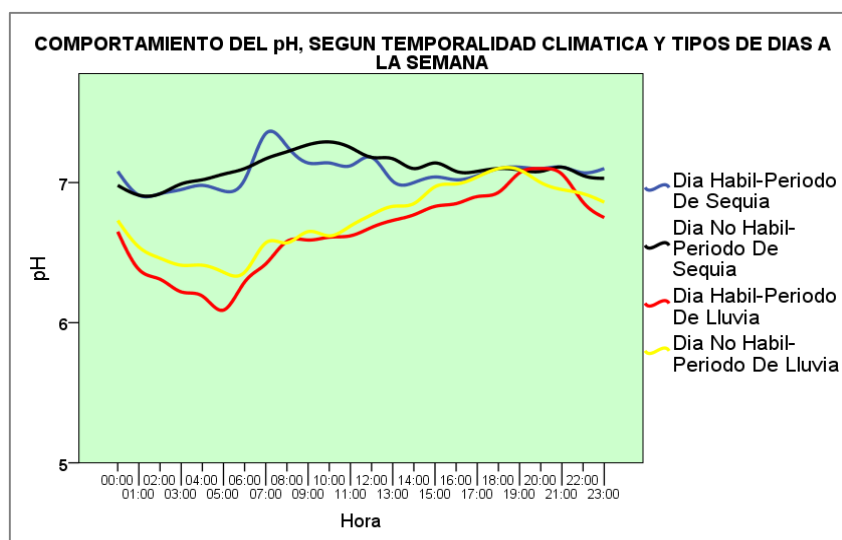
En el análisis estadístico realizado arrojo que; en el periodo de sequía los monitoreos 2 y 3 presentaron la temperatura más alta de 27,80 °C, la temperatura mínima fue de 23 °C en el monitoreo 3, los datos de la desviación estándar no varían en gran magnitud, debido a que los datos de las temperaturas no disminuyeron representativamente. Igualmente la varianza obtuvo datos bajos que oscilan entre 0,47 a 2,04. La mediana y media oscilaron entre los 24°C a 25 °C lo cual se puede llegar a concluir que los valores en esta temporalidad no representaron cambios drásticos.

En la periodo lluvia se evidencian que el monitoreo 10 obtuvo una temperatura del agua de 27,80 °C como su pico alto y su pico bajo fue de 21 °C en el monitoreo 11, esto ocurrió por la precipitación que se presentó en estos días y las cuales se prolongaron por unas horas pero en ninguna de las dos temporalidades se encontraron temperaturas menores a 20 °C lo cual retrasa la

biodegradación de los microorganismos (Duran, 2009), el comportamiento de la varianza fue similar a la temporalidad seca pero aumento a 2,43 ya que en esta se encontraron temperaturas de 27 °C a 21 °C , los valores de la mediana y media están en el mismo rango de 23 °C y 25 °C.

## PH

A continuación en la *Figura 10*. Se observa el comportamiento del pH en las temporalidades climáticas estudiadas y tipos día (día hábil y día no hábil).



*Figura 10. Comportamiento de los valores promedios del pH en el punto de vertimiento, caño Lata, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*

En la *Figura 10*. Se puede evidenciar que el valor de pH oscila entre 6 unidades y 7,4 unidades se puede decir que el comportamiento en el vertimiento está dentro de los parámetros máximos permisibles que se encuentran en la resolución 0631 2015 en un rango de 6 a 9 unidades (Ministerio de Medio Ambiente, 2015). En los días hábiles del periodo sequía el pH obtuvo un pico alto de 7,35 unidades a las 07:00 am, llega a este punto alto y después disminuye hasta llegar a un pico bajo de 6,91 unidades 01:00 am, en los días hábiles periodo de sequía la concentración del pH se obtuvo un pico alto de 7,22 unidades a las 10:00 am y un pico bajo de 6,9 unidades a las 21:00 pm. Esta condición en el periodo de lluvia se puede presentar debido a que el agua lluvia lleva un pH levemente ácido lo cual genera un cambio en los valores de concentración de pH (Mayra Alejandra Rugeles Ferreira, Nancy Milena Zapata Cristancho., 2016), esto se pudo observar en el

comportamiento que se obtuvo del pH en el periodo de lluvia, en el día hábil se presenciaron lluvias en la mañana y tarde esto permitió la disminución del pH el cual tuvo un pico bajo de 6,09 unidades a las 05:00 esto es ocasionado por la precipitación que recoge CO<sub>2</sub> que al entrar en contacto con el agua genera H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Mayra Alejandra Rugeles Ferreira, Nancy Milena Zapata Cristancho., 2016) generando una disminución del pH en este periodo con relación a la del periodo de sequía. Su pico alto fue de 7,1 unidades a las 20:00 pm esto sucede ya que en estas horas no se presentaron lluvias en el municipio, en el día no hábil los valores fueron un poco más altos que en el día hábil debido a la disminución de precipitaciones en su pico alto fue de 7,1 unidades a las 19:00 pm y su pico bajo 6,4 unidades a las 06:00 am. Se puede analizar que la concentración en periodo de sequía fue mayor en los momentos que las personas realizaban sus labores cotidianas y esta concentración tenía una ligera decadencia con relación al periodo de lluvia se nota que la precipitación genera un impacto en el pH (Peña, 2008) ya que en las horas de los días hábiles la comparación con los de la época de sequía los valores disminuían 18 %.

*Tabla 10 . Resultados estadísticos de tendencia central, pH*

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
<b>MEDIA</b>	7,2	7,01	7,07	7,1	7,16	7,03	6,69	6,63	6,62	6,64	6,76	6,82
<b>MEDIANA</b>	7,16	7	7,06	7,09	7,15	7,01	6,75	6,6	6,74	6,58	6,83	6,9
<b>MODA</b>	7,02	6,99	7,08	6,93	7,05	6,9	6,67	6,2	6,34	6,45	6,32	7
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	0,16	0,08	0,16	0,15	0,2	0,11	0,3	0,3	0,35	0,3	0,27	0,18
<b>VARIANZA</b>	0,03	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,09	0,09	0,12	0,09	0,07	0,03
<b>MÍNIMO</b>	7,02	6,9	6,83	6,89	6,72	6,89	6,04	6,13	6,1	6,2	6,32	6,5
<b>MÁXIMO</b>	7,59	7,31	7,52	7,43	7,44	7,3	7,14	7,2	7,1	7,2	7,1	7,1

*NOTA: Valores estadísticos de tendencia central de PH para cada uno de los 12 monitoreos, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*

En el periodo de sequía se registraron un pH máximo de 7,59 unidades en el monitoreo 1 y un pH mínimo de 6,72 unidades en monitoreo 5; la desviación estándar refleja que la magnitud de los datos es en promedio 0,14 para los 6 días de monitoreo lo que muestra que los valores no tienen mucha oscilación en este periodo. En la varianza se obtienen valores mínimos indicando que los datos de la media no tienen un gran rango de oscilación, la mediana y la moda presentan valores de rangos parecidos. En el periodo de lluvia se presentó un pH máximo de 7,3 unidades, un

mínimo de 6,04 unidades, la varianza y desviación estándar presenta valores mínimos y esto se debe a la oscilación que no tuvo valores diferentes, la mediana y media obtuvieron valores iguales a los valores de los monitoreos esto se presentó por la mínima oscilación de los datos.

## Sólidos Sedimentables

La concentración de sólidos sedimentables fue determinada mediante el método volumétrico, haciendo uso del cono Imhoff, en la siguiente figura se ilustran los resultados de los valores promedio en 24 horas.

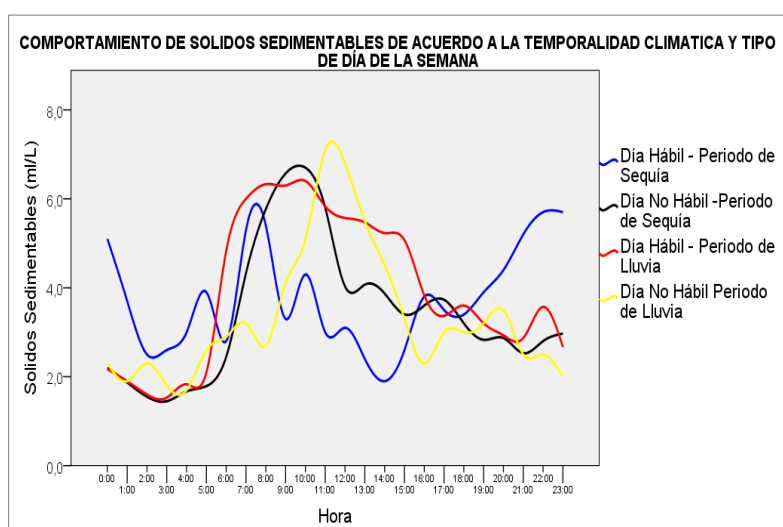


Figura 11. Comportamiento de los valores promedio de los sólidos sedimentables en el Punto de vertimiento, caño Lata, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.

De acuerdo a los datos que se presentan en la *Figura 11* se logró establecer para sólidos sedimentables un valor promedio máximo de 7,1 ml/L aproximadamente a las 12 del medio día dentro de los días no hábiles del periodo de lluvias, el valor mínimo promedio fue de 1,9 en horas de la madrugada y se registró durante los días no hábiles del periodo de sequía. La cantidad de sólidos sedimentables presenta un aumento en función de las horas pico en cada una de las 4 relaciones de periodos climáticos y tipo de días, alcanzando un incremento considerable a partir de las 6:00 am hasta aproximadamente la 1:00 pm donde empiezan a disminuir. Tal situación ocurre debido a que en este intervalo de tiempo la población aportante realiza con mayor frecuencia actividades típicas diarias como uso de la cocina, aseo personal, uso de sanitarios entre otras donde

llegan a mezclarse algunos sólidos con el agua que es transportada por el alcantarillado hasta el punto de descole. Cabe resaltar también que hay un aumento significativo en las concentraciones de sólidos sedimentables de 6am a 2 pm durante el periodo de lluvias con respecto al de sequía aportando aproximadamente un 20% más de sólidos sedimentables durante estas horas, lo anterior ocurre debido a que el caudal de agua lluvia genera escorrentía superficial y por ende el arrastre de partículas al sistema de alcantarillado.

**Tabla 11. Resultados estadísticos de tendencia central, sólidos sedimentables**

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
<b>MEDIA</b>	3,77	3,43	4,07	3,61	3,63	3,02	4,2	3,54	4,04	3,75	2,73	3,51
<b>MEDIANA</b>	3,6	3,2	3,65	3,3	3,5	2,45	4	3,55	3	2,55	2,57	3,1
<b>MODA</b>	2,6	4	2	1,4	3,5	1,8	4	2,5	2	1,3	2,2	2,6
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	1,14	1,36	1,99	2,05	1,29	1,67	2,44	0,92	2,8	3,11	0,79	1,65
<b>VARIANZA</b>	1,29	1,85	3,97	4,22	1,67	2,78	5,96	0,84	7,82	9,7	0,62	2,72
<b>MÍNIMO</b>	1,9	1,3	0,7	0,9	1,86	1,1	0,8	2,2	1	1,2	1,72	1,6
<b>MÁXIMO</b>	5,7	7	7,4	9,3	7,1	7,6	8,6	6	11,2	12	4,8	7,3

*NOTA: Valores estadísticos de tendencia central de sólidos sedimentables para cada uno de los 12 monitoreos, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*

El parámetro de sólidos sedimentables durante los 12 monitoreos registró un valor máximo de 12 mL/L exactamente en el monitoreo número 10 que corresponde a día no hábil del periodo de lluvias y un valor mínimo de 0,7 mL/L presente en el monitoreo 3 de día no hábil – periodo de sequía. El comportamiento de la media oscila entre 2,73 y 4,2; la desviación estándar permite interpretar que la separación entre los datos maneja un valor promedio de 1,77. Para los datos de varianza se maneja un rango normal registrándose una mayor diferencia respecto a la media en el monitoreo 10 del día no hábil del periodo de lluvias registrando un valor máximo de 9,7.

## Parámetros de laboratorio

### DBO<sup>5</sup> (Demanda Bioquímica de Oxígeno)

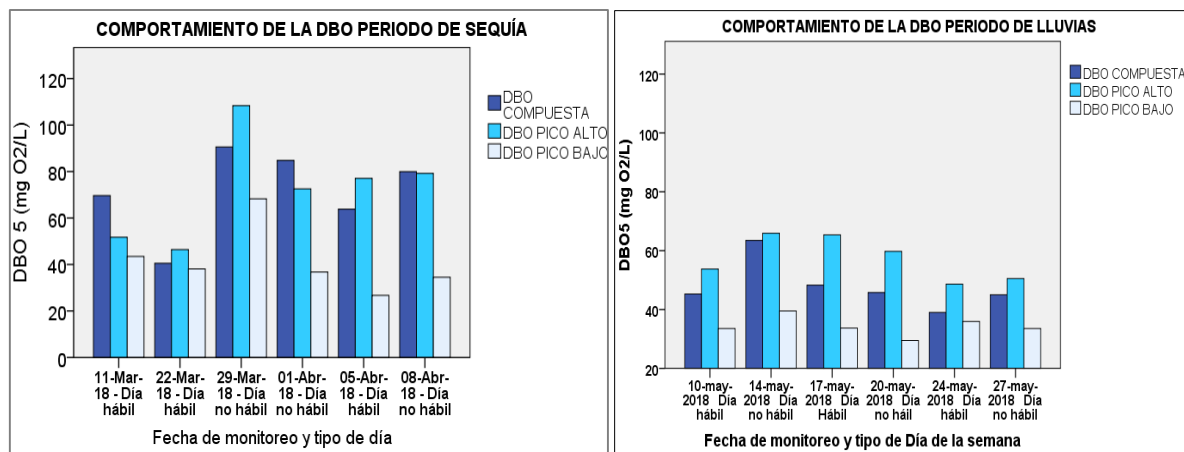


Figura 12. Comportamiento DBO<sub>5</sub> en periodo de sequía y lluvias, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.

Dentro del periodo de sequía la muestra compuesta presenta un valor máximo de 90,60 mg O<sub>2</sub>/L correspondiente al 29 de marzo día no hábil, el valor mínimo de DBO<sub>5</sub> en la compuesta fue de 40,5 mg O<sub>2</sub>/L de la muestra tomada el 22 de marzo día hábil. Por otro lado las concentraciones de DBO<sub>5</sub> durante los picos máximos de caudal registran como valor más alto 108,34 mg O<sub>2</sub>/L correspondiente al 29 de marzo día no hábil, el valor mínimo fue de 46,43 mg O<sub>2</sub>/L registrado el 22 de marzo día no hábil los valores de DBO<sub>5</sub> durante los pico mínimos de caudal oscilan en un rango de 26,73 a 68,27 mg O<sub>2</sub>/L registrados en los días 29 de marzo día no hábil y 5 de abril día hábil respectivamente y se mantienen siempre por debajo de los valores de compuesta y pico máximo.

En el periodo de lluvias la muestra compuesta presenta un valor máximo de 63,46 mg O<sub>2</sub>/L correspondiente al 14 de mayo día no hábil, el valor mínimo de DBO<sub>5</sub> en la compuesta fue de 39,02 mg O<sub>2</sub>/L de la muestra tomada el 24 de mayo día hábil. Por otro lado las concentraciones de DBO<sub>5</sub> durante los picos máximos de caudal registran como valor más alto 65,92 mg O<sub>2</sub>/L correspondiente al 14 de mayo día no hábil, el valor mínimo fue de 48,60 mg O<sub>2</sub>/L registrado el 24 de mayo día hábil. Los valores de DBO<sub>5</sub> durante los pico mínimos de caudal oscilan en un

rango de 29,47 a 39,49 mg O<sub>2</sub>/L registrados en los días 20 de mayo día no hábil y 14 de mayo día no hábil respectivamente y se mantienen siempre por debajo de los valores de compuesta y pico máximo al igual que en el periodo de sequía.

Al comparar los resultados de las muestras compuestas, pico alto y pico bajo de cada temporalidad se puede apreciar que en el periodo de sequía se registraron valores más altos de DBO<sub>5</sub> en comparación con el periodo de lluvias habiendo un 24,8% más de concentración en sequía que en lluvia lo cual puede asociarse a procesos de dilución en las concentraciones de DBO<sub>5</sub> causada por la mezcla de agua lluvia que llega al sistema de alcantarillado de la misma forma con respecto al tipo de día de la semana la concentración de DBO<sub>5</sub> es 11,32% menor en el periodo de lluvias que en sequía durante los días hábiles; en los días no hábiles se presentó una disminución más marcada en las dos temporalidades bajando un 38,4 % la concentración en lluvia con respecto al periodo de sequía lo cual puede asociarse a la presencia de población flotante durante fines de semana o festividades que se encuentran dentro esta temporalidad donde el buen tiempo meteorológico favorece la presencia de visitantes, cabe recordar que se tomaron dos muestreos durante semana santa lo cual pudo haber generado tal variación en las concentraciones de DBO<sub>5</sub>.

**Tabla 12. Resultados estadísticos de tendencia central, DBO<sub>5</sub>**

	<i>SEQUÍA</i>			<i>LLUVIAS</i>		
	Compuesta	Pico alto	Pico bajo	Compuesta	Pico alto	Pico bajo
<b>MEDIA</b>	71,5	72,6	41,3	47,8	57,3	34,3
<b>MEDIANA</b>	74,8	74,8	37,4	45,5	56,7	33,6
<b>MODA</b>	40,5	46,4	26,7	39,0	48,6	29,5
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	18,1	22,2	14,3	8,3	7,5	3,3
<b>VARIANZA</b>	327,2	492,1	204,3	68,2	56,0	10,9
<b>MÍNIMO</b>	40,5	46,4	26,7	39,0	48,6	29,5
<b>MÁXIMO</b>	90,6	108,3	68,3	63,5	65,9	39,5

*NOTA: Valores estadísticos de tendencia central de DBO<sub>5</sub> para cada uno de los 12 monitoreos, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*

## DQO (Demanda Química De Oxígeno)

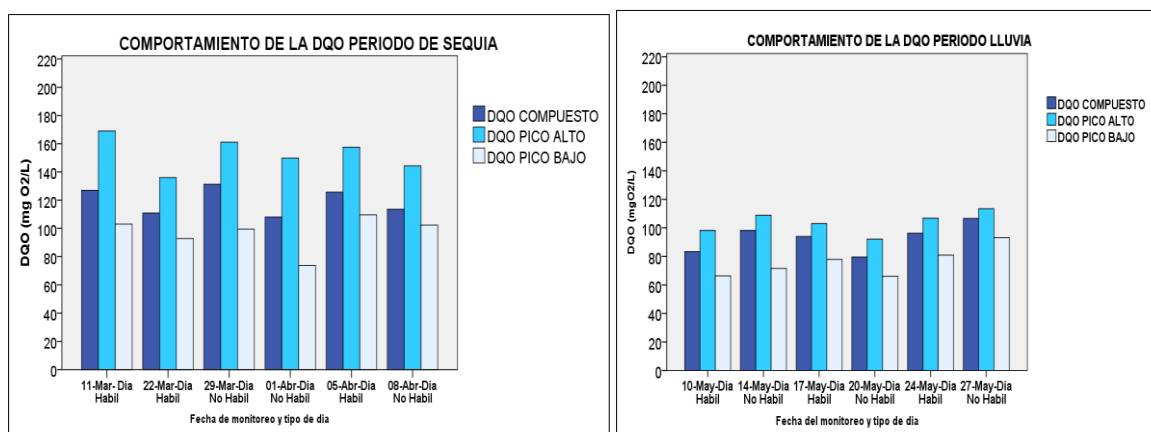


Figura 13. Comportamiento DQO en periodo sequía y lluvias, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.

En la *Figura 13* se muestra el comportamiento en los dos periodos estudiados. La DQO compuesta registró un valor máximo de 131,26 mg O<sub>2</sub>/L presente en el monitoreo del 29 de marzo del 2018 Día hábil y un valor mínimo de 108,04 en el monitoreo del 01 de abril del 2018. A su vez se observa en la gráfica de periodo de sequía un pico alto y pico bajo los cuales se tomaron en cada uno de los monitoreos realizados, se presentó un pico alto de 169 mg O<sub>2</sub>/L el día 11 de marzo del 2018 día hábil y un pico bajo de 73,79 mg O<sub>2</sub>/L el 01 de abril del 2018 día no hábil, se presentó una disminución del 55,5% del parámetro debido a que las muestras se toman en las horas de caudal máximo y caudal mínimo, por consiguiente la muestra del caudal alto presentaron mayor concentración de este parámetro, esto es ocasionado por el consumo de agua el cual aumenta por las diferentes actividades que realiza la población del municipio en los picos altos de caudal. La relación de los datos obtenidos presenta mayor concentración en las muestras tomadas en los picos altos con respecto a las muestras compuestas, las muestras en los picos bajos presento la menor concentración del parámetro.

En los días hábiles la concentración de DQO fue mayor que en los días no hábiles esto sucede por la cantidad de caudal que se aumentó en los días no hábiles lo cual ayuda a la dilución de este parámetro fisicoquímico. En el periodo de lluvia el comportamiento del parámetro tuvo una reducción del 25% con respecto a los datos presentados en el periodo de sequía. En la muestras compuesta se obtuvo un valor máximo de 106,63 mg O<sub>2</sub>/L el 27 de mayo del 2018 en día no hábil

y valor mínimo de 79,55 mgO<sub>2</sub>/L. en las muestras de los picos altos se presentó un valor de 113,45 mg O<sub>2</sub>/L el día 27 de mayo del 2018 en día no hábil y en las muestras de picos bajos de 66,10 mg O<sub>2</sub>/L el 20 de mayo del 2018 día no hábil. Los datos en los días hábiles fueron menores a los datos obtenidos en día no hábiles esto tiene efecto a la cantidad de precipitación en los días hábiles, los cuales se prolongaban por largas horas, llegaron al sistema de alcantarillado y en contacto con el agua residual ocasionando la degradación de la DQO. Se puede analizar que en los picos alto de los dos periodos estudiados existe una diferencia del 34% siendo en los periodos secos la concentración de DQO más alta, esto varía por efecto de las precipitaciones las cuales cuenta con propiedades fisicoquímicas que al llegar al agua residual sirve como agente diluyente de este parámetro, tiene como efecto la disminución de carga contaminante.

**Tabla 13. Resultados estadísticos de tendencia central, DQO**

	Periodo sequia			Periodo lluvia		
	Pico alto	Compuesta	Pico bajo	Pico alto	Compuesta	Pico bajo
<b>MEDIA</b>	152,95	119,40	96,83	103,75	92,99	75,96
<b>MEDIANA</b>	153,67	119,61	100,91	104,92	95,12	74,67
<b>MODA</b>	135,98	108,04	73,79	92,15	79,55	66,10
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	11,97	9,73	12,53	7,68	9,98	10,31
<b>VARIANZA</b>	143,246	94,640	157,084	59,006	99,640	106,278
<b>MÍNIMO</b>	135,98	108,04	73,79	92,15	79,55	66,10
<b>MÁXIMO</b>	169,00	131,26	109,58	113,45	106,63	93,11

*NOTA: Valores estadísticos de tendencia central de DQO para cada uno de los 12 monitoreos, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*

El comportamiento de los datos tomados en los dos periodos estudiados varía en cada temporalidad, se puede observar que la desviación estándar en el periodo de sequía fue de mayor magnitud, esto ocurre por el rango que se obtuvieron los datos y solo en las muestras compuesta la desviación estándar fue mayor en el periodo de lluvia. La varianza tuvo un comportamiento parecido a la desviación estándar en las muestras de picos altos y picos bajos fue mayor en periodo de sequía pero en las muestras compuestas fue mayor en el periodo de lluvia esto sucede por la oscilación que tuvieron los datos.

## Sólidos Suspendedos Totales

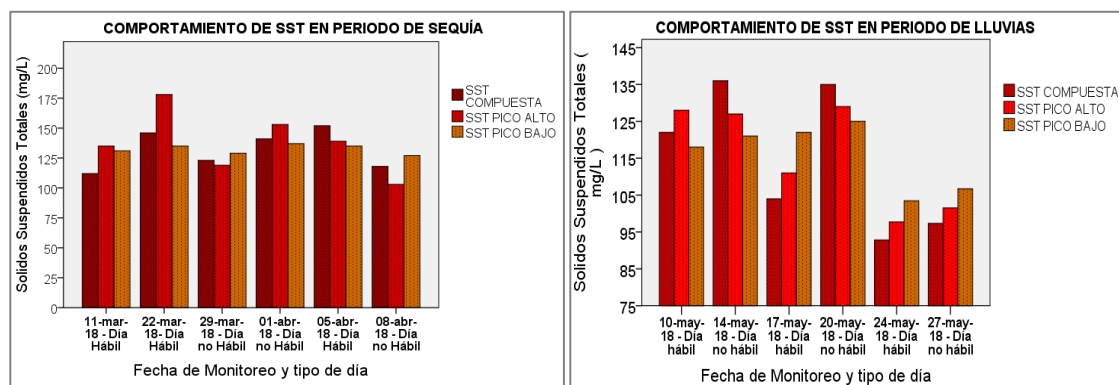


Figura 14. Comportamiento SST en periodo sequía y lluvia, pico máximo y mínimo de Caudal, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.

Tabla 14. Resultados estadísticos de tendencia central, SST

	SST COMPUESTA	SST PICO ALTO	SST PICO BAJO
<b>MEDIA</b>	123,2633	126,775	124,1825
<b>MEDIANA</b>	122,5	127,5	126
<b>MODA</b>	92,83 <sup>a</sup>	97,75 <sup>a</sup>	135
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	19,26689	23,13725	10,71848
<b>VARIANZA</b>	371,213	535,333	114,886
<b>MÍNIMO</b>	92,83	97,75	103,46
<b>MÁXIMO</b>	152	178	137
<b>SUMA</b>	1479,16	1521,3	1490,19

NOTA: Valores estadísticos de tendencia central de SST, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.

El valor máximo registrado de SST para la muestra compuesta fue de 152 mg /L correspondiente al 5to monitoreo de sequía el 6 de abril, la concentración mínima fue de 92,83 mg/L que corresponde al 5to monitoreo del periodo de lluvias el día 24 de mayo. Por otro lado cuando el caudal llego a su punto más alto el valor máximo de SST registrado fue de 178 mg/L correspondiente al 2do monitoreo del periodo de sequía el cual se llevó a cabo el día 22 de marzo siendo este día hábil, este valor se explica teniendo en cuenta que ese día el pico máximo de caudal se registró a las 12 del mediodía, hora donde se llevan a cabo actividades típicas de preparación de alimentos donde es más probable la presencia de sólidos en el agua que llega al sistema de

recolección. Las concentraciones de SST durante los picos mínimos de caudal se mantuvieron en un rango de 103,5 a 137 mg/L sin presentar un cambio significativo. Las concentraciones de SST de muestra compuesta, pico máximo y pico mínimo de caudal en promedio presentaron una variación importante siendo 10% mayor en periodo de sequía con respecto al de lluvias donde es posible que las precipitaciones frecuentes puedan favorecer a una mayor dispersión de los sólidos suspendidos por ende su concentración tiende a bajar.

## Grasas y aceites

Para este parámetro se llevaron al laboratorio 2 muestras de cada, las muestras se dividían en pico alto y pico bajo se utilizaron para ver el comportamiento de las concentraciones de grasas y aceites en estas condiciones.

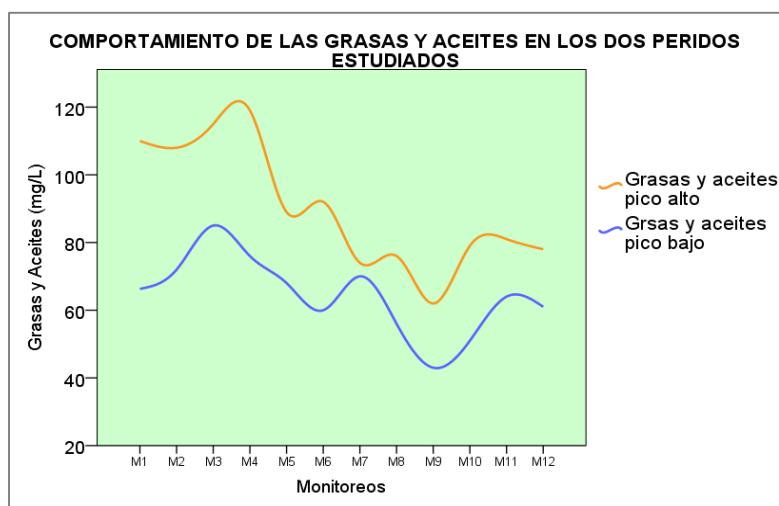


Figura 15. Comportamiento Grasas y Aceites en periodo de sequía y lluvias, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.

El comportamiento de las grasas y aceites en la *Figura 15* se tomaron dos datos en un monitoreo uno en pico alto y otro en pico bajo, en la curva de pico alto se tomaron los dos periodos estudiados y el comportamiento varía de uno a otro, en esta curva se arrojó un valor máximo de 119 mg/L en el monitoreo 4 en el periodo de sequía y un valor mínimo de 62 mg/L en el monitoreo 9, los datos

en los picos altos varían por el periodo tomado de la muestras, ya que en sequía se arrojaron los valores con mayor concentración y en el periodo de lluvia los valores son de menor concentración. Esto es debido a la cantidad de precipitación que llega al sistema de alcantarillado bajando los valores de carga contaminante. En los picos bajos se observa que la diferencia en cada monitoreo es de un 29 % en los picos altos y un 31% en los picos bajos , se puede mirar que los datos de periodo de sequía son de mayor concentración a los de periodo de lluvia, esto sucede por la cantidad de personas que llegaron al municipio generando mayor consumo de alimentos aumentando los niveles grasas y aceites en el agua y también se debe a la dilución que tiene este parámetro en el agua ya que es muy difícil notar en las muestras. La diferencia entre la curva de pico alto y pico bajo sucede porque la realización de las necesidades básicas de los habitantes es en los picos altos y en los picos bajos se realiza un consumo mínimo de agua y no utilizan gran cantidad de grasas y aceites , en la curva de pico bajo su pico alto obtuvo un valor de 85 mg/L en el monitoreo 3 y un pico bajo de 43 mg/L en el monitoreo 9 y se puede observar el mismo comportamiento entre los periodos presentado en los picos altos donde los factores climáticos influyen en la carga contaminante.

Tabla 15. Resultados estadísticos de tendencia central, Grasas y aceites

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
<b>Media</b>	88,15	90	100	97,5	78,5	76	72	66	52,5	65	72,5	69,5
<b>Mediana</b>	88,15	90	100	97,5	78,5	76	72	66	52,5	65	72,5	69,5
<b>Moda</b>	66,3	72	85	76	68	60	70	56	43	51	64	61
<b>Desviación estándar</b>	30,9	25,46	21,2	30,4	14,9	22,6	2,83	14,1	13,4	19,8	12	12
<b>Varianza</b>	954,9	648	450	925	221	512	8	200	181	392	145	145
<b>Mínimo</b>	66,3	72	85	76	68	60	70	56	43	51	64	61
<b>Máximo</b>	110	108	115	119	89	92	74	76	62	79	81	78

NOTA: Valores estadísticos de tendencia central de grasas y aceites para cada uno de los 12 monitoreos, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.

El análisis estadístico de los datos estableció que para este parámetro la desviación estándar fue alta, esto debido a que solo se analizaron 2 datos y estos eran valores extremos ya que por la realización de las necesidades básicas de las personas se utiliza más grasas y aceites en las hora pico de caudal, la varianza fue alta por la razón expuesta anteriormente en periodo de sequía los

datos tuvieron mucha concentración, su pico alto fue de 119 mg /L en el monitoreo 4 y su pico bajo de 60 mg /L en el monitoreo 6. La media y la mediana arrojaron los mismos valores debido a el número de datos estudiado en este parámetro.

Durante el periodo de lluvia el parámetro grasas y aceites disminuyó su concentración, la varianza no tuvo el mismo comportamiento del periodo de sequía disminuyendo un 71% la varianza en entre los dos periodos estudiados, la desviación estándar tuvo el mismo comportamiento de la varianza disminuyo un 51% de periodo a periodo este comportamiento de los datos ocurre por la variación de los datos en cada periodo en la seca fue mayor a diferencia en el periodo de lluvia. La media y la mediana arrojaron los mismos valores debido a el número de datos estudiado en este parámetro.

## Nitrógeno

Los parámetros de nitratos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno total se ilustraron contrastando los resultados de muestra compuesta en las dos temporalidades climáticas de periodo de sequía y de lluvias.

## Nitratos

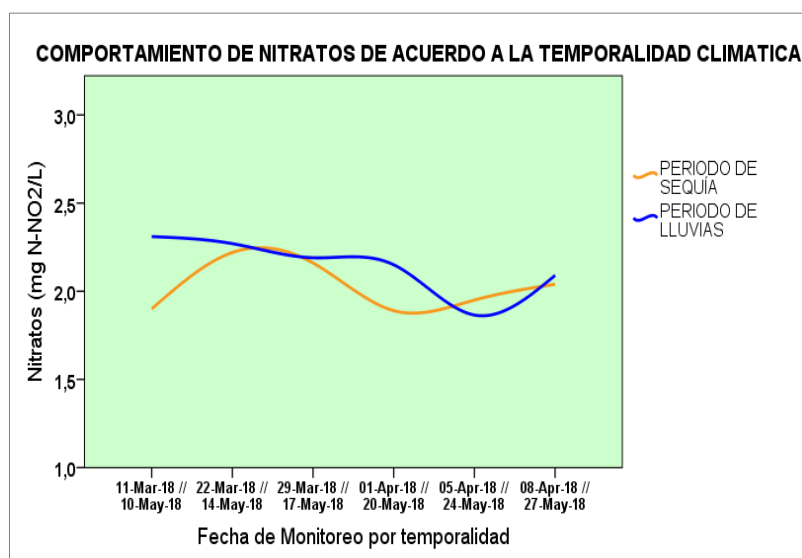


Figura 16. Comportamiento de los valores de nitratos en el Punto de Vertimiento por Temporalidades climáticas

De acuerdo a los datos presentados en la *Figura 16*. se establece un comportamiento similar de nitratos en las dos temporalidades climáticas oscilando entre un rango de 1,87 mg N-NO<sub>2</sub>/L a 2,31

mg N-NO<sub>2</sub>/L, por lo tanto el valor máximo de nitratos reportado fue de 2,31 mg N-NO<sub>2</sub>/L registrado el día 10 de mayo siendo este el primer monitoreo del periodo de lluvias. El valor mínimo 1,87 mg N-NO<sub>2</sub>/L obtenido el 24 de mayo.

Tabla 16. Resultados estadísticos de tendencia central, nitratos

<b>NUMERO DE DATOS</b>	12
<b>MEDIA</b>	2,0863
<b>MEDIANA</b>	2,1200
<b>MODA</b>	1,87 <sup>a</sup>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	,15517
<b>VARIANZA</b>	,024
<b>MÍNIMO</b>	1,87
<b>MÁXIMO</b>	2,31

NOTA: Valores de tendencia central para nitratos, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018

Por otro lado se puede apreciar que según la *Tabla 19* de características estadísticas la desviación estándar determina que hubo una pequeña diferencia de separación entre los 12 valores con respecto a la media (0,155), por ende la varianza también registró un valor pequeño de (0,24).

## Nitrógeno Amoniacal

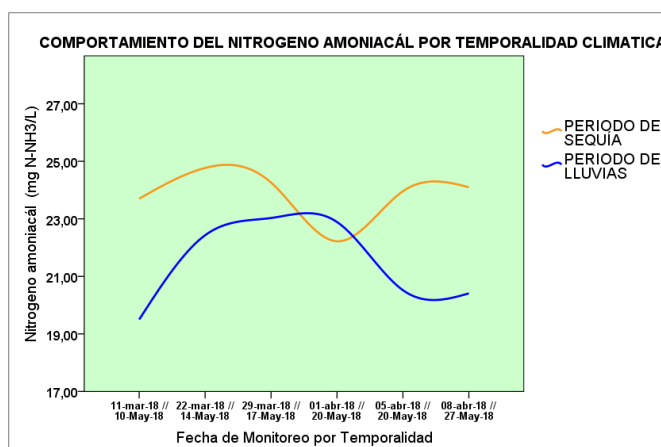


Figura 17. Comportamiento de los valores de nitrógeno amoniacal en el Punto de Vertimiento por temporalidades climáticas, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.

Tabla 17. Resultados estadísticos de tendencia central, Nitrógeno amoniacal

NUMERO DE DATOS	12
<b>MEDIA</b>	24,7584
<b>MEDIANA</b>	25,1555
<b>MODA</b>	21,83 <sup>a</sup>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	1,70127
<b>VARIANZA</b>	2,894
<b>MÍNIMO</b>	21,83
<b>MÁXIMO</b>	27,01

NOTA: Valores de tendencia central para nitrógeno amoniacal, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018

El nitrógeno amoniacal registro sus valores más altos en periodo de sequía con un incremento de 5% con respecto al periodo de lluvias, el valor máximo de nitrógeno amoniacal fue de 24,77 mg N-NH<sub>3</sub>/L presentado el 22 de marzo de 2018 correspondiente al periodo de sequía, el dato mínimo durante los doce monitoreos fue de 19,50 mg N-NH<sub>3</sub>/L registrado el 10 de mayo de 2018 periodo de lluvias, según la moda el valor de nitrógeno amoniacal que más se repite a lo largo del monitoreo es 19,50 mg N-NH<sub>3</sub>/L, la varianza presenta un valor relativamente pequeño (2,9) indicando que hay poca diferencia entre los valores de Nitrógeno Amoniacal, la diferencia respecto a la media la determina para este caso la desviación estándar con un valor de 1,7.

## Nitrógeno Total

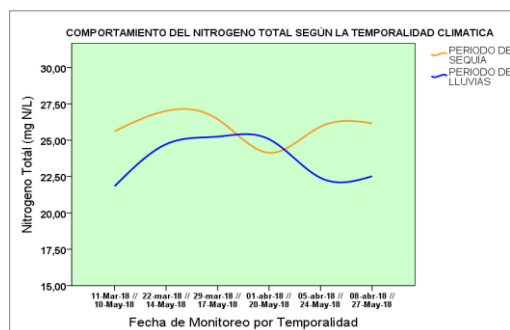


Figura 18. Comportamiento de los valores de nitrógeno total en el Punto de Vertimiento por temporalidades climáticas

Tabla 18. Resultados estadísticos de tendencia central, Nitrógeno total.

NUMERO DE DATOS	12
MEDIA	22,6492
MEDIANA	22,96
MODA	19,5
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,70347
VARIANZA	2,902
MÍNIMO	19,5
MÁXIMO	24,77

NOTA: Valores de tendencia central para nitrógeno total, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018

Debido al poco aporte por parte de los nitratos en la sumatoria del nitrógeno total éste presenta un comportamiento muy similar al del nitrógeno amoniacal según se observa en la *Figura 18*. En las características estadísticas descritas en la *Tabla 21* se pudo determinar que el valor máximo de nitrógeno total fue de 27,1 mg N/L correspondiente al día 22 de marzo de 2018 en periodo de sequía, el valor mínimo registrado de nitrógeno total fue de 21,83 mg N/L registrado el día 27 de mayo de 2018 en periodo de lluvias, por otro lado medidas de tendencia central como la varianza permitieron conocer que la diferencia entre los datos fue de 2,89, la desviación estándar registró un valor de 1,70 indicando poca diferencia de los valores de nitrógeno total respecto a la media la cual se mantuvo en 24,75 mg N/L.

### Coliformes fecales y Totales

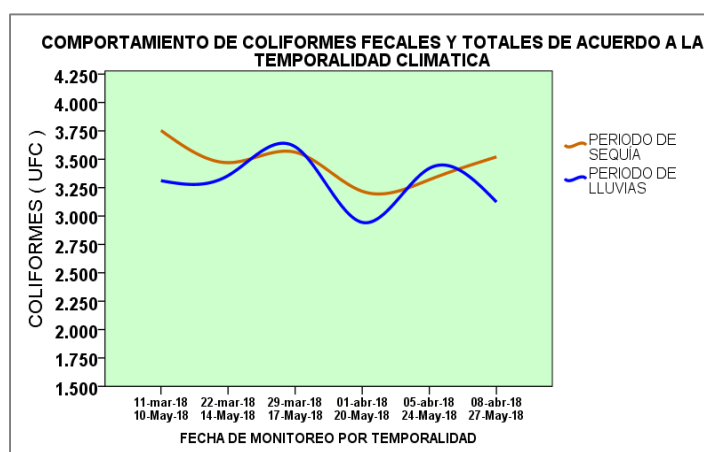


Figura 19. Coliformes totales y fecales de acuerdo a la temporalidad climática, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018

**Tabla 19. Resultados estadísticos de tendencia central, coliformes totales y fecales**

NUMERO DE DATOS	12
MEDIA	3384,1667
MEDIANA	3388,0000
MODA	2944,00 <sup>a</sup>
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	222,80968
VARIANZA	49644,152
MÍNIMO	2944,00
MÁXIMO	3754,00

NOTA: Valores de tendencia central para coliformes totales y fecales, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018

Como es evidente en la *Figura 19* la presencia de coliformes mayor en periodo de sequía, no obstante los valores en las dos temporalidades se mantiene muy pareja presentando una desviación estándar respecto la media de 222,8 UFC, tal situación ocurriría debido a que la ausencia del agua lluvia permite que haya menor dispersión en las bacterias coliformes y por consiguiente su concentración aumente en periodos donde se presentan pocas precipitaciones; El valor máximo registrado de coliformes fecales y totales fue de 3754 UFC exactamente en el primer monitoreo realizado en el periodo de sequía el día 11 de marzo, por otro lado el valor mínimo registrado para coliformes fecales y totales fue de 3218 UFC registrado en el cuarto monitoreo del periodo de lluvias el día 20 de mayo donde en ese momento se hacían más frecuentes las precipitaciones.

## Fósforo Total

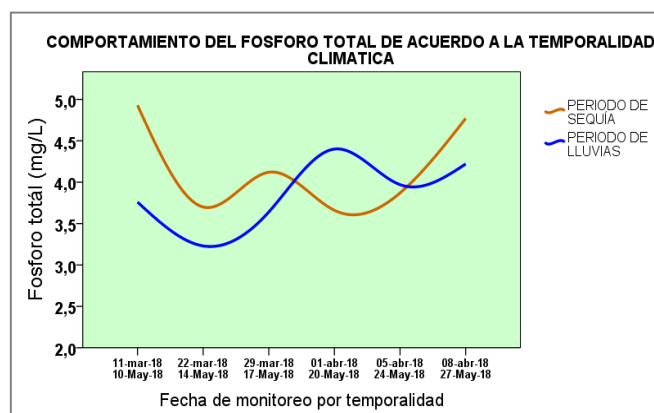


Figura 20. Comportamiento de los valores del fósforo total en el punto de vertimiento por temporalidades climáticas, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018

**Tabla 20. Resultados estadísticos de tendencia central, fosforo total**

<b>NUMERO DE DATOS</b>	12
<b>MEDIA</b>	4,023
<b>MEDIANA</b>	3,92
<b>MODA</b>	3,2 <sup>a</sup>
<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>	0,4934
<b>VARIANZA</b>	0,243
<b>MÍNIMO</b>	3,2
<b>MÁXIMO</b>	4,9

*NOTA: Valores de tendencia central para fosforo total, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018*

Los resultados obtenidos de fósforo total permite observar que no presenta una tendencia con respecto a cada monitoreo donde los datos se mantienen en un rango de 4,9 a 3,2 mg/L, mostrando valores por debajo de los típicos de fósforo en aguas residuales domesticas los cuales oscilan entre 6 y 20 mg/L, cabe aclarar que durante los primeros monitoreos del periodo de sequía se presentaron valores más altos con respecto al periodo de lluvia donde se encuentra al valor máximo para este parámetro (4,9mg/L) , la desviación estándar determinó una distancia de los datos respecto a la media de 0,49 lo cual explica un comportamiento relativamente constante de los datos, lo cual es coherente con el valor de la varianza (0,24).

## **Análisis de modelo experimental**

### **Análisis de cargas contaminantes**

#### ***Carga contaminante generada en el punto de vertimiento***

Luego de realizar a caracterización del agua residual doméstica fue posible establecer los valores de cargas contaminantes de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST donde se multiplicó la concentración por el caudal promedio. Posterior a esto se procedió a correlacionar con el coeficiente de Pearson los valores de cargas contaminantes respecto a la temporalidad climática y días hábiles y no hábiles

de la semana, finalmente se proyectaron las cargas contaminantes a un periodo de 25 años teniendo en cuenta la proyección poblacional.

**Tabla 21. Carga contaminante de la DBO<sub>5</sub>, DQO Y SST**

PARÁMETR O	MONITORE O	Sequía		Lluvias	
		hábil (kg/día)	no hábil (kg/día)	Hábil (kg/día)	no hábil (kg/día)
DBO <sub>5</sub>	1	144,0	424,3	200,3	164,5
	2	137,1	348,0	174,3	163,4
	3	235,6	350,3	228,9	176,3
DQO	1	262,7	614,8	370,9	414,0
	2	375,4	443,6	358,0	269,3
	3	464,1	497,4	347,1	415,2
SST	1	231,69	576,08	542,92	573,48
	2	494,23	578,96	396,11	457,00
	3	561,32	516,96	334,79	378,95

NOTA: Valores promedio de cargas contaminantes de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en el punto de vertimiento, caño Lata, vereda Balcones, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018

**Tabla 22. Coeficiente de Pearson de cargas contaminantes de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST**

RELACIÓN DE VARIABLES	DHPS- DNHPS	DHPLL- DNHPLL	DHPS- DHPLL	DNHPS- DNHPLL
DBO <sub>5</sub>	-0,42	0,06	0,91	1,00
DQO	-0,72	0,04	-0,87	1,00
SST	-0,63	0,99	-0,79	0,89

NOTA: Resultados de Pearson de cargas contaminantes para cada una de las relaciones de temporalidad climática con tipo de día, caño Lata, vereda Balcones, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.

Las Tablas 21 y 22 permiten observar que se presentaron los valores más altos de cargas contaminantes de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en los días no hábiles en periodo de sequía teniendo un promedio de 374 kg DBO<sub>5</sub>/día, 518,6 kg DQO/día y 557 kg SST/día respectivamente, este aumento en las cargas pudo haber ocurrido por el aumento en la población durante estos días festivos gracias

al aporte de población flotante tomando en cuenta que el potencial turístico del municipio de Restrepo aumenta en periodo de sequía gracias al buen tiempo en los fines de semana. Por otro lado para la relación de los valores de carga contaminante del día hábil con respecto a los del día no hábil se pudo determinar que existe una correlación negativa en los datos para los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO y SST por ende los valores de cargas contaminantes varían tanto entre semana como fines de semana, el coeficiente Pearson en la temporada de lluvias demuestra que la correlación de los valores de cargas para DBO y SST es positiva relacionando los días hábiles y no hábiles lo cual demuestra que la población flotante durante este periodo climático tiende a disminuir haciendo más estable la producción de cargas contaminantes. La relación entre los días hábiles de ambas temporalidades es positiva para la DBO es decir que los días entre semana no varía significativamente la producción de carga contaminante independientemente de la temporalidad climática, con respecto a las cargas de DQO y SST en días hábiles la correlación resulta ser negativa. Con respecto a la relación de días no hábiles se encuentra una correlación positiva lo cual indica una mayor proporcionalidad entre estas dos variables.

A partir de los datos de cargas contaminantes registrados en el punto de vertimiento del caño lata se realizó una comparación con el documento estudio nacional del agua (IDEAM, 2014), este estudio permitió conocer valores aproximados de generación de carga contaminante de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en las 9 principales ciudades de Colombia, entre estas se encuentra Villavicencio la cual fue escogida para realizar una comparación con la población de Restrepo que genera el vertimiento (10.610 habitantes) y de esta forma poder interpretar los resultados de los valores de carga contaminante del presente estudio. Se realizó una regresión de los datos para conocer la cantidad que generaba la misma población que vierte en Restrepo en comparación con la ciudad de Villavicencio.

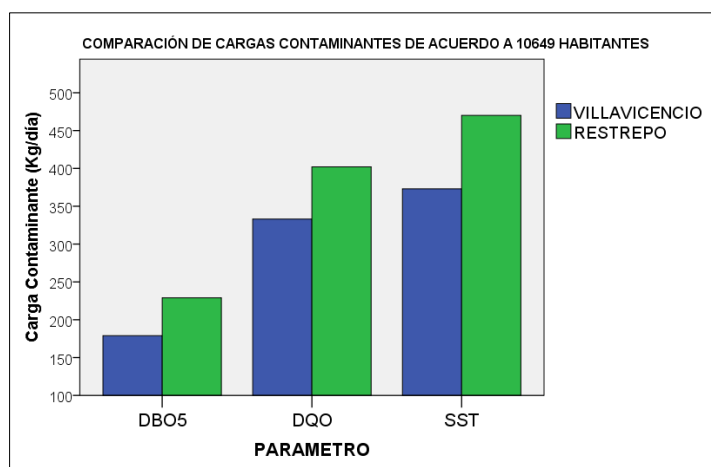


Figura 21. Relación de las cargas contaminantes entre los municipios de Villavicencio y Restrepo, Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.

En dos de los tres parámetros comparados el municipio de Restrepo sobre pasa los valores del municipio de Villavicencio, como se observa en la *Figura 21* la DBO<sub>5</sub> es mayor al igual que los SST en el municipio de Restrepo, por otro lado la DQO en el municipio de Villavicencio es mayor, esto debido a las características diferentes que cuenta este municipio ya que en sus vertimientos las industrias arrojan sus aguas negras al punto de vertimiento en el cual se comparó.

### Proyección de las cargas contaminantes futuras

Para la proyección de cargas contaminantes de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST se tomó un valor promedio de cada uno de los parámetros el cual se cruzó con las poblaciones proyectadas a 25 años.

**Tabla 23. Proyección de cargas contaminantes, DBO<sub>5</sub>, DQO y SST.**

Año de proyección	2018	2023	2028	2033	2038	2043
<b>Número de habitantes</b>	10649	13099	15961	19351	23418	29468
<b>kg DBO<sub>5</sub>/día</b>	228,46	294,56	358,91	435,14	526,60	662,64
<b>kg DQO/día</b>	402,7	495,34	603,57	731,77	885,56	1114,35
<b>kg SST /día</b>	470,21	578,39	704,76	854,44	1034,02	1301,16

NOTA: Población proyectada a 25 años para la parte occidental del municipio de Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.

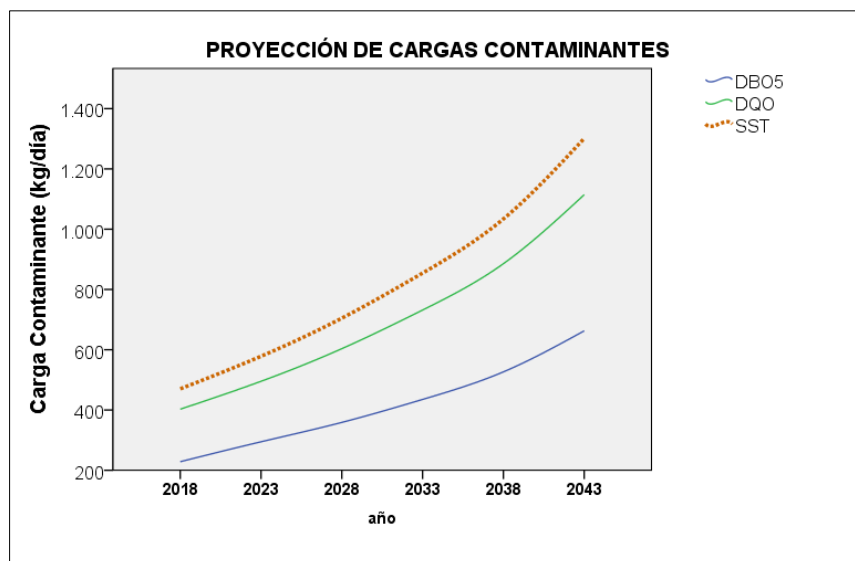


Figura 22. Proyección de cargas contaminantes para la parte occidental del municipio de Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018

Según lo proyectado las cargas contaminantes tienden a aumentar junto con la población en cada uno de los 3 parámetros comparados DBO<sub>5</sub>, DQO y SST, por procesos de expansión demográfica de tal forma que con el pasar de los años se producirá mayor presión sobre el cuerpo receptor.

### Características del cuerpo receptor

Las características del cuerpo receptor tabla 27 del vertimiento se obtuvieron gracias al estudio realizado por Edesa S.A. ESP durante el mes de marzo el cual tenía el objetivo de monitorear los vertimientos puntuales y sus respectivos cuerpos de agua receptora en cada municipio del departamento del meta, para este caso en particular se ilustran los resultados de la fuente receptora caño lata aguas arriba y aguas abajo del vertimiento con el fin de explicar el impacto que tiene este vertimiento sobre esta pequeña fuente hídrica. El decreto 3930 de 2010 define la Capacidad de asimilación como *“aquella que posee un cuerpo de agua para aceptar y degradar sustancias, elementos o formas de energía, a través de procesos naturales, físicos químicos o biológicos sin que se afecten los criterios de calidad e impidan los usos asignados”* Fuente especificada no válida..

Tabla 24. Datos monitoreo Edesa ESP.

CAÑO LATA	AGUAS ARRIBA DEL VERTIMIENTO	PUNTO DE VERTIMIENTO-SEQUÍA	AGUAS ABAJO DEL VERTIMIENTO
Ancho del cauce (m)	1,9	N/A	1,6
profundidad promedio (m)	0,06	N/A	0,13
CAUDAL (L/S)	12,25	23,9	40,8
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	< 5	71,54	123
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	17	52,95	281
SST (mg/L)	12,3	132	52,4

NOTA: Características del cuerpo receptor aguas abajo y aguas arriba del punto de vertimiento, caño Lata, Restrepo, Meta. (Empresa de Servicios Públicos del Meta, 2017)

Basado en la *Tabla 24* es posible observar el impacto que causa el vertimiento de aguas residuales al caño lata aguas abajo, alterando el cauce de la fuente hídrica debido a la incorporación de agua residual generando un efecto de canalización aumentando la profundidad de 6 a 13 cm y disminuyendo el ancho del cauce de 1,9 a 1,6 metros. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos se observa el aumento en la DBO<sub>5</sub>, DQO y SST aguas abajo del vertimiento con respecto a los valores aguas arriba después de que se hace la descarga de aguas residuales domésticas.

### Grado de impacto que genera el vertimiento de agua residual comparando Caudal, DBO<sub>5</sub>, DQO Y Sólidos suspendidos totales.

En la *Figura 23* se realizó una comparación del caudal con respecto a DBO<sub>5</sub>, DQO y sólidos suspendidos totales para ver el comportamiento de estos parámetros y cómo influye el caudal del vertimiento.

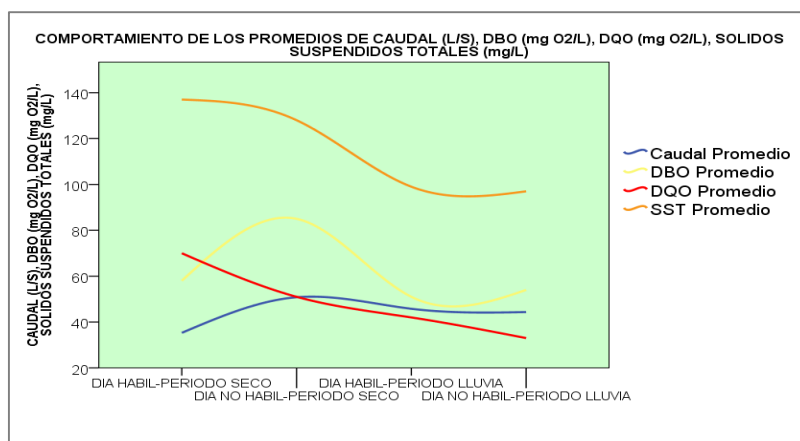


Figura 23. Comparación del caudal con respecto a DBO<sub>5</sub>, DQO Y Sólidos suspendidos Totales, punto de vertimiento, caño Lata, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018

El comportamiento del caudal tiene una relación con cada uno de los 3 parámetros los cuales son inversamente proporcional al comportamiento del mismo, cuando se presentaron caudales bajos los parámetros tienen sus picos máximos y cuando el caudal tiende a aumentar los parámetros relacionados tienden a tener los valores más bajos, por esta razón en los monitoreos los parámetros en periodo de sequía eran mayores a comparación de los de periodo de lluvia con excepción de los días no hábiles en época de sequía por el gasto de agua por la población flotante. Esto sucede debido a que el sistema de alcantarillado es de tipo cerrado (Viva, 2015) y la adición de aguas lluvias tienen la función de degradar las carga contaminantes en las horas pico de caudal (Rojas, 1999). La resolución 0631 del año 2015 reglamenta los valores máximos permisibles de parámetros fisicoquímicos para realizar vertimientos puntuales, estos se compararon con los valores promedios en las dos temporalidades para conocer si este vertimiento cumple con los valores máximos permisibles, se puede observar en la *Tabla 25*.

**Tabla 25. Valores máximos permisibles vs vertimiento de agua residual.**

Parámetro	Unidad	Valor máximo permisible; Resolución 0631 2015	Salida del punto de vertimiento	Cumple
DBO <sub>5</sub>	mg/L O <sub>2</sub>	90	108,03	No
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	180	106,97	Si
Aceites y grasas	mg / L	20	88,36	No
Coliformes totales	NMP	No especifica	3502	Si
Coliformes fecales	NMP	No especifica	3502	Si
Nitratos	mgN-NO <sub>2</sub> / L	Análisis y Reporte	2,15	Si
Nitrógeno amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> / L	Análisis y Reporte	23,8	Si
Nitrógeno	mg N/ L	Análisis y Reporte	25,9	Si
Fósforo total	MgP/L	Análisis y Reporte	4,2	Si
Sólidos suspendidos totales	mg/L	90	132,2	No
Sólidos Sedimentables	ml/L	5	3,7	Si

*NOTA: Comparación de los valores máximos permisibles según la resolución 0631 del 2015 respecto a los valores generados en el punto de vertimiento al caño lata, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*

En comparación se tomaron los datos promedios de cada periodo estudiado en el primer valor son los valores del periodo de sequía y el segundo de periodo de lluvia, 3 parámetros del vertimiento no cumple con los parámetros establecidos en grasas y aceites, sólidos suspendidos totales y DBO<sub>5</sub>. Teniendo en cuenta que la población va en aumento es necesaria la implementación de un sistema de tratamiento de agua residual para mitigar el impacto generado al caño lata y después este sea difícil recuperar.

### **Fase III. Propuesta preliminar del sistema de tratamiento de agua residual.**

#### **Aspectos generales del diseño**

##### ***Definición del nivel de complejidad del sistema.***

De acuerdo a criterios expuestos en el título E del numeral A.3.1. del Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2017 se pudo establecer que el nivel de complejidad requerido para este caso es nivel **Medio** ya que el número de habitantes de la zona urbana de Restrepo es de 17.000 (Restrepo A. , Plan Basico De Ordenamiento Territorial , 2017) pero solo se toman en cuenta el 60% de esta cifra dando el resultado de 10.200 habitantes que corresponde a la población ubicada en la zona occidental del municipio la cual comparte el mismo sistema de alcantarillado el mismo que finalmente genera el vertimiento a tratar.

**Tabla 26. Nivel de complejidad del sistema**

<b>Nivel de complejidad del sistema</b>	<b>Población en la zona urbana (habitantes)</b>
<b>Bajo</b>	< 2.500
<b>Medio</b>	2.501 a 12.500
<b>Medio alto</b>	12.501 a 60.000
<b>Alto</b>	> 60.000

*NOTA: Asignación del nivel de complejidad del sistema de acuerdo al RAS 2017 (Ministerio de medio ambiente, 2003).*

### Proyección poblacional Restrepo – Meta

La proyección poblacional es de gran importancia para establecer el número de habitantes que en un futuro podrían llegar a aportar agua residual en este vertimiento donde por ende se verían afectados los caudales de agua domestica residual uno de los principales parámetros de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, teniendo en cuenta lo anterior se realiza la respectiva proyección poblacional a 25 años según los requerimientos del RAS 2017 utilizando los métodos allí sugeridos, según el nivel de complejidad del sistema se utilizaron los métodos aritmético y geométrico los cuales se promediaron finalmente para obtener un valor más representativo.

**Tabla 27. Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad (RAS 2017, título B)**

Método por emplear para la proyección	Nivel de complejidad del sistema			
	bajo	medio	Medio alto	Alto
<b>Aritmético, geométrico y exponencial</b>	X	X		
<b>Aritmético + geométrico + exponencial + otros</b>				
<b>Por componente (demográfico)</b>			X	X
<b>Detallar por zonas y detallar densidades</b>			X	X

*NOTA: Asignación de métodos para el cálculo de la proyección poblacional de la zona occidental de Restrepo, Meta. (Ministerio de medio ambiente, 2003)*

**Tabla 28. Proyección poblacional a 25 años de la zona occidental de Restrepo**

Método utilizado según RAS 2017	Año de proyección	2018	2023	2028	2033	2038	2043
		<b>ARITMÉTICO</b>	10589	12537	14484	16431	18378
<b>GEOMÉTRICO</b>		10708	13661	17437	22270	28458	38221
<b>PROMEDIO</b>		10649	13099	15961	19351	23418	29468

*NOTA: Población proyectada a 25 años utilizando método geométrico y aritmético para la zona occidental del municipio de Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.*



Figura 24. Proyección poblacional a 25 años de la zona occidental de Restrepo. . Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018.

De acuerdo a la información recolectada en la proyección poblacional fue posible establecer los caudales medios diarios  $Q_{MD}$  y los caudales máximos diarios  $Q_{MAX}$  para cada una de las poblaciones proyectadas previamente.

Tabla 29. Proyección de caudales

Año de proyección	2018	2023	2028	2033	2038	2043
<b>Número de habitantes</b>	10649	13099	15961	19351	23418	29468
<b>Caudal medio diario (L/S)</b>	44	55	66	80	98	123
<b>Caudal máximo diario (L/S)</b>	75	93	113	137	166	209
<b>caudal per cápita (L hab./día)</b>	358	362	358	358	362	362

NOTA: Caudales futuros respecto a la proyección poblacional, zona occidental, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018

## **Propuesta para el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual para la zona suroccidental del municipio de Restrepo-Meta.**

### **Tratamiento Preliminar**

#### **Cribado**

Con el objetivo de separar material grueso del agua residual se hará uso de una criba o rejillas las cuales se clasifican en finas ( $< 0,64$  cm o  $\frac{1}{4}$  de pulgada) y gruesas ( $> 0,64$  cm o  $\frac{1}{4}$  de pulgada), para este caso particular se hará uso de estos dos tipos de rejillas las cuales permiten atrapar todos aquellos sólidos de mayor y menor tamaño antes de la entrada al tratamiento primario donde más adelante aquellos sólidos pueden averiar bombas, válvulas, tuberías, equipos etc.

#### **Rejillas**

Considerando que el afluente de agua residual a tratar tiene presencia de sólidos flotantes se hace necesario implementar el uso de rejillas de material metálico y tipo de limpieza manual principalmente formadas por barras o varillas de acero de tipo cuadrados.

#### **Desarenador**

De acuerdo a los resultados de la caracterización fisicoquímica del agua, se entiende que hay presencia de sólidos sedimentables con valores promedio de oscilan en rangos de 2,7 a 4,2 ml/L en el caudal de agua residual a tratar, por consiguiente es pertinente e importante la implementación de un desarenador. Otro factor que se tiene en cuenta para la selección de esta tecnología de tratamiento son las características climáticas de la zona de estudio, en este caso en el municipio de Restrepo durante el periodo lluvias se registran altos valores de precipitación ( $> 300$  mm) lo cual puede generar infiltraciones en el sistema de alcantarillado por conexiones erradas (RAS, 2017) y por ende aumentar la concentración de sólidos por procesos de arrastre de material producto de escorrentía superficial.

## Tratamiento biológico

Para realizar este tratamiento se debe tener en cuenta que para que funcionen los procesos aerobios de tratamiento de aguas residuales es necesario cumplir con relaciones de nitrógeno y fósforo respecto a la DBO donde para la degradación de 100 mg O<sub>2</sub>/L de DBO<sub>5</sub> es necesario contar como mínimo con 5 mg/L de Nitrógeno y 1 mg/L de fósforo (Peña, 2008). En caso de que no se cuenten con esas concentraciones mínimas de N, P y DBO<sub>5</sub> se deben implementar tratamiento Anaerobio donde para degradar 100 mg O<sub>2</sub>/L de DBO<sub>5</sub> son necesarios 0,5 gr/L de nitrógeno 0.1 gr/L de fósforo como mínimo (Rojas, 1999), de acuerdo a la caracterización fisicoquímica realizada previamente se pudo establecer que la cantidad de nitrógeno presente en los valores de nitrógeno amoniacal contienen en promedio 7,74 mg/L de N y los valores de fósforo manejan un promedio de 2,9 mg/L de N; por consiguiente se implementara tratamiento biológico Aerobio realizando pruebas mínimas de diseño (tabla 37 y tabla 38) para dos de los tratamientos más convencionales; lodos activados y filtro percolador.

### Lodos activados

A pesar de que las relaciones de nitrógeno y fósforo con DBO<sub>5</sub> sugieren la utilización de tratamiento aerobio, finalmente se descarta la implementación de la tecnología de lodos activados debido a que no se cuentan con los requerimientos mínimos de diseño (Rojas, 1999), (Ver memoria de cálculo en el Anexo 8). Entre los parámetros de diseño que se incumplen se encuentran; la relación alimento microorganismo (A/M), tiempo de retención hidráulica (TRH), % de recirculación y carga volumétrica. Donde es obligatorio que todos y cada uno de los valores de estos parámetros estén dentro de los rangos descritos en la *Tabla 30*.

**Tabla 30. Lodos activados.**

<b>Carga Volumétrica</b> (g DBO/M3.d)	<b>A/M</b> (g DBO/gSSVLM)	<b>Edad de lodos</b> (d)	<b>Recirculación (%)</b>
300 – 2000	0.2 - 0.6	5 - 15	25 – 90

*NOTA: Parámetros básicos de diseño para la implementación convencional dela tecnología de lodos activados. (Rojas, 1999)*

## Diseño de filtro percolador

Un filtro percolador es una de las tecnologías más utilizadas para el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas el cual tiene como objetivo degradar o intercambiar sustancias contaminantes contenidas en el agua residual por sustancias de menor riesgo. Este método de tratamiento funciona poniendo en contacto las sustancias mencionadas por medio de la distribución del agua a tratar utilizando un aspersor y haciéndola llegar hasta el lecho fijo donde se encuentra la biomasa adherida a un sustrato encargada de degradar las cargas contaminantes en el agua residual.

Para la selección de esta tecnología de tratamiento fue necesario establecer los parámetros mínimos de diseño para un filtro percolador convencional *Tabla 36* que se obtuvieron a partir de los valores de DBO<sub>5</sub> de entrada, DBO<sub>5</sub> de salida y el caudal de entrada establecidos previamente en el estudio, además de los valores proyectados para un periodo de diseño a 25 años *Tabla 31*.

**Tabla 31. Valores de diseño para un filtro percolador convencional**

PARÁMETRO DE DISEÑO	FILTRO PERCOLADOR DE BAJA TASA	FILTRO DE PERCOLADOR DE ALTA TASA	FILTRO PERCOLADOR DE TASA SÚPER ALTA
Carga hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> x día)	1-4	10-40	40-200
Carga volumétrica (kg DBO <sub>5</sub> / m <sup>3</sup> x día)	0,11-0,37	0,35-1,85	1,0-6,0
altura del filtro d (m)	1,5-3,0	1,0-2,0	4-12

NOTA: Parámetros mínimos de selección para el diseño de un filtro percolador convencional (Rojas, 1999).

**Tabla 32. Proyección de valores**

Año de proyección	Número de habitantes proyectados	Caudal promedio (L/S)	DBO in (mg O <sub>2</sub> /L)	DBO out (mg O <sub>2</sub> /L)	Carga hidráulica QL (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> * día)	Carga volumétrica (kg DBO/ m <sup>3</sup> x día)	Altura del filtro D (m)
2018	10649	44	62	12,4	35,1	3,62	5,74
2023	13099	55	76	15,3	35,1	2,67	7,12
2028	15961	66	93	18,6	35,1	3,26	8,37
2033	19351	80	113	22,6	35,1	3,97	9,83
2038	23418	98	137	27,3	35,1	4,81	11,52
2043	29468	123	172	34,4	35,1	6,04	13,62

NOTA: Proyección de valores, zona occidental, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas, 2018 Sedimentador Secundario

Después del filtro percolador es necesario la implementación de un sedimentador secundario para lograr eliminar la biomasa viva que está presente después del tratamiento biológico (Rojas, 1999) y por esta razón es necesario incluirlo en el diseño conceptual del punto de vertimiento caño Lata.

### Trampa de grasas

De acuerdo a los valores de las concentraciones de grasas y aceites se supera el límite máximo permitido para este parámetro según la resolución 0631 de 2015, las grasas y aceites deben ser tratadas si estas poseen capa visible en el agua ya que estas pueden generar deterioro de las tuberías y malos procesos durante el tratamiento biológico (Rojas, 1999), no obstante durante los análisis de laboratorio se pudo evidenciar la ausencia de capa visible de grasa en la superficie de la muestra por lo tanto las concentraciones de grasas y aceites resultan estar solubles en el agua, razón por la cual no se cree necesario implementar esta tecnología de tratamiento a la hora del diseño, no se justifica la implementación de esta tecnología debido que el 20% se encuentra en la DBO<sub>5</sub> y con la descomposición de esta los niveles de grasas y aceites en el agua bajan considerablemente (Rojas, 1999) y aún más las obtenidas por ser solubles en el agua.

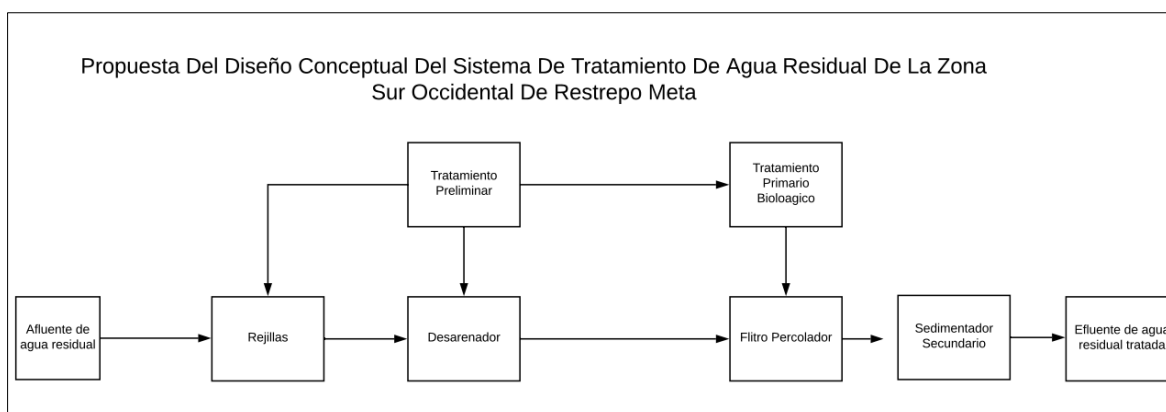


Figura 25. Diagrama de flujo del diseño conceptual del sistema de tratamiento de aguas residuales, zona suroccidental, Restrepo, Meta. Por Eduardo Ardila y Diego Rojas

## **Discusión de resultados y Recomendaciones**

Se aconseja para la elaboración de nuevos proyectos fortalecer metodologías para el cálculo del porcentaje de población flotante que entra a la ciudad, debido a que este altera el comportamiento tanto del caudal como de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del punto de vertimiento, a su vez implementar los monitoreos en día hábil y día no hábil lo cual ayudó a identificar como es el comportamiento del agua residual en estos tipos de días y porque se generan mayor concentración en unos días que en otros.

Se aconseja utilizar los datos del DANE 2018 con este trabajo al momento de realizar la ejecución, debido que las proyecciones poblacionales y de carga contaminantes se realizaron con censos llevados a cabo en el año 2015 y los valores pueden modificarse con el último censo realizado este presente año.

Según el RAS 2017 capítulo 3 ART. 107 se necesitan como mínimo 6 monitoreos para la realización de un diseño de un sistema de tratamiento de agua residual 3 en periodo de sequía y 3 en periodo de lluvias, pero a partir del ejercicio realizado en este trabajo se recomiendan 6 muestras más donde se tengan en cuenta días hábiles y días no hábiles esto servirá para conocer el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en puentes festivos y semanas que no son habituales como la semana santa.

Se recomienda a las alcaldía y a la empresa pública del municipio la separación de las aguas lluvias con las aguas residuales considerando que estas pueden llegar a diluir los parámetros a un 40 % y esto puede alterar el funcionamiento del sistema de tratamiento de agua residual diseñado y aumentar los caudales de entrada.

## Conclusiones

La comparación de la resolución 0631 2015 permite establecer que solo 3 parámetros sobrepasan los límites máximos permisibles de vertimientos a un cuerpo de agua superficial. En el caso de los sólidos suspendidos totales los valores oscilan entre 124,74 mg/L mientras que la norma se ubica en 90 mg/L el valor máximo permisible, por otro lado la DBO<sub>5</sub> registró un valor de 108,34 mg O<sub>2</sub>/L sobrepasando la norma que establece 90,0 mg O<sub>2</sub>/L como máximo valor permisible. Por ultimo las grasas y aceites no cumplen con la norma oscilando entre 88,36 mg/L siendo 20,0 mg/L el valor máximo permisible.

De acuerdo a la caracterización desarrollada en el punto de vertimiento del estudio, los periodos climáticos afectan las concentraciones de parámetros fisicoquímicos, debido al que el sistema de alcantarillado es un sistema combinado (Aguas lluvias y aguas residuales domesticas) lo que genera una dilución de las concentraciones logrando disminuir hasta un 40% la concentración de DBO<sub>5</sub> presente en el periodo de lluvia en comparación al periodo se sequía.

Las cargas contaminantes del vertimiento superan en DBO<sub>5</sub> y sólidos suspendidos totales con respecto a las de la ciudad de Villavicencio registradas en el estudio nacional del agua (IDEAM, 2014). Debido que el gasto per- cápita en el municipio de Restrepo es de 373 (L/ Hab.Día) siendo mayor que la media nacional 140 (L/ Hab.Día) esto sucede porque el sistema de alcantarillado cuenta con un sistema combinado de agua lluvia y agua residual doméstica, aumentado el caudal en el punto de vertimiento.

La variabilidad de las cargas contaminantes de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en el vertimiento de agua residual de la vereda Balcones de Restrepo está directamente asociada con el tipo de día de la semana presentando en su mayoría valores negativos (-0,42 -0,72, -0,63, 0,91, -0,87, -0,79) de

correlación de Pearson cuando se compararon los valores de las cargas contaminantes de día no hábil con los de día hábil en cada uno de los 3 parámetros en las dos temporalidades climáticas.

De acuerdo a las características analizadas y a los requerimientos de diseño para los sistemas de tratamiento, el agua residual del municipio de Restrepo requiere las etapas de; Rejillas, debido a la presencia de material flotante presente en el caudal de agua. Desarenador, como consecuencia de las concentraciones de sólidos sedimentables con valores promedio de 3,70 ml/L. El tratamiento biológico, asociado a la DBO (54,13 mg O<sub>2</sub>/L) y la DQO(106,97 mg O<sub>2</sub>/L), asociado a un sedimentador secundario para la decantación de los sólidos resultantes del tratamiento biológico, así como los sólidos suspendidos (124,74 mg/L) presentes en el agua residual. Igualmente no se requiere trampa de grasas, ya que las grasas se presentan diluidas en el agua y hacen parte de la DBO y DQO.

Asimismo, se necesita un tratamiento aerobio filtro percolador debido que los requerimientos operacionales para los sistemas de lodos activados no son suficientes para mantener las condiciones operativas (anexo 8). Igualmente, se requiere un tratamiento aerobio, ya que el área de la zona de vertimiento es una zona de expansión urbana, de manera que, al instalar un sistema anaerobio se puede limitar el uso del suelo en esta zona del municipio, desvalorizando las propiedades y restringiendo su uso para otra labores.

### Referencias Bibliográficas

- A, Galvis; D, Cardona; D, Bernal. (2004). Modelo conceptual de selección de tecnología para el control de contaminación por aguas residuales domesticas en localidades colombianas menores de 30000 habitantes, Seltar. Conferencia Internacional: De la Acción Local a las Metas Globales. Cali: Universidad del valle. Obtenido de: <http://bvspers.paho.org/texcom/cd050704/galvismo.pdf>.
- Alcaldia de Restrepo, (2017). Plan Básico de ordenamiento Territorial (PBOT). Obtenido de: . <http://www.restrepo-meta.gov.co/tema/pbot>
- Alcaldia Restrepo. (2012). Plan de desarrollo municipal experiencia, compromiso y resultados 2016-2019. Restrepo. Obtenido de: <http://www.restrepo-meta.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-municipal-experiencia-compromiso>
- Arango; C.; Dorado, J; Guzmán D.; Ruiz, J. F.. (2012). Climatología trimestral de colombia. Bogota . Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- Asociacion Colombiana De Ingenieria . (Agosto de 2017). Hoy es el día internacional del agua – aguas residuales. Obtenido de <https://www.acodal.com/dia-internacional-agua/>
- Contreras, H. (2018). Flitro Percolador .
- Cormacarena. (2011). Formulacion del plan de ordenamiento del recurso hídrico. Villavicencio.
- Cormacarena. (2011). Plan De Ordenamiento Del Recurso Hidrico. Villavicencio.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2005). Censo General. Obtenido de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>
- Duran, Z. L. (2009). Evaluación del desempeño de un conjunto de lagunas para el tratamiento de las aguas de riego provenientes del canal tibanica . Tesis de Maestría en Ingeniería

- Ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1772/1/292518.2009.pdf>
- El compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento, (2018). T8 - Filtro Percolador. Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t8.html>
- Empresa de Servicios Públicos del Meta, (EDESA). Edesa S.A. ESP, realizó estudios y diseños de sistemas de tratamiento de aguas residuales a construir en 10 Municipios del Meta . (17 de 04 de 2017). Obtenido de <http://www.edesaesp.com.co/archivos/4360>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2002). Guia para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterranas. Obtenido de: <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/gui-a-para-el-monitoreo-de-vertimientos-aguas-superficiales-y-aguas-subterranas>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).. (2012). Estado nacional del agua. Bogota .IDEAM
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).. (2014). Estudio nacional del agua. Bogota .IDEAM
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).. (2016). Boletín de Predicción Climática Y Alertas para Planear y Decidi. Bogota . Obtenido de: [http://www.ideam.gov.co/documents/21021/4538506/01\\_Bolet%3%ADn\\_de\\_Predicci%3%B3n\\_Clim%3%A1tica\\_Enero.pdf/24dda1db-ef60-4e9c-b0f8-ad2ea4f49b09?version=1.0](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/4538506/01_Bolet%3%ADn_de_Predicci%3%B3n_Clim%3%A1tica_Enero.pdf/24dda1db-ef60-4e9c-b0f8-ad2ea4f49b09?version=1.0)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).. (2018). Precipitacion trimestal. Bogotá. IDEAM
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).. (2018). Precipitacion Trimestal En Colombia . Bogotá. IDEAM
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).. (2018). Predicciones Climatologicas. Bogotá. IDEAM

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).. (2018). Predicciones Climatológicas En Colombia. Bogotá. IDEAM
- Kuznia, W. Valter y O. (1990). Módulos de formación y de perfeccionamiento del personal de las plantas de tratamiento de aguas residuales, Lima: CEPIS. Lima .
- Lenntech B.V. (2017). Enfermedades transmitidas por el agua. Obtenido de <http://www.lenntech.es/biblioteca/enfermedades/enfermedades-transmitidas-por-el-agua.htm>.
- Matsumoto, T., & Sánchez, I. (2016). Desempeño De La Planta de Tratamiento De Aguas Residuales De Sao Joao De Iracema (Brasil). Ingeniería , p.176-186. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/inge/v21n2/v21n2a04.pdf>
- Mayra Alejandra Rugeles Ferreira, Nancy Milena Zapata Cristancho. (2016). Diagnóstico de condiciones de acidez del agua lluvia en la finca innovacion andina. Trabajo de grado en Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de la Salle. Obtenido de: [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20443/41111040\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20443/41111040_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ministerio de Medio Ambiente. (14 de Enero de 2014). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1932-politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2003). Guia Ras-001 Definición del nivel de complejidad del sistema y evaluacion de la poblacion, la dotacion y la demanda de agua Bogotá. Obtenido de: <http://www.minvivienda.gov.co/GuiasRAS/RAS%20-%20002.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente. (2015). Minambiente presenta nueva Norma de Vertimientos que permitirá mejorar la calidad agua del país. Obtenido de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf),»

- Ministerio De Vivienda. (2017). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>
- Ministro de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). RAS 2000 titulo- D Sistemas de Recolección y Evacuación de aguas residuales y aguas lluvias. Obtenido de: [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO\\_D.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf)
- Noyalo, A. (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales guía para pequeñas ciudades. Mexico DF. Obtenido de: [http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia\\_Aguas\\_Residuales.pdf](http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf)
- Peña, D. (2008). Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales con poblacion manor de 25.000. Santiago de chile .Obtenido de: <https://docplayer.es/20765727-Determinacion-de-la-relacion-dqo-dbo-5-en-aguas-residuales-de-comunas-con-poblacion-menor-a-25-000-habitantes-en-la-viii-region.html>
- Piamonte, H. S. (2017 ). Diseño preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la esperanza departamento norte de santander en colombia. Trabajo de grado de Ingeniería ambiental. Universidad Santo Tomás, Bogotá. Obtenido de: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9238/Fandi%C3%B1oHans2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramirez, C. A. (2011). Calidad del agua, Evaluación y diagnóstico, Medellín: Universidad de Medellín. Medellin .
- Resolución 330. (8, Junio, 2017). “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”. Ministerio De Vivienda. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>
- Restrepo, I. (2007). Avances en investigación y desarrollo en el agua y saneamiento para el cumplimineto de las metas del milenio . Cali : Universidad del valle.

- Rojas, J. A. (1999). Tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño, Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. (2005). Lagunas de Estabilización de Aguas Residuales. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rubén Miranda, M. O.-C. (2018). Tratamiento de aguas. Ejercicios Resueltos y Prácticas de Laboratorio. España .
- Secretaria de turismo de Restrepo . (2018). Censo de poblacion flotante. Restrepo Alcaldia de Restrepo.
- Segura, L. E. (2007). Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en colombia. Informe final de prácticas, Administración Públicas, Escuela de Administración Públicas. Bogota. Obtenido de: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio%20de%20antecedentes%20sobre%20la%20contaminaci%C3%B3n%20h%C3%ADdrica.pdf>
- Viva, A. (2015). Distribucion de alcantarillado del municipio de Restrepo . Alcaldia de Restrepo

## Anexos

### **Anexo 1. Tabla de leyes, decretos, resoluciones y libros pertinentes al estudio.**

<b>Tipo de documentó</b>	<b>N° De la norma</b>	<b>Fecha de emisión</b>	<b>Alcance</b>
Decreto	2811	Diciembre 16 de 1974	Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Medio Ambiente: Establece acciones de prevención y control de la contaminación del recurso hídrico, normas generales y medios para el desarrollo de la Política Ambiental.
Ley	9	Enero 24 1979	Se dictad medidas sanitarias y sus disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana
Libro política nacional para la gestión integral del recurso hídrico		Marzo 03 de 2010	Objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país, en un horizonte de 12 años.
Libro Estudio nacional del agua		Mayo 05 de 2014	Estado y dinámica del agua y los recursos hídricos en Colombia. Refleja en su contenido la integración de los diferentes componentes que conforman la base de información y conocimiento del ciclo
Decreto	1287	Julio 10 de 2014	"Por el cual se establecen criterios para el uso de los bio sólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales"
Resolución	1207	Julio 25 de 2014	Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.

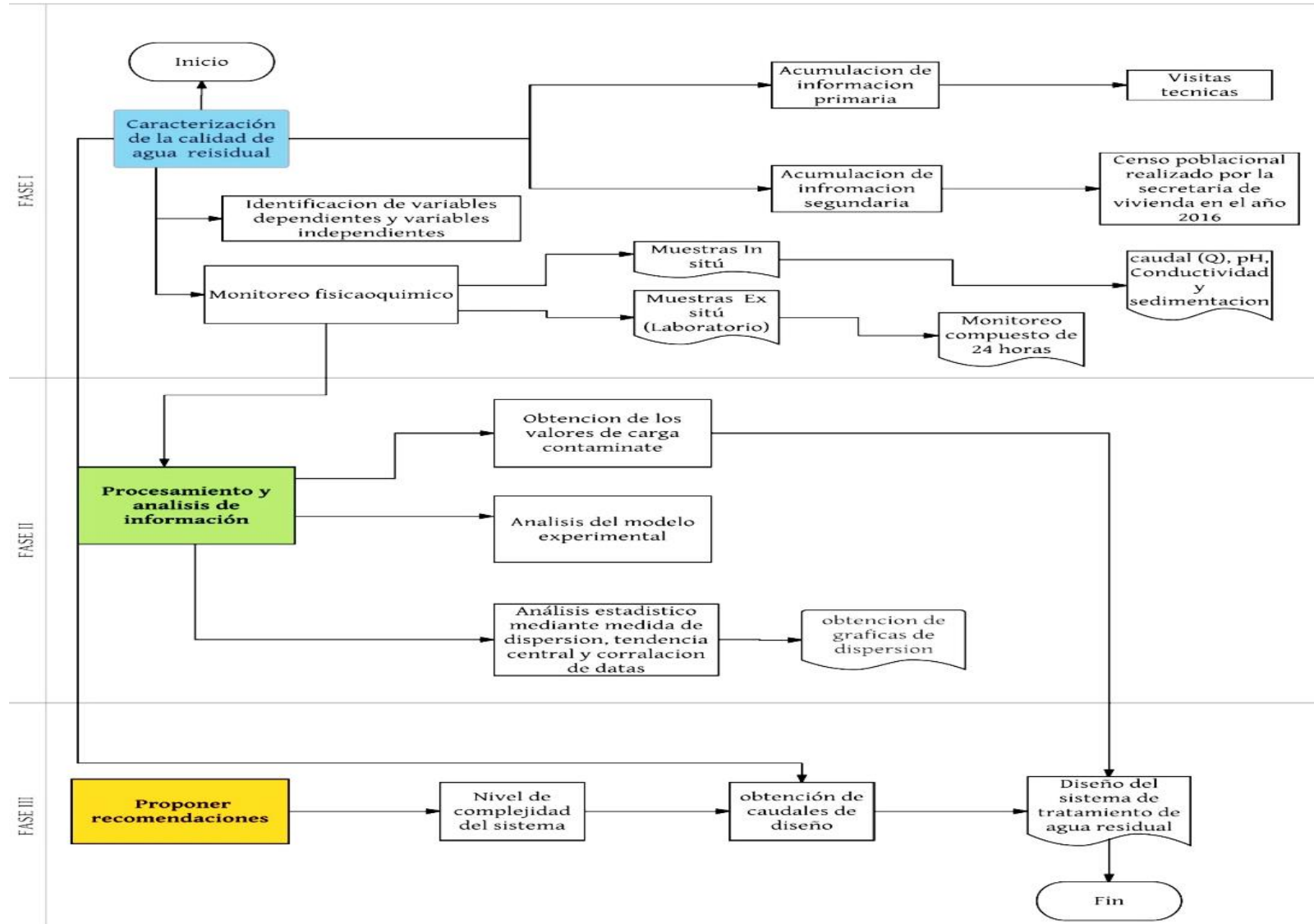
**Anexo 2. Tabla de parámetros de medición, equipos de medición y método de análisis**

Tipo de muestra	Parámetro	Unidad	Frecuencia de muestreo	Método In situ y Laboratorio	Periodo Climático
<i>In situ</i>	Temperatura del agua	°C	12 muestras compuestas de 12 días, 6 días periodo seco y 6 días periodo lluvia entre los meses (febrero, marzo, abril y mayo)	Multiparametrico	Sequía y lluvias
	pH	Unidad de pH			
	Conductividad	µS/cm			
	Caudal	l/s			
Laboratorio	Sólidos Sedimentables	ml/L	12 muestras compuestas de 12 días, 6 días periodo seco y 6 días periodo lluvia entre los meses (febrero, marzo, abril y mayo)	Alturas y Angulo de la tubería	Seca y húmeda
	DBO	mg/L O <sub>2</sub>		Cono Imhoff	
	DQO	mg/L O <sub>2</sub>		Incubación - Electrodo	
	Aceites y grasas	mg / L		Reflujo cerrado, Volumétrico	
	Coliformes totales			El método soxhlet	
	Coliformes fecales	NMP		Sustrato Definido	
	Nitratos	mgN-NO <sub>3</sub> / L		Sustrato Definido	
	Nitritos	mgN-NO <sub>2</sub> / L		Espectrofotometría UV	
	Nitrógeno amoniac	mg N-NH <sub>3</sub> / L		Colorimétrico	
	Nitrógeno	mg N/ L		Destilación Volumétrico	
	Fósforo total	MgP/L		Semi-micro Kjeldhal-Volumetría	
	Sólidos suspendidos totales	mg/L		Colorimétrico	

**Anexo 3. Tabla de tecnologías de tratamiento de agua residual doméstica consideradas en la formulación de los esquemas**

CATEGORÍA	TECNOLOGÍA
<b>Unidades complementarias</b>	Rejillas gruesas, rejillas finas, desarenador, tanque séptico, sedimentador primario y sedimentador secundario.
<b>Sistemas de tratamiento convencionales</b>	Lodos activados, lodos activados con oxidación total, launas aireadas, biodisco y filtró percolador.
<b>Sistemas de tratamiento naturales</b>	Lagunas anaerobias, lagunas con macrófitas, humedales de flujo libre y subterráneo
<b>Manejo de lodos</b>	Espesamiento por gravedad, digestión anaerobia convencional, lagunas de lodos

**Anexo 4. Diagrama metodológico y recorrido del agua por la tubería**



**Anexo 5. Fórmulas de cálculo para cada uno de los caudales**

$$Q = \frac{0,312 * D^{\frac{8}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

- $n = 0,009 \rightarrow$  *Coficiente de Manning*
- $S = 1\% \rightarrow 1,7\%$
- $\varnothing = 8'' \rightarrow 44,5 \text{ cm}$

$$Q_{\text{(Tubo Lleno)}} = \frac{0,312 * (44,5 \text{ cm})^{\frac{8}{3}} * (1,7\%)^{\frac{1}{2}}}{0,009}$$

$$Q = 2,48 \frac{m^3}{seg} \rightarrow \text{Caudal a Tubo lleno}$$

$$Q_{\text{(lamina de agua)}} = \frac{(10 \text{ cm} \div 44,5 \text{ cm}) * 100}{2,48} \times \frac{530}{100}$$

$$Q = 48 \frac{L}{seg}$$

Se repite con cada uno de los 24 valores de lámina de agua que se encontraron en cada monitoreo

**Ecuación de % de muestra utilizada en la muestra compuesta**

$$\text{Muestra Compuesta} = \frac{100\% \times \text{Caudal mL}}{1000 \text{ mL}}$$

**Anexo 6. Fórmulas para análisis de laboratorio**

**DBO<sub>5</sub> Formula de laboratorio:** 
$$DBO5 \left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(OD_{inicial} - OD_{final})}{Valicuota} \times V_{frasco}$$

**DQO Curva patrón:** 
$$Muestra DQO = (-214,4 * Absorbancia) - 33,26$$

**Grasas y aceites:** 
$$Grasas\ y\ aceites = \frac{(Peso\ Final - Peso\ Inicial)}{Volumen}$$

**Gasto per cápita:** 
$$Caudal_{per\ capita} = \frac{(Caudal_1 \times 86400)}{\frac{s}{Poblacion}}$$

**Anexo 7. Ecuaciones para el cálculo de lodos activados**

**Tiempo Medio De Retención Hidráulico:**  $\theta = \frac{v}{Q_{reactor}}$

**Carga Orgánica:**  $k = Q \times S_0$

**Carga Orgánica Volumétrica:**  $COV = \frac{Q \times S_0}{v}$

**Tiempo Medio De Retención Celular:**  $\theta_c = \frac{VX}{(Q_w X_r) + (Q_e X_e)}$

**Concentración En El Efluente:**  $S = \frac{K_s (1 + K_d \theta_c)}{\theta_c (Y \times K - K_d) - 1}$

**Tasa De Utilización De Sustrato Específica:**  $U = \frac{S_0 - S}{\theta X} = \frac{Q(S_0 - S)}{VX}$

**Relación Alimento/Microorganismos:**  $\frac{A}{M} = \frac{Q S_0}{V X} = \frac{S_0}{\theta X}$

$Q, Q_w, Q_e$  = caudal de alimentación, de purga y de agua clarificada

$X, X_r, X_e$  = Sólidos Suspendidos Volátiles (microorganismos) en el reactor, en la recirculación y en el agua clarificada

$V$  = volumen de reactor

$S_0, S$  = DBO5 a la entrada y a la salida

$$\frac{S_t}{S_0} = e^{\frac{-K_D}{Q^2 L}}$$

**Anexo 8. Tabla de pruebas matemáticas de funcionamiento de lodos activados**

<b>Qp (L/S)</b>	<b>DBO IN (mg/L)</b>	<b>DBO OUT (mg/L)</b>	<b>Biomasa (x mg/l)</b>	<b>Edad lodos (días)</b>	<b>Xr (mg/L)</b>	<b>Y ( DBO )</b>	<b>Kd</b>	<b>A/M (g DBO/gSSVLM)</b>	<b>tiempo de retención hidráulica (TRH)</b>	<b>% recirculación</b>	<b>Carga volumétrica (gr/m3*día)</b>
50	90	20	3000	15	9000	0,6	0,06	0,1	5	33,33	300,31
50	90	20	3500	15	9000	0,6	0,06	0,1	4	38,89	419,80
50	90	20	4000	15	9000	0,6	0,06	0,1	3	44,44	565,61
50	90	20	4500	15	9000	0,6	0,06	0,2	2	50,00	742,61
50	90	20	5000	15	9000	0,6	0,06	0,2	1	55,56	958,09
50	90	20	5500	15	9000	0,6	0,06	0,2	1	61,11	1223,54
50	90	20	6000	15	9000	0,6	0,06	0,3	1	66,67	1558,06
50	90	20	4500	10	9000	0,6	0,06	0,2	1	50,00	938,03
50	90	20	4500	5	9000	0,6	0,06	0,3	1	50,00	1524,30
50	90	20	4500	15	10000	0,6	0,06	0,1	2	45,00	646,45
50	90	20	4500	15	11000	0,6	0,06	0,1	3	40,91	573,90
50	90	20	4500	15	12000	0,6	0,06	0,1	3	37,50	516,81
50	90	20	6000	5	9000	0,6	0,06	0,5	0	66,67	3198,12
50	90	20	5500	10	11000	0,6	0,06	0,2	1	50,00	1146,48
50	90	20	4000	10	12000	0,6	0,06	0,1	3	33,33	505,79

**Anexo 9. Ecuaciones generales utilizadas en la ejecución del trabajo****Carga Contaminante:**

$$Carga_{Kg/Día\ DBO_5} = Caudal \frac{l}{día} \times DBO_5 \frac{kg}{l}$$

**Nitrógeno Presente En Las Muestras:**

$$Nitrogeno = \frac{N_{amoniacal} \times 14}{1000} \times 24,4$$

**Fósforo Presente En Las Muestras:**

$$Fosforo = \frac{Fosforo_{total} \times 30}{1000} \times 24,4$$

*Recorrido del agua utilizada en el sector suroccidental del municipio*

Barrio o empresa	Tiempo en minutos
Minuto de dios	78
Libertador	64
Simón Bolívar	58
Antonio Nariño	45
Villas del sol	40
Nuevo horizonte	34
Villa santos	25
Balcones de cofrem	22
Lanzallamas	47
Fabrica El Alcaraván	35
Fábrica de Pan de arroz	21

NOTA: Fuente Los autores 2018.