

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL SISTEMA
DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE
GUAYABETAL

MARIA CAMILA MARTÍNEZ MUÑOZ – CÓDIGO: 505896

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2021

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL SISTEMA
DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE
GUAYABETAL

MARIA CAMILA MARTÍNEZ MUÑOZ – CÓDIGO: 505896

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Civil

Director de tesis
Ingeniero FELIPE SANTAMARIA ALZATE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2021



Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá (junio, 2021)

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo primeramente a Dios por darme la oportunidad de estudiar, de haber llegado hasta aquí y poder cumplir una meta.

A mis papás y mi hermano que han hecho un gran esfuerzo para que siguiera estudiando y por el apoyo incondicional de salir adelante. Ellos que son mi motor y que fueron un factor principal en mi formación académica.

AGRADECIMIENTOS

Especialmente le agradezco a mi tutor el Ingeniero Felipe Santamaría Álzate. Por orientarme en la investigación y elaboración de este proyecto, quien estuvo siempre de igual manera guiándome para llevar a cabo este proyecto de grado. A mis compañeros que me apoyaron a sacar adelante esta investigación.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. GENERALIDADES	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	15
1.3 ESTADO DEL ARTE.....	19
1.4 OBJETIVOS.....	25
1.4.1 Objetivo general.....	25
1.4.2 Objetivos específicos	25
1.5 MARCO DE REFERENCIA.....	25
1.5.1 Marco teórico.	25
1.5.2 Marco conceptual.....	33
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES	35
2. METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL PROYECTO	36
2.1 FASE 1: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN BASE	37
2.2 FASE 2: TRABAJO DE CAMPO	40
2.2.1 Áreas aferentes.....	44
2.2.2 Cálculo de caudales.....	44
2.3 FASE 3: MODELACIÓN.....	51
2.4 FASE 4: ANALISIS DE RESULTADOS	57
2.4.1 Escenario 1.....	57
2.4.2 Escenario 2.....	57
2.4.3 Escenario 3.....	58
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
3.1 Conclusiones	59
3.2 Recomendaciones	61
4. BIBLIOGRAFÍA.....	62
5. ANEXOS.....	67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Zonas de autodepuración.	16
Tabla 2. Determinación de ICA e IRCA.	21
Tabla 3. Principales productos de descomposición de la materia orgánica.	26
Tabla 4. Valores típicos de k, K y L.....	30
Tabla 5. Datos de tubería.	38
Tabla 6. Consumo neto por habitante según msnm.	45
Tabla 7. Coeficiente de retorno.....	46
Tabla 8. Caudal de conexiones erradas.	48
Tabla 9. Caudal de infiltración.....	48
Tabla 10. Datos obtenidos.	49
Tabla 11. Cálculo de caudales a tubo lleno.	50
Tabla 12. Cálculo de mezcla.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio.	14
Figura 2. Sistema aerobio.	27
Figura 3. Hidrología del municipio de Guayabetal.	32
Figura 4. Metodología de investigación.	36
Figura 5. Tramo largo de tubería de alcantarillado.	37
Figura 6. Estudios de censos Guayabetal.	39
Figura 7. Característica socioeconómica con relación de calidad de agua.	39
Figura 8. Característica socioeconómica – actividades económicas.	39
Figura 9. Ubicación de los puntos de muestreo.	40
Figura 10. Recipientes para las muestras.	41
Figura 11. Cava de icopor.	42
Figura 12. Toma de muestras.	42
Figura 13. Muestra recuperada.	43
Figura 14. Transporte de muestras.	43
Figura 15. Áreas aferentes.	44
Figura 16. Esquema del sistema.	52
Figura 17. Modelación escenario 1.	54
Figura 18. Modelación escenario 2.	55
Figura 19. Modelación escenario 3.	56
Figura 20. Perfil de modelación.	58

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Registro fotográfico de la toma de muestras.....	67
Anexo B. Cotización de servicios de laboratorio – Analquim Ltda.	70
Anexo C. Resultados de laboratorio para el parámetro de DBO.....	71

RESUMEN

Los sistemas de alcantarillado de aguas residuales son todos los sistemas encargados de recoger y transportar las aguas que ya se les ha practicado algún uso ya sea doméstico, industrial y/o comercial.

Con el paso del tiempo y en muchos lugares de Colombia en donde no se puede llevar a cabo un tratamiento adecuado de estas aguas por falta de presupuesto, estas terminan siendo vertidas a los ríos con un alto grado de contaminación y que después son más difíciles de tratar para ser reutilizadas.

La autodepuración es un conjunto de fenómenos físicos, biológicos y químicos, que naturalmente van eliminando materias extrañas que contaminan el agua. Principalmente estas se conocen como bacterias aerobias que utilizan el oxígeno disuelto en el agua para depurar la materia orgánica.

Por lo anterior, en este trabajo se implementa el análisis del sistema de alcantarillado del municipio de Guayabetal – Cundinamarca y el análisis de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) para diferentes puntos del alcantarillado que fueron determinados por medio de laboratorio.

Los resultados obtenidos permiten determinar si es posible la autodepuración del agua mientras es transportada por el sistema de alcantarillado hasta llegar al vertimiento final.

Palabras claves: Autodepuración, alcantarillado, DBO, agua residual.

ABSTRACT

Wastewater sewerage systems are all systems in charge of collecting and transporting water that has already been used in some way, be it domestic, industrial and / or commercial.

With the passage of time and in many places in Colombia where an adequate treatment of these waters cannot be carried out due to lack of budget, they end up being discharged into rivers with a high degree of pollution and which are later more difficult to treat to be reused.

Self-purification is a set of physical, biological and chemical phenomena that naturally eliminate foreign matter that pollutes the water. These are mainly known as aerobic bacteria that use dissolved oxygen in water to purify organic matter.

Therefore, this work implements the analysis of the sewerage system of the municipality of Guayabetal - Cundinamarca and the analysis of Biological Oxygen Demand (BOD) for different sewage points that were determined by means of a laboratory.

The results allow to determine if the self-purification of the water is possible while it is transported through the sewer system until it reaches the final discharge.

Keywords: Self-purification, sewerage, BOD, wastewater.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, se ha empezado a tener más conciencia sobre la necesidad de cuidar y realizar manejos integrales para nuestros recursos hídricos contando de igual manera con información actualizada sobre la calidad de agua y condiciones que se tengan para realizar pruebas in situ o de laboratorio, ya que es muy importante para la población, dejando claro que el agua es uno de los recursos fundamentales para la vida y para el desarrollo económico.

El sistema de autodepuración se define como el proceso de recuperación del agua después de ser empleada para diferentes usos. Este proceso es natural en los ríos, pero últimamente este proceso es lento ya que por la carga contaminante tan alta que llegan a estos, el proceso de autodepuración no logra acabar con toda la materia orgánica que es depositada en los diferentes ríos. Es por esto que se han llevado a cabo diferentes estudios y proyectos en donde se propone hacer un balance de oxígeno disuelto en un tramo del río, basándose en la cuantificación del oxígeno, la carga por medio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la evolución que presenta a través del cauce del río.

Para el Municipio de Guayabetal ubicado en el departamento de Cundinamarca, se pretende realizar un estudio de autodepuración de materia orgánica de origen doméstico, pero directamente en el sistema de alcantarillado mediante simulaciones hidráulicas para dar una posible solución a la problemática ambiental que ocasiona el inadecuado manejo de las aguas residuales y avanzar un poco más en el tema de saneamiento y tratamiento de este tipo de aguas de origen doméstico, generada por los habitantes pertenecientes al área de prestación del servicio de alcantarillado.

1. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio se encuentra ubicado sobre la cordillera oriental a 1.500 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 22° C. y con una extensión de 22.173,742 Ha. Está ubicado en la región oriental del departamento de Cundinamarca, sobre la vía que conduce de Bogotá a Villavicencio, y forma parte de los diez (10) municipios que conforman esta región, cuya cabecera regional es Cáqueza.

Además de ser un municipio pequeño se debe tener en cuenta que el agua es el recurso fundamental para la vida y las diferentes actividades que se llevan a cabo diariamente, es por eso que se debe llevar a cabo un buen tratamiento de las aguas residuales de origen domestico asegurando la salud de cada uno de los habitantes. En la siguiente ilustración se muestra la ubicación del Municipio de Guayabetal dentro del Departamento de Cundinamarca.

Figura 1. Localización del municipio.



Fuente: Sacado de: http://Guayabetal#/media/Archivo:Colombia_-_Cundinamarca_-_Guayabetal.svg

La autodepuración consiste en una serie de mecanismos de sedimentación de las partículas presentes en ellas y de procesos químicos y biológicos que producen la degradación de la materia orgánica existente para su conversión en materia inorgánica.

Es por esto que para esta investigación se desea conocer actualmente como se encuentra el alcantarillado en el municipio y como se puede asegurar en un futuro el saneamiento del mismo mediante tecnologías nuevas. Con ello se decide formular una estimación para responder a la siguiente pregunta: ¿Cuál es el comportamiento y grado de autodepuración de un sistema de alcantarillado de aguas residuales para la remoción de materia orgánica de origen doméstico?

1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Desde hace mucho tiempo se ha venido evidenciando que el agua se encuentra cada vez más contaminada y muchas veces la adecuación que se le brinda para darle uso nuevamente no es la más correcta. Al pasar de los años se han creado más normativas para el uso y tratamiento del agua, sistemas integrados de saneamiento, existen nuevas herramientas tecnológicas ya sea por medio de laboratorios o programas en los que se puedan realizar modelaciones de acuerdo al estudio realizado para la calidad del agua.

Se conoce que para los ríos la capacidad de autodepuración se tiene en cuenta tres aspectos importantes: el primero es el caudal que permite diluir el vertido y facilitar su degradación, el segundo es la turbulencia del agua por el cual aporta oxígeno disuelto al medio favoreciendo la actividad de todos los microorganismos allí presentes, y por último la naturaleza presente, el material y tamaño de vertido a lo largo del tiempo (Structuralia, 2017).

También cuenta con cuatro zonas de mecanismos naturales de autodepuración según su contaminación: 1) Zona de degradación: esta zona se identifica ya que aguas abajo se encontrará el vertido, desprende además la descomposición bacteriana de algunos peces y algas y el aspecto del agua suele ser demasiado sucia y con malos olores. 2) Zona de descomposición activa: aquí el agua también se encuentra bastante sucia, se identifica un color oscuro casi negro, malos olores, espumas y que existe una descomposición provocando el desprendimiento de gases. 3) Zona de recuperación: debido a la presencia de oxígeno disuelto que ayuda a degradar los compuestos contaminantes, se recupera parte de la vegetación y el agua se clarifica un poco. 4) Zona de aguas limpias: en esta zona se presentan características similares a la zona de degradación en donde aún no estaba el vertido, siendo así más normal la vida animal y vegetal.

Tabla 1. Zonas de autodepuración.

Zona	Principales Características
Degradación	<ul style="list-style-type: none"> • Es el punto de vertido de las aguas residuales • Zona de degradación y descomposición activa. • Presencia de signos visibles de contaminación. • Baja o nula concentración de oxígeno disuelto. (Por debajo del 45% de la saturación) • Presenta turbidez y sólidos en suspensión. • Numero de bacterias (1-10 millones/litro) • Presencia de sustancias orgánicas como Hidratos de carbono o Aminoácidos • Presencia de sustancias por degradación de proteínas y reducción de sulfatos (CO₂ y SH₂) • Depósitos de lodos (Fe₂S)
Descomposición	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidación de la materia orgánica • Aumento gradual del oxígeno disuelto • Numero de bacterias (10⁵ – 10⁶/litro) • Presencia de peces. • Variación en el oxígeno disuelto durante el día, debido a la influencia de la luz solar sobre los organismos. • Depósitos de lodos (Debido a la degradación aerobia)
Recuperación	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso de mineralización • Numero de bacterias (10⁴ – 10⁵/litro) • Presencia de carbonatos y nitratos • Elevada concentración de Oxígeno Disuelto • Presencia de microalgas y microflora
Agua limpia	<ul style="list-style-type: none"> • La contaminación ha desaparecido • Recuperación de calidad óptima de agua • Completa mineralización (a través de las actividades metabólicas) • Numero de bacterias (10² – 10³/litro) • El oxígeno disuelto se aproxima a la saturación. • Presencia de especies vegetales y animales.

Fuente: Modificado de: (Molero Fernández, Sáez Mercader y Soler Andrés 2011):

<https://redined.mecd.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/72890/00820073007882.pdf?sequence=1>.

Otros estudios como el de (Vizcaíno Mendoza y Fuentes Molina, 2016) analizaron la degradación de la materia orgánica de efluentes residuales de origen doméstico para el municipio de San Juan del Cesar, La Guajira, por medio de biofiltros. Se llevo a cabo por medio de tres tratamientos, en el primero se emplearon biofiltros aerobios para flujo vertical, para el segundo tratamiento se llevó a cabo un sistema

horizontal agregando plantas flotantes. Para el desarrollo del tercer tratamiento decidieron combinar los tratamientos anteriores para verificar el comportamiento de ambos.

El biofiltro se compone por capas empezando por un lecho de soporte, grava gruesa, grava fina, y en la parte superior colocaron aserrín mezclada con lombrices conocidas como *E. foetida* y por esa parte superior fue ingresado el efluente. Las plantas flotantes fueron recolectadas en el río Ranchería y adaptadas para el agua residual.

Con este estudio lograron observar que para el primer y tercer tratamiento el oxígeno disuelto incremento mas de un 150% mientras que para el tratamiento dos fue mucho menor este incremento. Con relación a la DBO se presento una disminución de alrededor del 83%. Y se llego a la conclusión que las especies adaptadas a este experimento tienen gran capacidad de reducir materia orgánica en efluentes residuales domésticos.

Por otra parte, autores correspondientes (Carmen Figueroa, 2007), analizaron las variaciones o disminuciones de la demanda química de oxígeno (DQO) en canales abiertos variando las pendientes, con la cual se generaría la oxigenación en las aguas residuales que previamente habían sido tratadas y transportadas por medio de estos canales. Y que por lo tanto a estas aguas que fluyen por este canal abierto se les tendrá en cuenta los niveles de materia orgánica que presentan al inicio y al final del transporte del canal, y lograr con el estudio un instrumento de investigación de la contaminación provocada por las aguas residuales y de igual manera favorecer la autodepuración de los causes naturales y preservar el medio ambiente.

Con esta investigación lograron concluir que para los canales que presentan caídas hidráulicas fueron los que presentaron mejores reducciones de DQO ayudando a oxidar la materia orgánica presente, gracias a la implementación del oxígeno natural.

Varios estudios se han realizado para analizar la autodepuración del agua, uno de ellos fue para el río Magdalena en la ciudad de México (Montes, Navarro, Domínguez, Jiménez, 2013), que es la principal fuente hídrica de abastecimiento. Se evidenció que el agua antes de llegar a zona urbana la calidad es muy buena pero cuando ya se encuentra en la zona urbana esta calidad decrece por la descarga de agua residual domestica al cauce de este río. Para este estudio se recopilaron datos y se realizaron muestreos tanto en época de lluvia como seca, y analizaron parámetros como el oxígeno disuelto, DBO, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal y se tuvo en cuenta la temperatura del agua y aire, el caudal y velocidad del río.

Mediante la cual se obtuvo que para la época seca se puede esperar mayor degradación de materia orgánica; pero en época de lluvia, la capacidad que hay para la recuperación de oxígeno disuelto se favorece por la precipitación. Además de los análisis para la remoción de oxígeno disuelto y/o degradación de materia orgánica que fue medida por medio de la DBO presentan evidencias y resultados

negativos si se incrementa la temperatura en la concentración de oxígeno disuelto. Sugiriendo finalmente un seguimiento de las variables contaminantes del río, caudal y la variación climática para prever una buena calidad de agua y así mismo garantizar el suministro de esta.

En esta investigación se pretende determinar la capacidad de autodepuración en el sistema de alcantarillado de aguas residuales para el municipio de Guayabetal respecto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Se hace necesario realizar estudios visitas a campo y estudios de laboratorios que permitan obtener datos para mantener controles de manejo y alternativas del manejo del agua, por eso la importancia de realizar una investigación que permita determinar la capacidad de autodepuración plantada en este trabajo.

1.3 ESTADO DEL ARTE

Al pasar de los años la evolución en nuestra sociedad ha sido enorme, tanto que se han llevado a cabo nuevas actividades con respecto a la utilización de agua y vertimiento de estas.

Entonces, si nos enfocamos un poco en las aguas residuales domesticas se conoce como las aguas que provienen de viviendas y servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

Las características de las aguas domesticas se pueden apartar de la siguiente manera:

- Aguas de cocina: Contienen sólidos, materia orgánica, grasas y sales.
- Aguas de lavadoras: Contienen nutrientes y detergentes.
- Aguas de baño: Contienen shampoo, geles y jabones.
- Aguas negras: Son las que provienen de los inodoros y estas contienen sólidos, materia orgánica, nutrientes, sales y organismos patógenos.

Cada agua residual debe ser evaluada por medio de ensayos de laboratorio por lo que cada agua residual contiene características únicas y particulares.

Toda fuente hídrica es capaz de asimilar un contaminante, pero si este ya se encuentra en exceso es cuando se conoce que la fuente hídrica presenta contaminación. Si se estudia un poco sobre los contaminantes de las aguas residuales se puede tener en cuenta algunos factores:

- Arenas y gravas.
- Objetos gruesos como, por ejemplo: maderas, trapos, plásticos, entre otros.
- Grasas y aceites que pueden permanecer en la superficie del agua.
- Sólidos en suspensión que alrededor del 75% se evidencia que es materia orgánica.
- Nutrientes como el fosforo y nitrógeno.
- Compuestos orgánicos e inorgánicos que se pueden oxidar fácilmente.
- Patógenos.
- Contaminantes emergentes, que son aquellos contaminantes de naturaleza química como lo pueden ser: pesticidas, productos farmacéuticos, implementos de aseo personal, entre otros).

Ahora bien, si se tiene en cuenta la autodepuración de este tipo de aguas requiere también de un proceso de tratamiento por medio de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR), ya que como estas aguas salen bastante contaminadas el agua por sí sola no logra degradar toda la materia que se encuentra allí, con este

tipo de tratamientos se quiere lograr que el agua cuente con las características físicas, químicas y biológicas y que logren ser lo más parecidas a su estado natural o que pueda recuperarse por medio de la autodepuración natural de las aguas.

Es de gran importancia tener en cuenta los factores que sirven para mantener o tratar el agua para lograr una buena calidad de esta. Uno de estos como se ha venido mencionando es el oxígeno disuelto que es fundamental para sistemas acuáticos y que se requiere para determinar los parámetros de la DBO y la DQO que son empleados para determinar la calidad del agua y/o la carga contaminante de los vertimientos. La DBO y la DQO ambos son empleados de forma indirecta pero la diferencia entre los dos es que la DBO emplea microorganismos para la degradación de los compuestos y la DQO emplea oxidantes en medios ácidos en lugar de microorganismos.

Y una de las cosas más importantes es asegurar la calidad del agua, que esta sea buena para su consumo y por lo tanto evitar enfermedades de origen hídrico. Por medio del decreto 1575 de 2007 “Sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano”, se mencionan diferentes criterios de cómo proteger y controlar la calidad del agua mencionando los diferentes responsables de mantener esta calidad.

En la resolución 2115 de 2007, se mencionan las características y todo el sistema de control y vigilancia para la calidad del agua. Se define los diferentes tipos de análisis físicos, químicos, microbiológicos, básicos, complementarios, características químicas, microbiológicas, pH, índice de riesgo de la calidad de agua (IRCA) y su clasificación de riesgo.

Algunos estudios realizados teniendo en cuenta el índice de calidad de agua (ICA) y el índice de riesgo de calidad del agua (IRCA), fueron con aportes y brechas mostradas a continuación.

Tabla 2. Determinación de ICA e IRCA.

	Referencia	Aportes	Brechas
1	(Contreras, 2013) Contreras, M. Y. (2013). Acceso al agua para consumo humano en Colombia <i>Disponible en:</i> http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41929178007 (pp. 124–148).	Para tener un control de calidad de agua, se realizan estudios a nivel nacional en donde se le indica a cada municipio o región el cálculo adecuado del IRCA, esto con base de conocer si existe un grado de riesgo de enfermedades relacionadas con el incumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas. Este reporte se debe remitir al Subsistema de Vigilancia de la Calidad del Agua del Instituto Nacional de Salud y así las alcaldías deben asegurar que le estén brindando a la comunidad una buena provisión de servicios públicos domiciliarios.	Los estudios futuros para la calidad de agua a nivel nacional deben hacer valer los derechos humanos mencionados en la constitución política sin ningún tipo de discriminación, puesto que los municipios más pobres tienen menor acceso a agua potable. Y se recomienda hacer estudios que propongan índices para medir los tres componentes fundamentales del derecho del agua: acceso, disponibilidad permanente, y buena calidad.
2	Córdoba (Magdalena, Colombia), usando el ICA-NSF. <i>Intropica</i> , 13(2), 101. https://doi.org/10.21676/23897864.2510	Se evaluó la calidad del agua en la parte baja del río Córdoba que es una fuente hídrica en el departamento del Magdalena debido a que sus aguas son utilizadas para la agricultura, la pesca, el consumo de los habitantes de algunos municipios. Se integro el índice de calidad de agua ICA en donde se evidencio que en los periodos lluviosos reflejo una mejor calidad debido a que las precipitaciones actúan como diluyentes de la contaminación. Y en los periodos de sequía al reducir el caudal la concentración de los contaminantes es mayor y refleja peores condiciones de calidad de agua. Sin embargo, al realizar la totalidad del estudio se pudo concluir que la calidad de agua para ambos periodos llego a ser regular en algunas zonas y otras se categorizo como buena.	Para estudios futuros se debe considerar la valoración integral de los cuerpos de agua, de tal manera que se incluyan otros índices de calidad fisicoquímica, como el índice de contaminación mineral, contaminación por sólidos suspendidos y contaminación trófica. Y con esto se puede conocer integralmente el estado de salud del ambiente y con ellos realizar las respectivas validaciones y ajustes de acuerdo a las condiciones locales y a los tipos de contaminantes que se encuentran en los sitios de interés.

Continuación de Tabla 2. Determinación de ICA e IRCA.

	Referencia	Aportes	Brechas
3	<p>Calidad del Agua del Río Bogotá Durante el Periodo 2008 – 2015 a Partir de Herramientas de Minería de Datos. Publicaciones e Investigación, 9, 37. https://doi.org/10.22490/25394088.1432</p>	<p>El estudio de la calidad de agua para el río Bogotá se presentan los resultados de años anteriores con las estaciones en donde se tomaron los datos, teniendo en cuenta que la primera estación de acuerdo a su ubicación geográfica fue tomada en un municipio de Villapinzón, en el páramo de Guacheneque, cuenca alta, y la última estación es la que desemboca en el río Magdalena en el municipio de Girardot, cuenca baja; en donde se evidencia que los índices calculados arrojan que gran parte del río y en la cuenca media y baja corresponde a una calidad de agua mala y en la cuenca alta corresponde a una calidad de agua regular y aceptable.</p>	<p>Se requiere de la ayuda de nuevas tecnologías y desarrollos informáticos para el tratamiento de toda la información disponible sobre el recurso hídrico, que requiera facilitar el análisis ICA en conjunto con las demás variables monitoreadas con el fin de establecer la existencia de los índices y todos los parámetros analizados y conocer su comportamiento.</p>
4	<p>Macías Laura Daniela (2017). Propuesta para evaluar la potencial inclusión del parámetro toxicidad en el índice IRCA, y su efecto sobre la evaluación de la calidad de agua potable para consumo humano en Colombia. Disponible en: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60821/LauraD.MaciasRodriguez.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y</p>	<p>Se realizaron varios estudios de calidad de agua en la sabana de Bogotá, en donde se lograron realizar dos bioensayos que mostraron ser una herramienta de gran ayuda para la evaluación de la calidad toxicológica de las muestras de agua. De esta forma y teniendo en cuenta el punto de vista toxicológico los resultados del estudio tanto afluente como efluente de la planta de potabilización mostró la presencia de compuestos no determinados cuyas características pueden constituir un riesgo potencial.</p>	<p>Para estudios futuros se quiere implementar una hipótesis donde la implementación del parámetro Toxicidad, por medio de bioensayos, se usen como indicadores de la presencia o no de sustancias adversas a la salud y a su vez sirvan como medida indirecta de otros parámetros como plaguicidas, pesticidas, fármacos entre otros que no se encuentran dentro de los índices del IRCA.</p>

Continuación de Tabla 2. Determinación de ICA e IRCA.

	Referencia	Aportes	Brechas
5	Caho-Rodríguez, C. A., & López-Barrera, E. A. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. <i>Producción + Limpia</i> , 12(2), 35–49. https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a3	Se realizó un estudio de índice de calidad de agua ICA para el humedal Torca - Guaymaral ubicado en la ciudad de Bogotá, en donde por parte de las entidades del estado se adoptaron dos métodos diferentes, el primero el IDEAM adoptó la UWQI (Universal Water Quality Index) que fue desarrollada y con el fin de determinar la calidad del agua para consumo humano, y por otra parte la Secretaría Distrital de Ambiente adoptó la metodología canadiense CWQI (Canadian Water Quality Index) con el fin de determinar la calidad de agua en las cuencas de los ríos y hallar las sustancias del agua como: oxígeno disuelto, pH, coliformes fecales, entre otros.	Para los estudios realizados en el futuro, es mejor llevar a cabo los índices de agua de calidad de agua por medio de cálculos en donde su ecuación sea con promedio armónico no ponderado, ya que estos son más sensibles a cambios en las variables individuales. Por lo que los mejores resultados fueron por el método adoptado por la secretaria Distrital de Ambiente, CWQI.
6	Ambientales, S., Cient, C., Econ, S. C., Ambiental, M., Curricular, P., Autor, A., Marcela, L., Borda, T., Julieta, M., Rodr, B., Mart, P., & Pinilla, M. (2016). Determinación De La Causa Principal Que Origina La Eda En El Municipio De Tabio, Cundinamarca. <i>Boletín Semillas Ambientales</i> , 10(1), 28–31.	El estudio llevado a cabo en el municipio de Tabio - Cundinamarca, fue hacer el estudio de IRCA para evaluar algunas causas de las enfermedades diarreicas agudas (EDA), a causa del consumo del agua y así dar solución a los problemas de la comunidad con las muestras tomadas en casas con tanques de reserva.	Para proyectos y análisis futuros se debe tener en cuenta el mantenimiento correcto de los tanques de reserva que van a suministrar agua a las viviendas para consumo, y el debido proceso de la potabilización de agua para evitar las enfermedades diarreicas agudas (EDAs).
7	Polo-Carrillo, E., Morales-Simancas, G., Cabarcas-Ariza, Y., & Valle Rodríguez, J. (2020). Analysis of the water quality risk index for human consumption in urban areas of the department of Bolivar. <i>IOP Conference Series: Materials Science and Engineering</i> , 844(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/844/1/012047	Se evidencian constantes investigaciones y estudios en las zonas más vulnerables, que requieren con urgencia un manejo de potabilización de agua, en donde se ha logrado la participación de algunas entidades públicas y lograr conocer puntualmente por qué se tiene mala calidad de agua.	En futuros estudios o proyectos, la mejora de resultados del estudio en este departamento del país, pueden ser el insumo y la herramienta para la adecuada toma de decisiones relacionadas con el diseño de políticas públicas que vayan directamente dirigidas a la prevención de enfermedades provocadas por el agua sin ningún tipo de excepción, y más en estas zonas en donde la población es de bajos recursos.

Continuación de Tabla 2. Determinación de ICA e IRCA.

	Referencia	Aportes	Brechas
8	<p>Pérez-Vidal, A., Torres-Lozada, P., & Escobar-Rivera, J. (2016). Hazard identification in watersheds based on water safety plan approach: Case study of Cali-Colombia. <i>Environmental Engineering and Management Journal</i>, 15(4), 861–872. https://doi.org/10.30638/eemj.2016.093</p>	<p>En este estudio las inspecciones ayudaron como instrumento para la acción orientada a análisis de riesgos en los sistemas de abastecimiento de agua, identificación de prácticas operativas inadecuadas y el seguimiento de la calidad de agua. Sobre este asunto dos enfoques pueden ser considerados: Cualitativos (observación, recopilación de datos, etc) y Cuantitativos (muestreo y seguimiento).</p>	<p>Para investigaciones futuras se deben fortalecer las estrategias de manejo del río Cauca, como participación activa y la colaboración de las instituciones regionales al cuidado de la cuenta para su funcionamiento como fuente principal de abastecimiento de agua.</p>
9	<p>Chaves-Fonnegra, A., Zea, S., & Gómez, M. L. (2007). Abundance of the excavating sponge <i>Cliona delitrix</i> in relation to sewage discharge at San Andrés Island, sw Caribbean, Colombia. <i>Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras</i>, 36(302), 63–78.</p>	<p>Se desarrollo una investigación en la Isla de San Andrés, en donde se encontró la abundancia de la esponja excavadora "<i>Cliona delitrix</i>" en fuentes de aguas residuales. Se encontró que en el moco de coral abundan las bacterias de coliformes que se pueden tomar como organismos indicadores para mejorar la abundancia de esta esponja y evitar gran presencia de organismos patógenos que puede ser causa de enfermedades en la Isla.</p>	<p>En los próximos proyectos, se debe tener en cuenta que en caso de tener presencia de esta esponja inmediatamente debemos saber que no debe reproducirse bajo condiciones normales como se estaba presentando en algunas zonas de la Isla, ya que en conjunto con otros organismos como el coliforme también puede servir como un organismo indicador y utilizarlos para mejorar la calidad de agua en este tipo de Islas.</p>
10	<p>Guzmán B, González M, Cuero M, Olivar J. (2019). Presence of pesticides, mercury and trihalomethanes in the water supply systems of Ibagué, Colombia: threats to human health. https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v15n2/1980-993X-ambiagua-15-02-e2477.pdf</p>	<p>El estudio realizado en Ibagué, se identificó la presencia de contaminantes como mercurio, pesticidas en el agua de abastecimiento de sistema urbano mostrando las debilidades del tratamiento del agua. Y aunque en este estudio solo se pudo evidenciar la mala calidad de agua que se proporciona a las viviendas, también se pone en riesgo la vida de las personas.</p>	<p>Es necesario fortalecer el seguimiento de las fuentes de agua y su tratamiento adecuado. Se debe fortalecer el análisis de estas sustancias químicas y la evaluación de los riesgos por parte de las autoridades sanitarias.</p>

Fuente: Propia.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general.

Analizar el comportamiento del sistema de alcantarillado del Municipio de Guayabetal Cundinamarca, como sistema de autodepuración y remoción de materia orgánica, mediante una simulación hidráulica en el software SWMM.

1.4.2 Objetivos específicos

- ✓ Conocer el estado y las condiciones actuales en que se encuentra el sistema de alcantarillado del Municipio de Guayabetal.
- ✓ Analizar los datos de población, cobertura de red de alcantarillado y caudales y de aguas residuales del Municipio de Guayabetal para las proyecciones de cargas contaminantes.
- ✓ Implementar el software SWMM para la autodepuración y remoción de materia orgánica.
- ✓ Determinar por medio de laboratorios la DBO en el sistema de Alcantarillado para la implementación de la modelación hidráulica.
- ✓ Presentar los resultados obtenidos en diferentes escenarios, que permitan identificar el mejor proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes del sistema de alcantarillado.

1.5 MARCO DE REFERENCIA

1.5.1 Marco teórico.

Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que contienen una gran cantidad de sustancias (químicas y biológicas), que son dañinas para el ser humano. Pueden tener uno o diversos orígenes, entre ellos están las de origen doméstico, industrial, pecuario, agrícola, recreativo, entre otras, las cuales determinan sus características que estas aguas puedan tener. Las aguas residuales presentan diferentes características fisicoquímicas y se deben tener en cuenta para poder realizar un buen manejo del agua para ser tratadas.

Los principales contaminantes en las aguas son los siguientes:

- Objetos gruesos: Plástico, madera, trapos, etc.
- Arenas y gravas.

- Grasas y aceites: Estos permanecen en la superficie del agua.
- Sólidos en suspensión: Aproximadamente el 75% son materia orgánica.
- Compuestos orgánicos e inorgánicos que se oxidan fácilmente.
- Nutrientes: Fosforo y nitrógeno.
- Patógenos.
- Contaminantes emergentes.

No existe una legislación específica de los parámetros se que deban estudiar en el agua residual y los límites que debe cumplir.

Materia orgánica

Esta materia orgánica son fracciones relevantes que se dan de los elementos contaminantes en las aguas residuales domésticas y municipales y se refleja como la causante del agotamiento de oxígeno de los cuerpos del agua. La materia orgánica está compuesta principalmente por CHONS (Carbono, Hidrogeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre) constituyendo las proteínas (restos de origen vegetal y animal), los carbohidratos (restos de origen vegetal), los aceites y grasas (residuos de cocina e industria) y los surfactantes (detergentes).

Tabla 3. Principales productos de descomposición de la materia orgánica.

Tipo de materia orgánica	Tipo de descomposición	
	Aeróbica	Anaeróbica
Nitrogenada	Nitratos (NO_3^-), anhídrido carbónico (CO_2), agua (H_2O), sulfatos (SO_4^-)	Mercaptanos, índoles, escatol, ácido sulfhídrico (H_2S), cadaverina y putrescina.
Carbonácea	Anhídrido carbónico (CO_2), agua (H_2O)	Anhídrido carbónico (CO_2), gas metano (CH_4), gas hidrógeno (H_2), ácidos, alcoholes y otros.

Fuente: Tomado de: PTAR UNIMINUTO

La materia orgánica además de consumir el oxígeno que se presenta en el agua, crea olores desagradables sobre todo en condiciones sépticas.

Se constituyen de proteínas entre 40 – 60%, carbohidratos entre 20 – 50%, y grasas y aceites entre 8 – 12%. Cuanta más cantidad de materia orgánica se encuentre

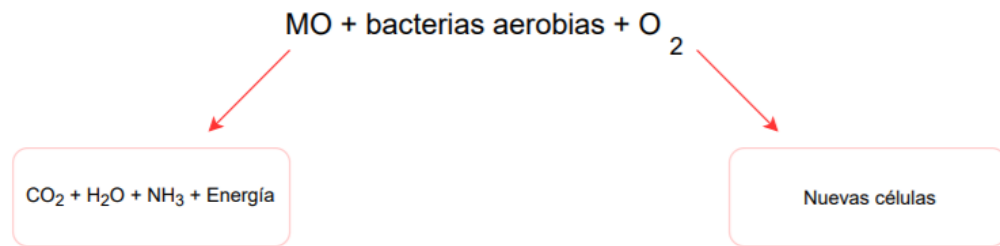
presente en el agua, mas oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla (degradarla), este proceso de descomposición varía según la temperatura, pero por lo general se realizan a 20°C.

Para remover la materia orgánica soluble presente en el agua residual, los microorganismos utilizan la materia orgánica y nutrientes (fosforo y nitrógeno) para producir nuevas células y energía.

Con la materia orgánica se genera una producción de energía, en donde un compuesto reducido actúa como donador de electrones (materia orgánica) mientras que el compuesto oxidado actúa como aceptor de electrones (oxígeno, nitratos, CO₂).

En un sistema aerobio el aceptor de electrones es el oxígeno y se tienen rendimientos energéticos elevados, por lo tanto, hay un alto crecimiento de bacterias aerobias.

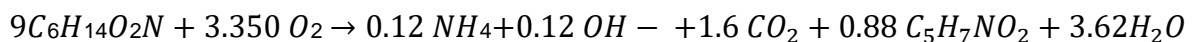
Figura 2. Sistema aerobio.



Fuente: Propia.

Las bacterias son las más importantes en este sistema porque son excelentes oxidadoras de la materia orgánica y crecen bien en las aguas residuales.

Oxidación de la materia orgánica: gracias a la respiración de las bacterias se genera a degradación de la DBO del agua residual hasta CO₂ y H₂O creando la producción de energía y células nuevas. Este proceso se observa en la siguiente ecuación, (GAMARRA, 2013).



Autodepuración de las aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas, contaminadas por los usos urbanos, rurales e industriales, son recogidas por las redes de alcantarillado y saneamiento y deben ser depuradas en las llamadas Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales

(EDAR). Estas instalaciones reproducen e intensifican de manera artificial y controlada, en poco terreno y breve tiempo, los mecanismos de autodepuración natural del río. Así el agua se devuelve al río en las mejores condiciones posibles.

Las aguas residuales domésticas incorporan restos de nuestras necesidades fisiológicas (heces y orina), de la preparación de alimentos (aceites, desperdicios...) y de los productos de limpieza e higiene (jabones, geles, shampoo, detergentes, limpiadores...). Además, pueden contener también todo aquello que una persona decida tirar por los desagües de casa. También incorporan con frecuencia las aguas de lluvia (pluviales), así como aguas residuales industriales ubicadas en el interior de pueblos y ciudades.

La velocidad de la capacidad de la autodepuración depende de:

- La profundidad de agua, ya que si se presenta mayor profundidad se presentará menor autodepuración debido a la escasez de oxígeno disuelto vertical.
- El movimiento del agua, a mayor velocidad se presentará mayor autodepuración ya que hay posibilidad de oxigenar la materia orgánica más rápidamente.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

En general las aguas siempre han sido susceptibles a la contaminación. Para el caso de los contaminantes que demandan oxígeno son los que afectan las corrientes de agua así mismo con las aguas que se encuentran estancadas.

La materia orgánica necesita de oxígeno para poder ser degradada, ya que el alto contenido de materia orgánica genera el crecimiento de hongos y bacterias. Cuando el oxígeno cumple la función de ir degradando la materia orgánica se puede encontrar la variación en la calidad de agua y variación de pH.

A finales del siglo XIX, se encontró la relación que existía entre el oxígeno disuelto (OD) y su grado de contaminación. (DUPRÉ).

Se le denomina demanda bioquímica de oxígeno (DBO), a la cantidad de oxígeno que necesitan los organismos para realizar la degradación de la materia orgánica de manera aerobia.

Se considera uno de los parámetros mas importantes para la medición de la contaminación de aguas residuales, y en casos el control de aguas potables.

La oxidación bioquímica es un proceso lento y puede tardar bastante en completarse, pero se consideran alrededor de 20 días para lograr una buena oxidación de materia orgánica entre el 95 al 99%, pero se ha demostrado que los 5 días se alcanza hasta el 70% de esta degradación por lo que los ensayos realizados se llevan a cabo en cinco días DBO₅.

La prueba de DBO₅ consiste en medir la concentración de oxígeno disuelto en la muestra de agua residual al principio de la muestra y al cabo de cinco días de incubación.

El modelo matemático para calcular la DBO fue propuesto por Streeter - Phelps en 1925 a partir de un estudio de proceso de oxidación, y se calculo de la siguiente manera.

$$DBO_5 = L_0 * e^{-k*t}$$

En donde:

L₀= es la DBO última de la corriente.

K= Coeficiente global de remoción de materia orgánica, días⁻¹.

T= tiempo en días del ensayo.

En los libros de calidad de agua y tratamiento de aguas residuales (Jairo Romero), también se expresa la DBO remanente para cualquier tiempo t, de la siguiente manera:

$$L_t = L * e^{-K*t} = L * 10^{-k*t}$$

Donde:

L_t = DBO remanente en el agua para un tiempo t, mg/L.

L = DBO₀ o DBO remanente en el agua para t=0, mg/L.

K = Constante de velocidad de reacción de la DBO, base natural, d⁻¹.

k= Constante de velocidad de reacción de la DBO, base decimal, d⁻¹.

Los valores típicos de K pueden variar entre 0.05 y 0.3 d⁻¹, en la siguiente tabla se incluyen los valores de K citados en la literatura (ROMERO ROJAS, 2000).

Tabla 4. Valores típicos de k, K y L

Tipo de agua residual	k, d ⁻¹	K, d ⁻¹	L, mg/L
Doméstica débil	0.152	0.35	150
Doméstica fuerte	0.168	0.39	250
Efluente primario	0.152	0.35	75-150
Efluente secundario	0.05-0.10	0.12-0.23	10-75

Fuente: Adaptado de, libro Tratamiento de aguas residuales – Jairo Alberto Romero.

Para determinar el valor de K a una temperatura diferente de 20°C, se utiliza la ecuación propuesta por Vant Hoff Arrhenius:

$$K_t = K_{20} * \theta^{T-20}$$

En donde:

K_t= Constante de reacción de la DBO para T°C.

K₂₀= Constante de la reacción de la DBO para 20°C.

Θ= 1.135 para T= 4-20°C.

1.056 para T= 20-30°C.

1.047 para T > 20°C.

Para una DBO_u, se tiene que el consumo de oxígeno es función del tiempo de reacción y del valor de K anteriormente mencionado.

Acueducto del municipio de Guayabetal

El acueducto municipal, casco urbano, toma el caudal para el abastecimiento de la vereda San Antonio, Quebrada Hoya Negra, para los sectores Entrerríos, Flandes, Centro y Cementerio.

- Para el sector de Buenos Aires se toma el servicio de la quebrada Tequendama y para el sector Barrio Nuevo se toma la quebrada Perdices, con una cobertura del 95%.

- El sistema principal está compuesto por una bocatoma lateral que mediante un dique capta el servicio el cual posteriormente pasa por un tanque desarenador. Desde ese sector hasta la planta de tratamiento son aproximadamente 2.5 Km de manguera revestida de 3”.
- El sistema de tratamiento está compuesto por una planta convencional compacta, con sistema de coagulación, sedimentación, filtración y desinfección con cloro, en una extensión de 0.5 Has, con encerramiento.
- Desde la planta viene una línea de conducción de 3” que surte el municipio.
- El caudal de diseño para la planta es de 13,2 lps.

El plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) define las condiciones actuales de la prestación del servicio de alcantarillado y disposición de las aguas residuales, definiendo zonas de expansión y perímetro sanitario, de acuerdo a lo existente en el Diseño y optimización de las redes de Alcantarillado sanitario y pluvial, el Esquema de Ordenamiento Territorial - EOT y la normatividad de objetivos de calidad establecida por la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía - CORPORINOQUIA.

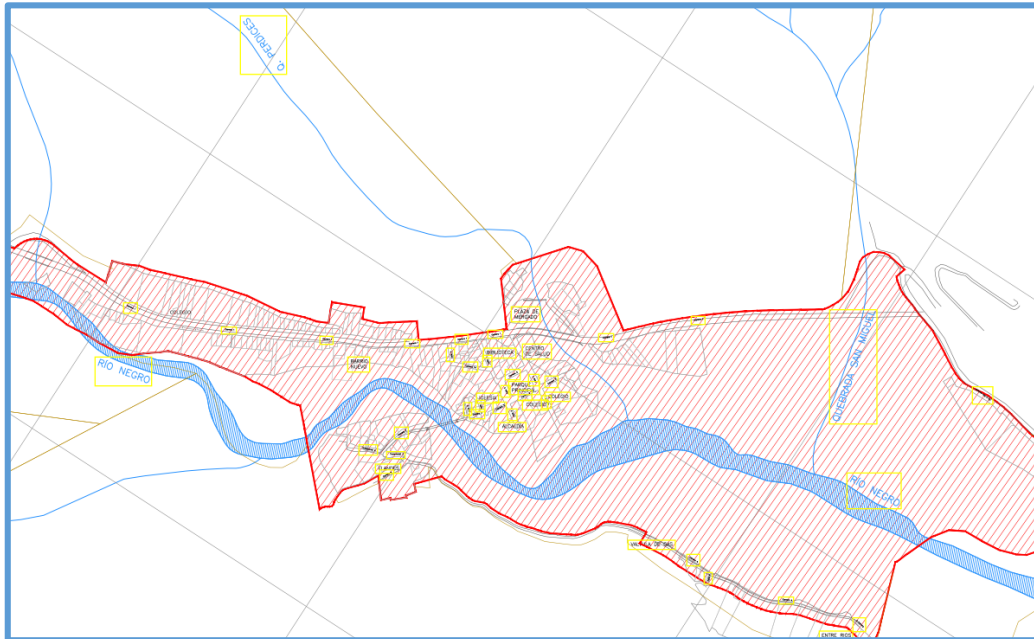
Aspectos Hidrológicos

Las fuentes hídricas con que cuenta el Municipio de Guayabetal son principalmente: El Río Negro, cuyo nacimiento está localizado en el páramo de Chingaza y recorre los Municipios de Fómeque, Ubaque, Cáqueza, Quetame, y Fosca, dentro de la Provincia de Oriente, que a la vez es afluente del río Guayuriba en el Departamento del Meta.

El Río Blanco es afluente del Río Negro. Estos dos ríos forman parte de la cuenca del Río Orinoco, ya que son potenciales abastecedores de agua, por los grandes paramos en que se encuentran sus nacimientos, además de constituirse como dos reservas ecológicas del departamento.

Adicionalmente se encuentran dos humedales de tierras altas que se comparten con el Municipio de Quetame, denominados la Laguna Verde y la Laguna el Contador.

Figura 3. Hidrología del municipio de Guayabetal.



Fuente: Tomado de: Esquema de Ordenamiento Territorial – EOT del Municipio de Guayabetal año 2000, Cundinamarca Adaptado por P&P Gestión Integral 2019.

Con esta investigación se pretende por medio de modelaciones hidráulicas y laboratorios analizar los factores y las cargas contaminantes del sistema de alcantarillado de este municipio ya que una de las principales problemáticas relacionadas con la contaminación del agua tiene que ver con el vertimiento incontrolable de aguas residuales a los ríos que principalmente son de origen doméstico, para ello se pretende determinar si es posible la autodepuración de la materia orgánica de origen doméstico mientras el agua es transportada por las tuberías de alcantarillado, de ser posible, se debe determinar cómo se puede implementar al sistema existente o analizar e identificar los cambios correspondientes para su debida adecuación.

También se debe especificar detalladamente si esta autodepuración se puede llevar a cabo en diferentes materiales de tubería o cuales en específico dependiendo el estado actual del sistema de alcantarillado, y como sería el funcionamiento y manejo adecuado para el funcionamiento de este y así aportar posibles soluciones para el mejoramiento de la calidad de agua en el Municipio de Guayabetal.

1.5.2 Marco conceptual.

- **Sistema de alcantarillado:** Puede contar con dos sistemas de alcantarillado, uno combinado y uno separado. El sistema combinado se encarga principalmente de recoger y conducir las aguas lluvias y las aguas residuales. El sistema separado está constituido por redes sanitarias y pluviales que transportan las aguas residuales y lluvias de manera independiente.¹
- **Autodepuración:** La autodepuración es el proceso de recuperación del curso del agua, después de haber estado contaminada por agentes orgánicos.²
- **Vertimiento:** Es cualquier descarga final al recurso hídrico, de un elemento, sustancia o compuesto que esté contenido en un líquido residual de cualquier origen.³
- **DBO (Demanda bioquímica de oxígeno):** Es el método que mide la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos al reproducirse en aguas residuales y alimentarse de la materia orgánica de la que se compone.⁴

¹ Buen uso del sistema de alcantarillado. (2015). Acueducto, agua y alcantarillado de Bogotá. <https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/buen-uso-del-sistema-de-alcantarillado/>

² Puig, A. (s. f.). Autodepuración. Mendoza Conicet. <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Autodep.htm>

³ Ministerio de Ambiente. (2003, octubre). DECRETO NUMERO 3100 DE 2003. https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Decreto_3100.pdf

⁴ Análisis de la DBO. (2015). Aguas residuales.info. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/analisis-comparativas-y-relaciones-entre-la-dbo-dqo-cot>.

- **DQO (Demanda química de oxígeno):** Es el método que reemplaza a los microorganismos y su uso del oxígeno con el uso de un reactivo oxidante fuerte.⁵
- **Contaminantes:** Son generalmente las sustancias químicas o de otra naturaleza en concentraciones superiores y constituyen a la principal causa de la degradación de la calidad del agua.⁶
- **Aguas residuales domesticas:** Aquellas procedentes de zonas de vivienda y de servicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.⁷
- **Oxígeno disuelto:** El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno gaseoso que esta disuelto en el agua. es fundamental para la vida de los peces, plantas, algas, y otros organismos. La concentración de este elemento es resultado del oxígeno que entra en el sistema y el que se consume por los organismos vivos.⁸
- **Calidad del agua:** Calidad del agua es un término usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua. La calidad del agua depende principalmente del uso que se le va a dar.⁹

⁵ Análisis de la DQO. (2015). Aguas residuales.info.

<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/analisis-comparativas-y-relaciones-entre-la-dbo-dqo-cot.> <

⁶ Contaminación. (2009). Departamento de asuntos económicos y sociales de Naciones Unidas.

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

⁷ B. (2012, 11 julio). Tipologías Aguas Residuales. Cyclus ID.

<https://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/>

⁸ U. (2012, junio). Oxígeno disuelto. Ecosistemas acuáticos.

<http://ecosistemasingambiental.blogspot.com/2012/06/oxigeno-disuelto.html>

⁹ La Ciencia del Agua para Escuelas: Calidad del Agua. (2017, agosto). La ciencia del agua.

<https://water.usgs.gov/gotita/waterquality.html>

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

El alcance de este proyecto está enfocado en realizar un análisis del sistema de alcantarillado del Municipio de Guayabetal, Cundinamarca. Seguido por la determinación de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), para conocer la posibilidad de implementar un sistema de autodepuración de materia orgánica de origen doméstico y brindar opciones prácticas para la potabilización del agua y generar una mejor calidad de agua para dicho municipio. Cabe aclarar que este proyecto es netamente investigativo, por lo tanto, se analizarán los datos obtenidos y se determinará la posibilidad de la autodepuración en el sistema de alcantarillado del municipio, y no se llevará a cabo ningún tipo de diseño.

Para llevar a cabo este estudio se tendrán en cuenta los análisis de población, estado y cobertura actual del sistema de alcantarillado, las cargas contaminantes provenientes de los hogares y vertimiento del mismo en la fuente hídrica a la cual se conecta. Todos estos factores serán de gran importancia para generar una simulación hidráulica por medio del programa de EPA SWMM, y corroborar la posible implementación de este sistema de autodepuración.

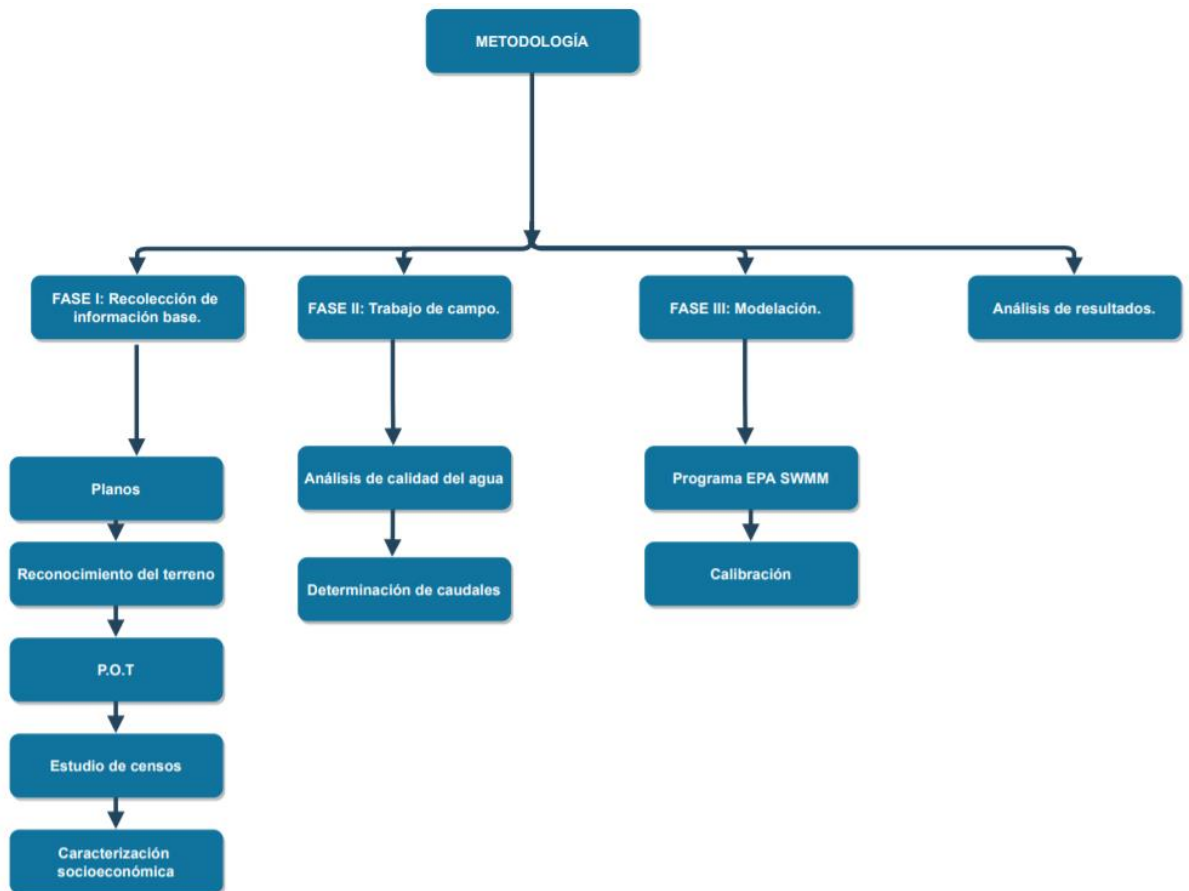
Se limitará en la aplicación y datos exactos de variables físicas y químicas, y en datos exactos de materiales en los que pueda ser posible la autodepuración de materia orgánica. Y el espacio óptimo para la realización de los ensayos de laboratorio ya que por la emergencia sanitaria que se presenta actualmente, las instalaciones de la universidad por el momento no tienen acceso y se deben realizar en un laboratorio particular.

También será limitado en el programa SWMM ya que por ser una investigación que se lleva a cabo por primera vez no se sabe con exactitud como van a interactuar los datos tomados en campo y obtenidos en laboratorio con el diseño que sea realizado en el programa.

2. METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo del proyecto se propuso la siguiente metodología conformada por cuatro fases, con el fin de alcanzar los objetivos planteados.

Figura 4. Metodología de investigación.



Fuente: Propia

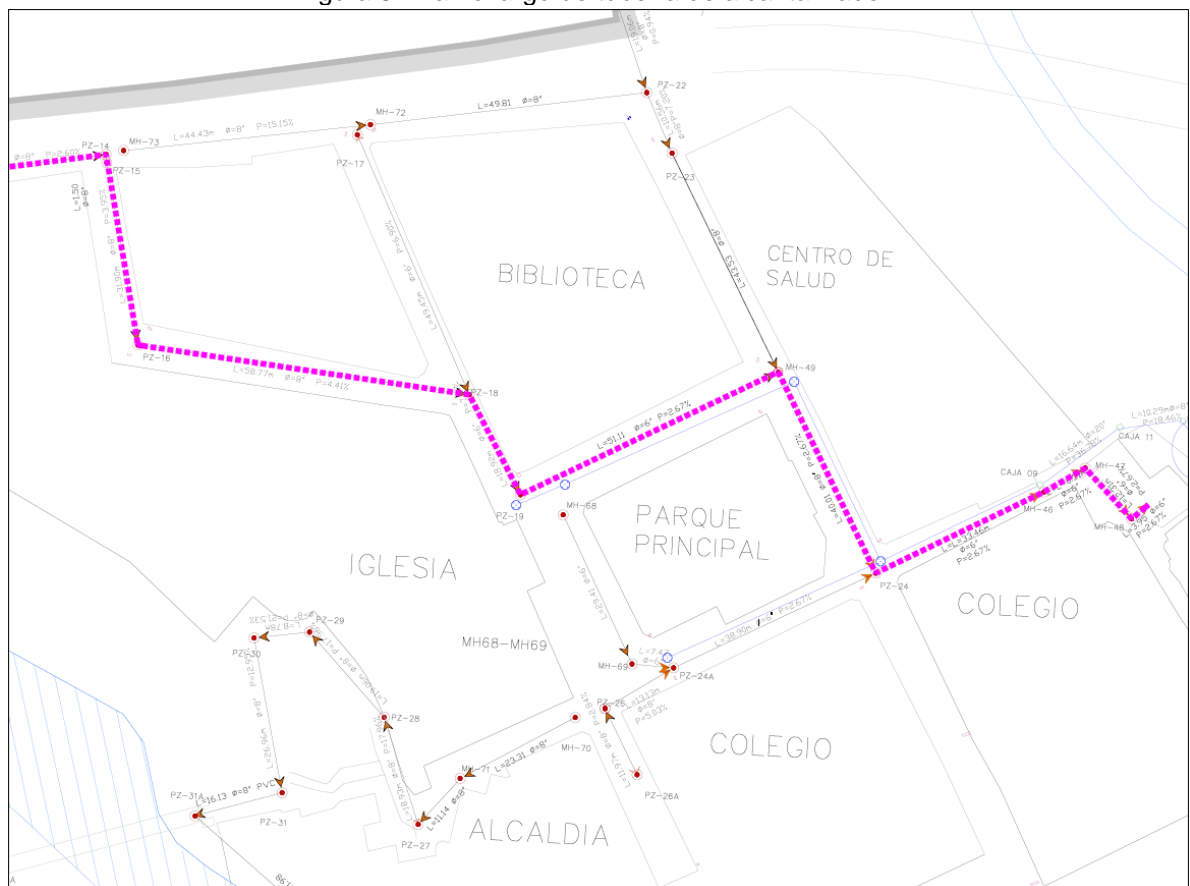
2.1 FASE 1: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN BASE

En esta primera fase se realizó una recopilación informativa y bibliográfica del sistema de alcantarillado del municipio de Guayabetal.

Se solicitaron los planos del sistema de alcantarillado, los cuales fueron suministrados en formatos AutoCAD por la secretaria de servicios públicos de la alcaldía municipal.

Con esta información se hizo un reconocimiento del terreno en general, conociendo el estado actual y datos del alcantarillado, para la selección del tramo de tubería mas largo que se estudia en el presente proyecto.

Figura 5. Tramo largo de tubería de alcantarillado.



Fuente: Sistema de alcantarillado Guayabetal, modificado.

El tramo más largo de tubería empieza su recorrido por la vía Bogotá – Villavicencio, ingresa al municipio recogiendo así las aguas de las casas, parte de la biblioteca, pasando por el parque principal del municipio, recogiendo además parte de las

descargas del centro de salud y el colegio, para finalizar su recorrido llegando al vertimiento central.

Los datos de la tubería seleccionada, se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Datos de tubería.



POZOS	LONGITUD	DIAMETRO	PENDIENTE	MATERIAL
PUNTO INICIAL - PZ 14	31,87 m	8 pul	2,60 %	PVC
PZ 14 - PZ 16	31,90 m	8 pul	3,95 %	PVC
PZ 16 - PZ 18	58,77 m	8 pul	4,41 %	PVC
PZ 18 - PZ 19	18,92 m	6 pul	7,14 %	PVC
PZ 19 - MH 49	51,11 m	6 pul	2,67 %	PVC
MH 49 - PZ 24	40,01 m	8 pul	2,67 %	PVC
PZ 24 - MH 46	33,46 m	6 pul	2,67 %	PVC
MH 46 - MH 47	8,51 m	6 pul	2,67 %	PVC
MH 47 - MH 48	12,31 m	6 pul	2,67 %	PVC
MH 48 - PUNTO VERTI.	3,95 m	6 pul	2,67 %	PVC

Fuente: Propia

Se obtuvo de igual manera un análisis de plan de ordenamiento territorial (POT), donde se evidencia los componentes rurales y urbanos. En el componente rural esta definida la estructura general del suelo urbano, en los aspectos de: Plan de servicios públicos domiciliarios y una expedición de norma urbanística para las acciones de parcelación y construcción. Además de contar con un apartado de alcantarillado en donde se mencionan los proyectos para el tratamiento de aguas residuales por medio de construcciones de plantas de tratamientos y proporcionar un manejo adecuado y control de las aguas vertidas, todo lo anterior con la coordinación de CORPORINOQUÍA.

Así mismo se tuvo en cuenta el estudio de censo del año 2018, ya que con esta población se realizaron los cálculos de caudales para el desarrollo de la investigación. Según el DANE para el año 2018 el censo de población que se presentó en Guayabetal fue un total de 5.809 como se muestra en la Figura 6, sin embargo, como el estudio solo se llevará a cabo en el área urbana; esta zona está conformada por 1500 habitantes.

Figura 6. Estudios de censos Guayabetal.

Censo Nacional de Población y Vivienda - CNPV 2018

Total de Unidades de Viviendas censadas según condición de ocupación, hogares y población censada a nivel nacional, departamental y municipal 2018

TOTAL 2018										
Concepto	Código DIVIPOLA	NOMBRE DEPARTAMENTO	NOMBRE MUNICIPIO	Unidades de Vivienda según Condición de Ocupación				Total		
				Total unidades de vivienda con personas ausentes	Total unidades de vivienda de uso temporal	Total unidades de vivienda desocupadas	Total unidades de vivienda con personas presentes	Unidades de vivienda	Hogares	Población
	25335	Cundinamarca	Guayabetal	0	195	262	1.884	2.341	1.986	5.809

Fuente: DANE: <https://www.dane.gov.co>

Según datos del Departamento Nacional de Planeación (DNP), en Guayabetal se presentaron características socioeconómicas en relación con el agua potable y saneamiento básico y para el año 2013 el riesgo de la calidad de agua estaba en un 4%, un promedio relativamente bueno con los años anteriores, esto se puede evidenciar en la siguiente figura.

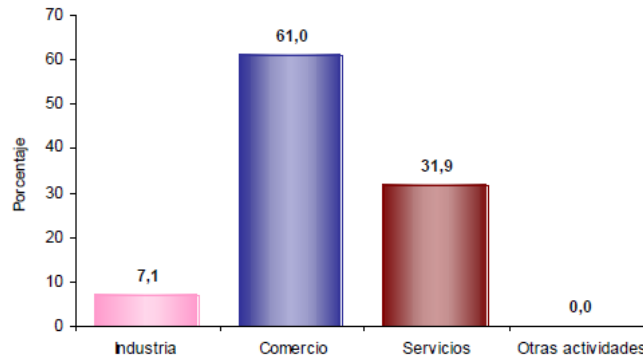
Figura 7. Característica socioeconómica con relación de calidad de agua.



Fuente: Departamento nacional de planeación: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/>

Adicionalmente se muestran en porcentajes las actividades económicas que sobresalen en el municipio.

Figura 8. Característica socioeconómica – actividades económicas.



Fuente: DANE, boletín perfil Guayabetal.

En Guayabetal como se evidencia en la Figura 8, predominan las actividades comerciales, a diferencia de las industriales que es mucho menor por ser un municipio pequeño.

2.2 FASE 2: TRABAJO DE CAMPO

La segunda fase con la información recolectada anteriormente, se verifica donde se pueden ubicar los puntos de muestreo para toma de DBO, para llevar a cabo el trabajo en campo y así poder determinar las características de la calidad de agua en el alcantarillado y con los datos obtenidos ingresarlos en un sistema de simulación como el EPA SWMM.

Para realizar el muestreo se deben determinar por lo menos dos puntos del tramo más largo de la tubería en donde serán tomados los datos que para este caso se escogieron tres pozos a lo largo del tramo para determinar la DBO₅. De acuerdo a la resolución 0330 de 2017 – Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), el muestreo se puede llevar a cabo por medio de muestras instantáneas o simples que se basan principalmente en medir oxígeno disuelto, cloro residual, temperatura, pH, alcalinidad, acidez, coliformes, grasas y aceites.

Ubicación de los puntos de muestreo:

Figura 9. Ubicación de los puntos de muestreo.



Fuente: Google Earth.

Los puntos escogidos como se muestra en la figura anterior, se ubicaron de la siguiente manera, iniciando del tramo, en la mitad del tramo y un pozo antes de la descarga final. Es fundamental hacer la toma de muestras en hora pico donde se presenten mayores descargas para tener mayor caudal de las aguas residuales. Es por esto que estas muestras se llevaron a cabo al mediodía, entre 12 y 1 pm.

Se escogieron de cierta forma que se pueda observar cómo se comporta la DBO mientras en agua es transportada por las tuberías.

Luego en campo, para la toma de muestras se llevan a cabo los protocolos mencionados en la norma NTC 5667-6 y las recomendaciones dadas por el laboratorio.

De acuerdo con la norma, para el parámetro de estudio Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se utilizaron recipientes de plástico de dos litros para cada muestra marcados respectivamente con el nombre de pozo, la hora en la que se realizó el muestreo, el tipo de muestra, fecha de la toma de muestra, y el parámetro a estudiar.

Figura 10. Recipientes para las muestras.



Fuente: Propia.

Para el transporte de estas, es necesario tenerlas refrigeradas para no alterar los componentes del agua y que el valor tomado en el laboratorio no tenga mayor variación respecto al agua del pozo. Por esto después de haber realizado la toma de muestras se procede a llenar una cava de icopor de hielo y allí mantener las muestras mientras son trasladadas al laboratorio.

Figura 11. Cava de icopor.



Fuente: Propia.

Se realiza un registro fotográfico de cada toma de muestra de agua residual en donde se puede evidenciar la ubicación del pozo, coordenadas, nombre de la muestra, cantidad de muestra tomada, la condición inicial de la tapa del pozo (antes de la muestra), ejecución de muestreo, muestra recuperada, y la condición final de la tapa del pozo, estos registros se evidencian en el anexo A.

A continuación, se exponen en la figura 12, como fue el proceso de toma de muestra.

Figura 12. Toma de muestras.



Fuente: Propia.

Figura 13. Muestra recuperada.



Fuente: Propia.

Figura 14. Transporte de muestras.



Fuente: Propia.

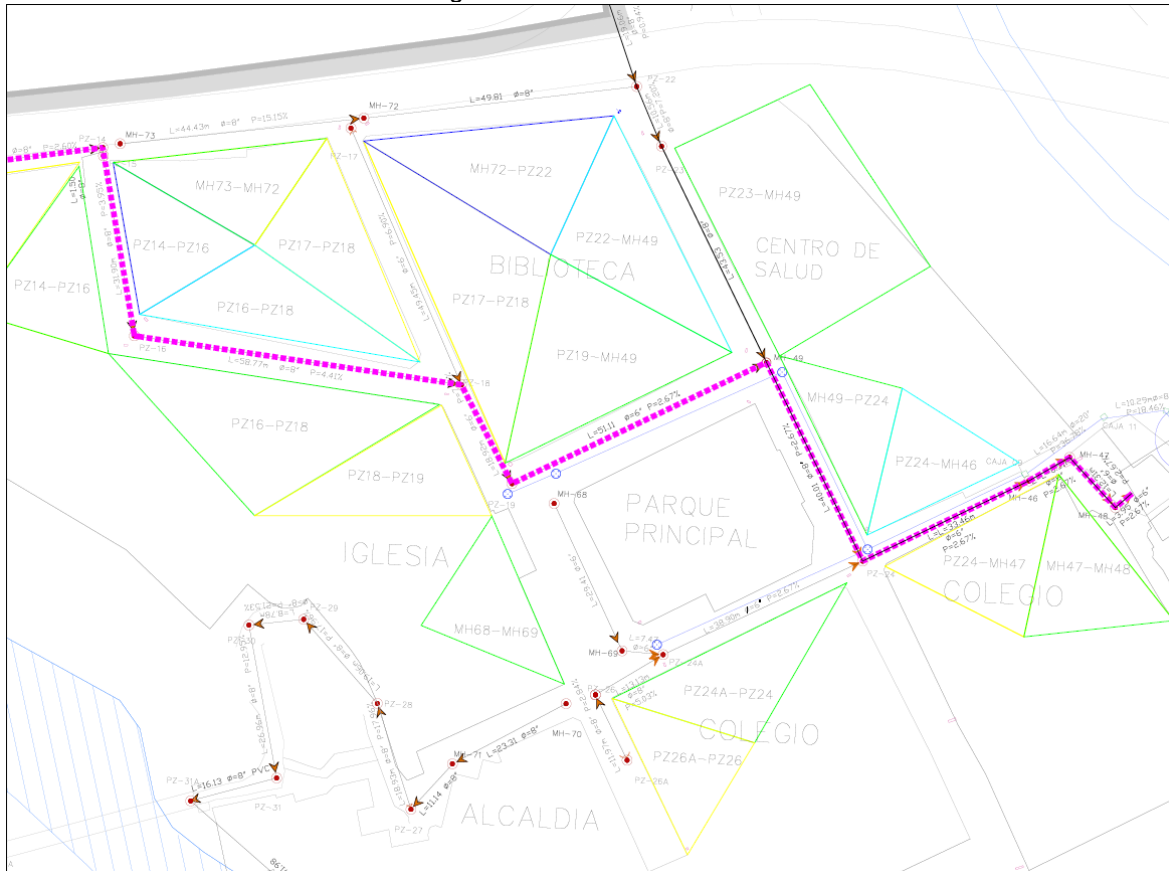
Seguido de esto se llevan las muestras tomadas en campo al laboratorio para la determinación de la DBO, que mide de forma indirecta la cantidad de materia orgánica contenida en una muestra de agua. Esto se determina por el consumo de oxígeno de los microorganismos al degradar compuestos biodegradables. La temperatura para realizar esta prueba es 20°C. Para que finalice la oxidación biológica se consideran alrededor de 20 días, aunque a los 5 días se logra aproximadamente hasta un 70% de la materia orgánica (DBO₅).

Mientras las muestras son analizadas en el laboratorio, se procede a realizar los cálculos de caudales con la información recolectada.

2.2.1 Áreas aferentes.

Se seleccionan las superficies que van a drenar hacia el tramo anteriormente seleccionado, estas áreas se determinaron con los planos de AutoCAD.

Figura 15. Áreas aferentes.



Fuente: Sistema de alcantarillado Guayabeta, modificado.

Se obtienen las áreas del plano en metros cuadrados (m^2) y se van sumando de pozo a pozo según el recorrido de estudio, hasta llegar al punto de vertido y obtener el área total, al tener las áreas totales son tomadas en hectáreas (Ha) para el cálculo de caudal doméstico.

2.2.2 Cálculo de caudales.

Se hallarán los caudales para dos escenarios a estudiar. En el primer escenario se calcularán los caudales con los datos reales de la tubería, y para el segundo

escenario se hallarán caudales que representes caudales a tubo lleno, esto con el fin de analizar el comportamiento de autodepuración en distintos escenarios.

Caudales con condiciones actuales del sistema de alcantarillado:

Para el cálculo del caudal doméstico, como se mencionó anteriormente es necesario tener las áreas en hectáreas (Ha) para comenzar con los cálculos como se muestran a continuación:

El caudal domestico es calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_{dom} = \frac{\text{Consumo neto} * Cr * A_T * \rho}{86400}$$

En donde:

- Consumo neto:

Este consumo neto se toma de acuerdo a la altura sobre el nivel de mar de la zona de estudio como lo menciona la resolución 0330 de 2017.

Tabla 6. Consumo neto por habitante según msnm.

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: Tomado de: Resolución 0330 de 2017.

Para el municipio de Guayabetal se tiene una altura de 1.500 m.s.n.m y por lo tanto según la resolución 0330 se determina que se tiene un consumo neto de 130 L/Hab/día, y se determina el nivel de complejidad del sistema en el que se encuentra el municipio según el Ras 2000, es de complejidad media.

- Cr: Coeficiente de retorno:

Se conoce que el coeficiente de retorno es dado por medio de un porcentaje entre el 65% y el 85% del agua potable que se vuelve agua residual.

Este coeficiente según el Ras 2000 es determinado por el nivel de complejidad del sistema.

Tabla 7. Coeficiente de retorno.

Nivel de Complejidad del sistema	Coeficiente de Retorno
Bajo y Medio	0.7 – 0.8
Medio alto y Alto	0.8 – 0.85

Fuente: Tomado de: RAS 2000.

Como anteriormente se determinó que el nivel de complejidad del sistema es medio, se toma como coeficiente de retorno el 0.8 del agua potable que se vuelve agua residual.

- Área total:

El área total que se toma, es la misma área aferente que se calculó anteriormente en hectáreas (Ha) para cada pozo hasta completar el recorrido.

- Densidad de población (ρ):

La densidad de población es una medida de distribución que se toma como el número de personas en una unidad de superficie y será expresada Hab/Ha, y se determina con la siguiente ecuación.

$$\text{Densidad de población } (\rho) = \frac{\text{Población}}{\text{Área del municipio}}$$

La población se toma según el DANE, que como anteriormente ya se mencionó el municipio de Guayabetal cuenta con aproximadamente 1.500 habitantes en la zona urbana del municipio.

El área del municipio se tomó de los planos obtenidos en la alcaldía, que determino una extensión total de 50.37 Ha.

Para este proyecto se omitieron los caudales industriales, institucionales y comerciales y solo se tuvo en cuenta el caudal doméstico ya que al ser un municipio pequeño no genera caudales en gran cantidad y las instalaciones como la alcaldía o el colegio no son instalaciones de gran tamaño.

Luego de haber calculado el caudal doméstico de pozo a pozo, se procede a calcular el caudal total incluyendo el factor de mayoración, el caudal de conexiones erradas y el caudal de infiltración, como se evidencia en la siguiente ecuación:

$$Q_{total} = Q_{dom} * F + Q_{conexiones\ erradas} + Q_{infiltración}$$

En donde:

- F: Factor de mayoración.

El factor de mayoración para estimar el caudal total, con base en el caudal doméstico, tiene en cuenta las variaciones en el consumo de agua por la población. Según el Ras 2000 es necesario estimarlo en base en relaciones aproximadas como las de Harmon y Babbit.

Para el proyecto se determinó este factor por el método de Babbit de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$F = \frac{5}{población^{0.2}}$$

Al calcular el factor de mayoración se obtiene un resultado de 1.16, pero se tomó 1.40 ya que lo estipulado en el Ras 2000 menciona que en general el valor de F debe ser mayor o igual a 1.4.

- Caudal de conexiones erradas:

En este caudal de conexiones erradas, se consideran los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado residual, provenientes de malas conexiones de bajantes, tejados, patios, entre otros. Estos aportes son función de la efectividad que llevan a cabo las medidas de control sobre la calidad de conexiones domiciliarias y de la disponibilidad de los sistemas de recolección y evacuación de aguas pluviales.

El Ras 2000 aporta una tabla de valores guía de los aportes de las conexiones erradas según el nivel de complejidad.

Tabla 8. Caudal de conexiones erradas.

Nivel de Complejidad del sistema	Aporte (l / s*ha)
Bajo y Medio	0.2
Medio alto y Alto	0.1

Fuente: Tomado de: RAS 2000.

Para el sistema de complejidad medio que se está manejando, el aporte para el caudal de conexiones erradas será de 0.2 L/s*Ha.

- Caudal de infiltración:

Se deben tener en cuenta que es inevitable la infiltración de las aguas subsuperficiales al sistema de alcantarillado residual ya sea por fisuras en los colectores, juntas mal hechas entre los colectores y pozos de inspección y demás estructuras. Por esto la Ras 2000 hace un aporte a estos caudales de acuerdo al nivel de complejidad como se evidencia en la Tabla.

Tabla 9. Caudal de infiltración.

Nivel de Complejidad del sistema	Infiltración alta (L / s*ha)	Infiltración media (L / s*ha)	Infiltración baja (L / s*ha)
Bajo y Medio	0,15 – 0,4	0,1 – 0,3	0,05 – 0,2
Medio alto y Alto	0,15 – 0,4	0,1 – 0,3	0,05 – 0,2

Fuente: Tomado de: RAS 2000.

Teniendo en cuenta las condiciones del municipio y que se encuentra en un nivel de complejidad medio, se toma un caudal de infiltración de 0.2 L/s*Ha.

Con la información anterior, se obtiene la siguiente información para el estudio del municipio de Guayabetal.

Tabla 10. Datos obtenidos.

DATOS		
Población	1500 hab.	
Extensión total	503720,36 m ²	50,37 ha
Coefficiente de retorno	80%	0,80
Consumo neto	130 L/Hab/día	
Densidad de población	29,78 Hab/día	
Factor de mayoración	1,16	1,40 min, según RAS
Caudal conexiones erradas	0,20 L/s	
Caudal infiltración	0,20 L/s	

Pozos	Áreas (m ²)	Áreas (m ²)	Áreas (ha)	Q domestico (L/s)	Q domestico (L/s)	Q total (L/s)
PZ0-PZ14	513,258	513,258	0,051	0,002	0,002	0,023
PZ14-PZ16	709,279	1222,537	0,122	0,004	0,006	0,055
PZ16-PZ18	1167,959	2390,496	0,239	0,009	0,015	0,108
PZ18-PZ19	1156,079	3546,575	0,355	0,013	0,028	0,160
PZ19-MH49	694,275	4240,850	0,424	0,015	0,043	0,191
MH49-PZ24	2918,487	7159,337	0,716	0,026	0,068	0,322
PZ24-MH46	1488,281	8647,618	0,865	0,031	0,099	0,389
MH47-MH48	390,790	9038,408	0,904	0,032	0,132	0,407
TOTAL		36759,079	3,676	0,132	0,393	1,655

Fuente: Propia.

En la Tabla 10, se muestran los resultados finales de caudales del tramo seleccionado.

Caudales a tubo lleno:

Se debe tener en cuenta que, para el caudal a tubo lleno, los valores límites para la velocidad son: velocidad mínima a tubo lleno es de 0.6 m/s y velocidad máxima de 6 m/s para la tubería en PVC.

Para llevar a cabo los cálculos del caudal a tubo lleno se tuvo en cuenta la siguiente ecuación:

$$Q_o = \frac{Am * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

En donde:

- Área mojada (Am):

$$Am = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

- Radio hidráulico (Rh):

$$Rh = \left(\frac{\phi}{4}\right)^{\frac{2}{3}}$$

- Pendiente (S): La pendiente se tienen de los planos obtenidos del municipio.
- Coeficiente de rugosidad (n): El coeficiente de rugosidad para la tubería en PVC, es de 0.009.

Los resultados de los caudales a tubo lleno se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Cálculo de caudales a tubo lleno.

POZOS	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	AREA MOJADA (Am)	RADIO HIDRAULICO (Rh)	CAUDAL A TUBO LLENO (Qo)	CAUDAL A TUBO LLENO (Qo)	CAUDAL A TUBO LLENO (Qo)
PUNTO INICIAL - PZ 14	0,009	0,032 m	0,137 m	0,080 m3/s	0,080 m3/s	79,694 l/s
PZ 14 - PZ 16	0,009	0,032 m	0,137 m	0,098 m3/s	0,178 m3/s	98,228 l/s
PZ 16 - PZ 18	0,009	0,032 m	0,137 m	0,104 m3/s	0,282 m3/s	103,790 l/s
PZ 18 - PZ 19	0,009	0,018 m	0,113 m	0,061 m3/s	0,343 m3/s	61,322 l/s
PZ 19 - MH 49	0,009	0,018 m	0,113 m	0,037 m3/s	0,381 m3/s	37,499 l/s
MH 49 - PZ 24	0,009	0,032 m	0,137 m	0,081 m3/s	0,461 m3/s	80,759 l/s
PZ 24 - MH 46	0,009	0,018 m	0,113 m	0,037 m3/s	0,499 m3/s	37,499 l/s
MH 46 - MH 47	0,009	0,018 m	0,113 m	0,037 m3/s	0,536 m3/s	37,499 l/s
MH 47 - MH 48	0,009	0,018 m	0,113 m	0,037 m3/s	0,574 m3/s	37,499 l/s
MH 48 - PUNTO VERTI.	0,009	0,018 m	0,113 m	0,037 m3/s	0,611 m3/s	37,499 l/s
					TOTAL	611,290 l/s

Fuente: Propia.

2.3 FASE 3: MODELACIÓN

La realización de la modelación comienza con la determinación del coeficiente de degradación global de materia orgánica (K_d) y los datos de DBO tomadas en terreno en los pozos del segmento de alcantarillado seleccionado, como se muestra en el Anexo C.

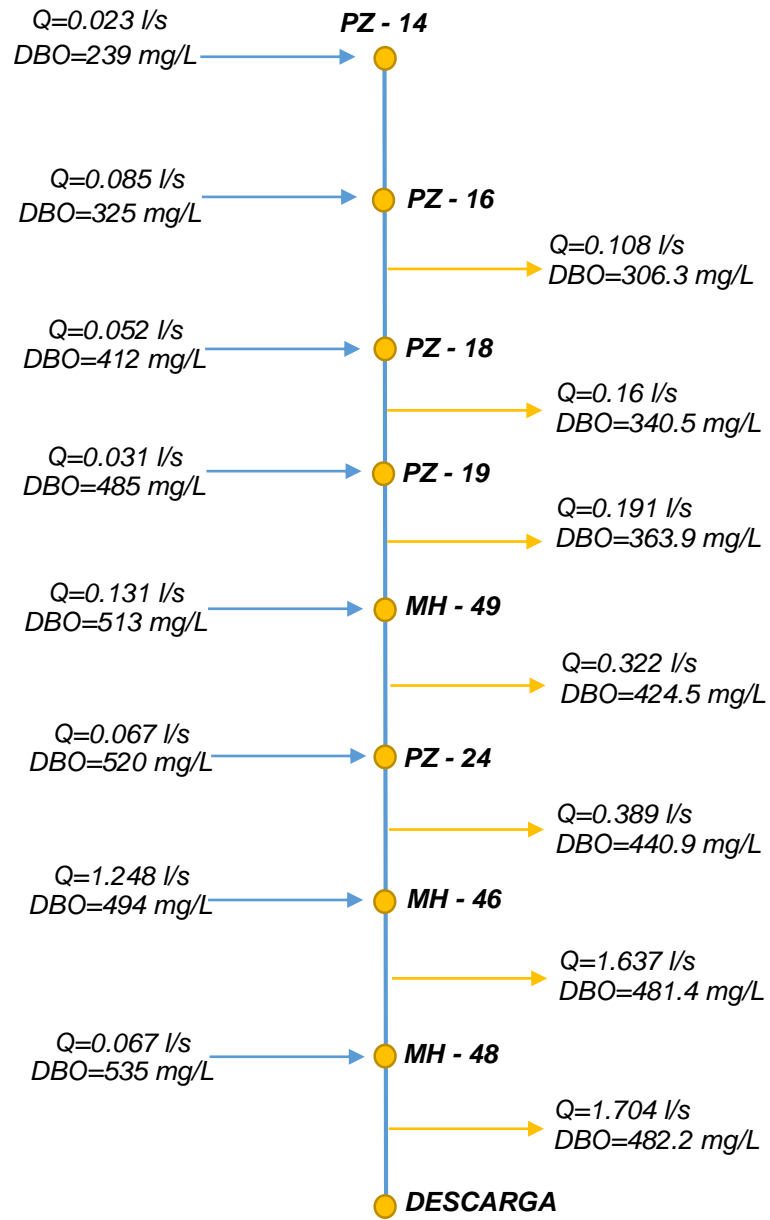
Así mismo la determinación de las características hidráulicas del flujo por las tuberías con sus diámetros, pendientes y rugosidad; PVC que es de 0.009.

Cabe aclarar que el software EPA-SWMM no es un programa de modelación de calidad del agua, sino que está basado en el estudio del fenómeno lluvia escorrentía y es comúnmente empleado para modelar drenaje urbano, con un componente basado en estudio hidrológicos e hidráulicos. Por tal motivo, la calibración del programa se enfoca únicamente al comportamiento de mezcla y degradación de componentes contaminantes de arrastre en sistemas de evacuación de aguas.

Es por ello que se determina el coeficiente de degradación global, según los datos de muestreo de DBO, como insumo de la característica de degradación de la materia orgánica. Para el ajuste se realizan los respectivos balances de masa en los nodos (pozos de inspección) para determinar según los aportes que llegan a cada uno de ellos el comportamiento de la DBO. Es importante aclarar que, para este proyecto, no se elabora un perfil de oxígeno disuelto, ya que es evidente que el tiempo de retención hidráulica en el sistema de alcantarillado es demasiado corto, y así mismo es de esperar que la atmosfera dentro de las tuberías, estén enriquecidas con metano, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono, dificultando la penetración del oxígeno en la masa de agua.

A continuación, se presenta un resumen de los datos y cálculos de balance de masa en los tramos seleccionados.

Figura 16. Esquema del sistema.



Fuente: Propia.

Tabla 12. Cálculo de mezcla.

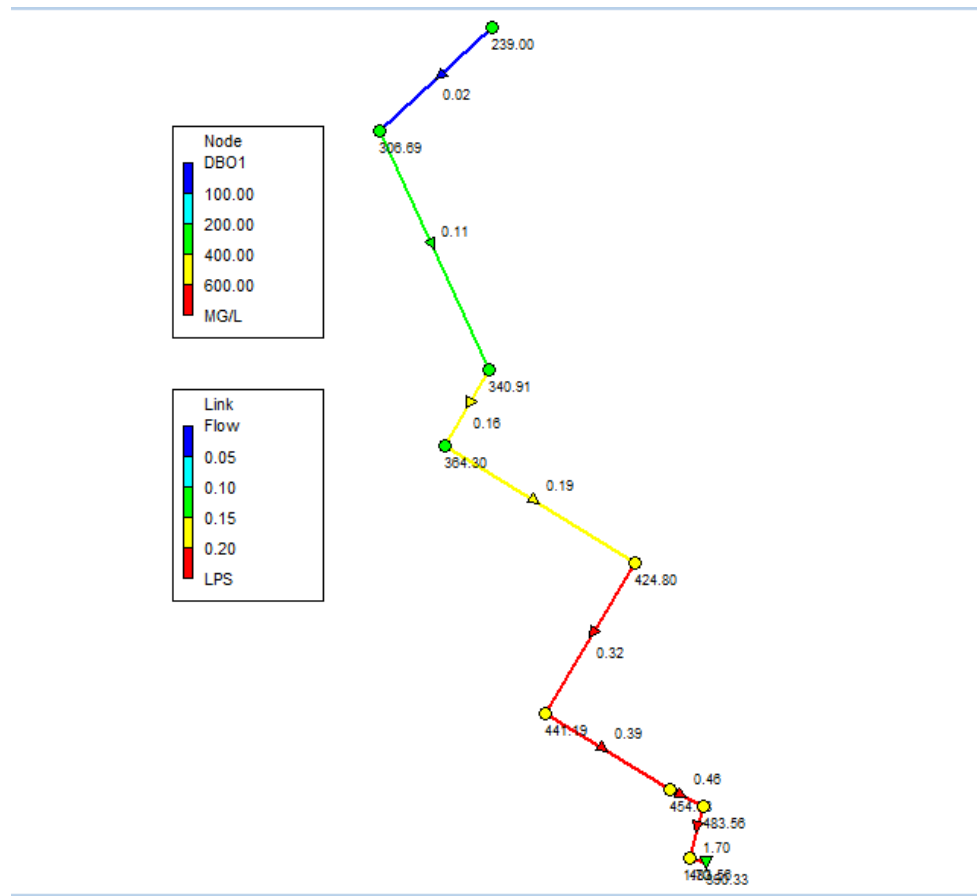
Estación	DBO (mg/l)	Caudal (l/s)	Veloc. (m/s)	Long (m)	tiempo (s)	K global (1/d)
PZ14	239	0,023	0,01	31,9	3190	0,23
	237					
Aporte	325	0,085	* aporte para mezcla al inicio del pozo			
PZ16	306,3	0,108	0,52	58,77	113	0,40
	306,1					
Aporte	412	0,052	* aporte para mezcla al inicio del pozo			
PZ18	340,5	0,16	0,66	18,92	29	0,21
	340,5					
Aporte	485	0,031	* aporte para mezcla al inicio del pozo			
PZ19	363,9	0,191	0,52	51,11	98	0,36
	363,8					
Aporte	513	0,131	* aporte para mezcla al inicio del pozo			
MH49	424,5	0,322	0,6	40,01	67	0,20
	424,4					
Aporte	520	0,067	* aporte para mezcla al inicio del pozo			
PZ24	440,9	0,389	0,89	33,46	38	0,25
	440,8					
Aporte	494	1,248	* aporte para mezcla al inicio del pozo			
MH46	481,4	1,637	0,6	12,31	21	11,99
	480,0					
Aporte	535	0,067	* aporte para mezcla al inicio del pozo			
MH48	482,2	1,704	1,18	3,95	3	0,00
	Descarga					

Fuente: Propia.

Una vez determinada las variables que necesita el programa para la modelación del comportamiento de la DBO en el alcantarillado del municipio, se procede a realizar simulación con tres escenarios.

El primer escenario es con las condiciones actuales del sistema. En este primer caso se toma como parámetro la rugosidad de la tubería de PVC (0.009) para la utilización de la ecuación de Manning.

Figura 17. Modelación escenario 1.

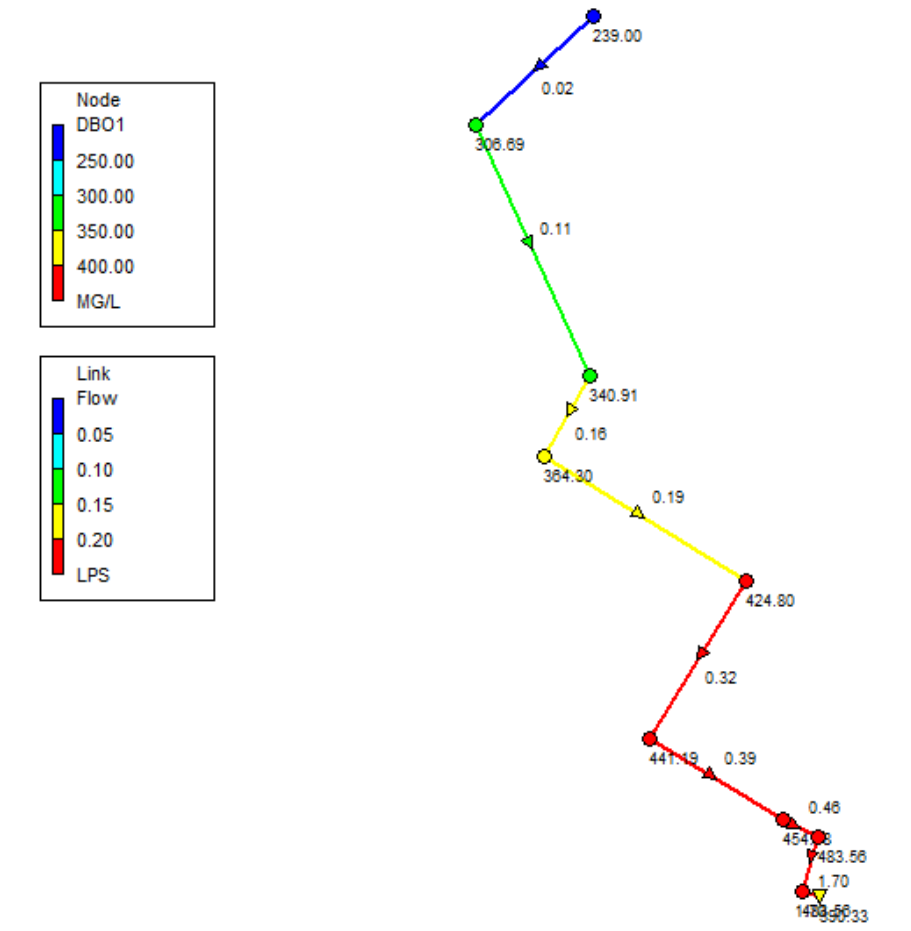


Fuente: Propia.

En este escenario se mantienen las características de comportamiento de la DBO, según la calibración mencionada anteriormente.

Para el segundo escenario se plantea la utilización de un material distinto, para observar si existe algún patrón entre la rugosidad del material utilizado. Para este caso, manteniendo todas las carteristas de calibración, se procede a cambiar la rugosidad de la tubería a una de concreto ($n=0.013$)

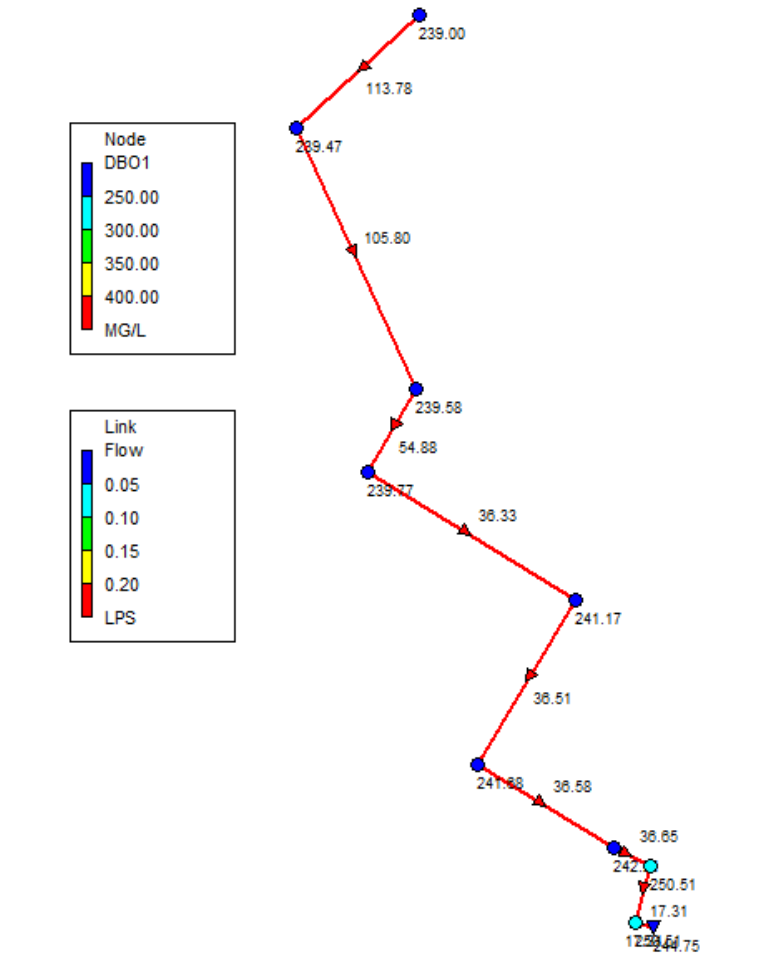
Figura 18. Modelación escenario 2.



Fuente: Propia.

Para el escenario 3, se procede a definirlo con las características del primer escenario, pero ahora con un mayor caudal que represente una capacidad máxima o caudal a tubo lleno (Q_0).

Figura 19. Modelación escenario 3.



Fuente: Propia.

2.4 FASE 4: ANALISIS DE RESULTADOS

Se presentan tres escenarios con diferentes criterios de simulación para analizar el comportamiento que tendría el proceso de autodepuración del sistema de alcantarillado de aguas residuales del municipio.

2.4.1 Escenario 1.

Para el primer escenario se realiza la modelación con los datos reales del sistema de alcantarillado, con un coeficiente de rugosidad de la tubería de $n=0.009$ (PVC).

En este escenario se evidencia que dada las longitudes entre los tramos es corta, la degradación de la materia orgánica dentro de la tubería es despreciable, con solo una disminución del orden de decimales. Así mismo es claro que los aportes externos, generados por descargas de los tramos de descole en los pozos analizados, genera que la DBO se mantengan en valores iguales o mayores a las registradas aguas arriba. También es de esperara que el proceso de degradación de la materia orgánica sea lento, ya que el agua residual se encuentra en un ambiente que tiende a ser anaeróbico o anóxico. Siendo este proceso más lento en degradación de materia orgánica.

2.4.2 Escenario 2.

Para este escenario se tomará como criterio de suposición que el material de la tubería fuese en concreto, por lo tanto, los valores de coeficiente de rugosidad varia.

Se cambio la rugosidad del material de las tuberías a 0.013, características de tuberías de concreto, es evidencia un aumento de la altura de la lámina de agua, sin embargo, es también evidente que la degradación de la materia orgánica no se relaciona con la rugosidad, presumiblemente por la variación de los caudales no es apreciable y el tiempo de retención hidráulica o de transito por la tubería es demasiado corto como para exista una apreciable degradación de la materia orgánica. Así mismo las descargas de aportes de las extensiones del sistema de alcantarillado que descolan en los pozos de inspección analizados y siendo estos distanciados en unos cuantos metros, no permite diferenciar si existe relación entre la rugosidad de la tubería y la degradación de la materia orgánica.

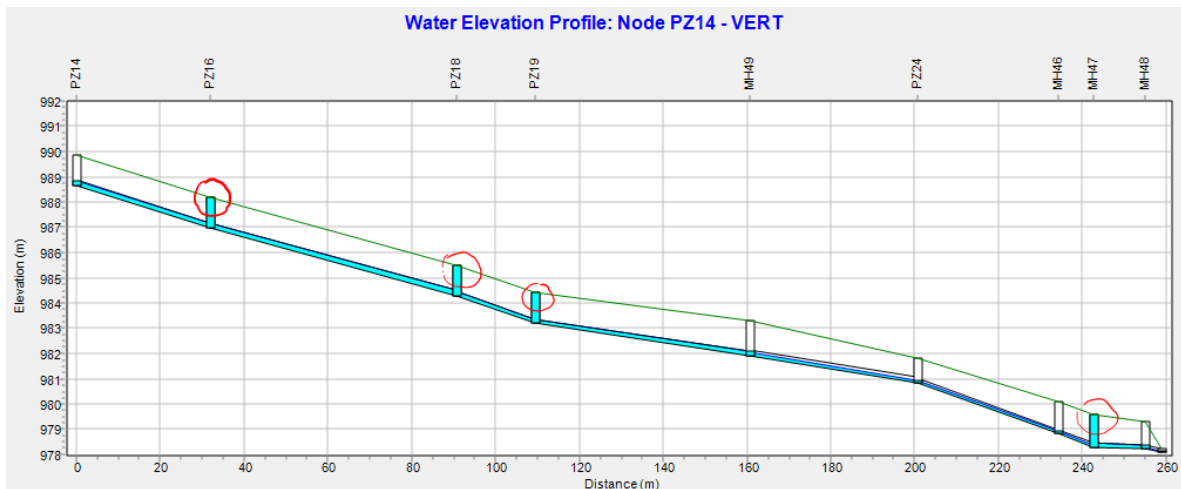
2.4.3 Escenario 3.

Para el tercer escenario se realizó una suposición considerando un caudal a tubo lleno, y así mismo analizar como se comportaría la tubería para la degradación de la materia orgánica.

Se aumenta el caudal hasta valores de tubo lleno que son los hidráulicamente factibles para análisis de flujo libre, que son las ecuaciones que utiliza el software SWMM y para las características de la tubería del escenario 1 (PVC). En este escenario sí se logra evidenciar una dilución apreciable de la concentración de DBO. Lo que permite corroborar que la disminución de la concentración de este tipo de contaminantes no conservativos, no dependen, por lo menos a lo que concierne a tramos cortos, de las características de la tubería o su rugosidad, dependen del grado de dilución a las que se encuentren. Sin embargo, es necesario aclarar que dentro de la normatividad técnica en el diseño de sistemas de alcantarillado no está permitido que la tubería trabaje a flujo lleno.

Aunque se podría observar una disminución en la concentración de la DBO, el modelo que representa el escenario 3, también permite mostrar la posible entrada en carga de la tubería (presurizarse), lo que llevaría también a la salida del agua residual por los pozos de inspección, siendo esto un hecho indeseable en el funcionamiento del sistema de alcantarillado.

Figura 20. Perfil de modelación.



Fuente: Propia.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Conclusiones

A partir de lo analizado en este proyecto de investigación “Determinación de la capacidad de autodepuración del sistema de alcantarillado de aguas residuales del municipio de Guayabetal”.

- El sistema de alcantarillado del municipio de Guayabetal consta de un alcantarillado diseñado en PVC, esto permite que hidráulicamente el flujo sea evacuado de manera rápida, con tiempo de retención bajos, que, sin embargo, también impide que suceda el proceso de degradación de materia orgánica por no tener el tiempo suficiente para cumplir con este propósito.
- En base a la población del último censo y con la cobertura de red de alcantarillado de la zona urbana del municipio, se determinó que los caudales promedio oscilan entre 0.023 l/s hasta 1.704 l/s en la descarga final. En las aguas residuales las DBO oscilan entre 239 mg/L hasta 482.2 mg/L, esto debido a la constante descarga en la red y por la misma naturaleza del sistema de transportar aguas residuales.
- Mediante el software EPA SWMM, se modelaron las características de DBO del alcantarillado de aguas residuales del municipio de Guayabetal generando tres posibles escenarios. El primero con las condiciones actuales del sistema de alcantarillado; PVC donde se encontró que la DBO disminuyó en un 1%, mientras que para el segundo escenario suponiendo que la tubería es de concreto no disminuyó y se mantuvo en mismas condiciones. Para el tercer escenario, suponiendo que se encuentra en condición de caudal a tubo lleno (Q_0), disminuyó considerablemente la concentración de DBO, posiblemente por la capacidad de dilución que por el mismo hecho del proceso natural de degradación de la materia orgánica.
- Para la determinación de la DBO se realizaron análisis de laboratorios externos (Laboratorio Analquim). La toma de muestras, se realizó en tres pozos con los siguientes resultados: PZ-14: 239 mg/L, MH-49: 424 mg/L, MH-48: 483 mg/L. Esto permitió construir un diagrama de comportamiento de la DBO y caudales en el sistema de drenaje de aguas residuales que luego fue analizado hidráulicamente en SWMM.
- Se evidencia que, con los tres escenarios estudiados, no hay una degradación de la materia orgánica de manera apreciable, ya que el tramo

de tubería es muy corto y así mismo, el tiempo de retención hidráulica, que en este caso es igual al tiempo de tránsito del agua por la tubería, no permite un tiempo suficiente para la disminución por degradación de la materia orgánica.

- Frente a los tramos escogidos en este proyecto de investigación, se tomó el más largo en donde no tuvo variación el tipo de material de la tubería, haciendo el estudio en un tiempo y longitud mayor. A este hecho se le formuló diferentes escenarios en entornos hidráulicos, como rugosidad del material y capacidad de flujo. Siendo este último el más relevante en cuanto a cambios significativos en la disminución de concentración de DBO.
- Por medio de la simulación realizada en EPA SWMM, se puede observar que los tramos cortos de tubería no se presentará un aporte en la degradación de la materia orgánica, no solo por efecto de los tiempos de retención, sino por otros factores como la mínima transferencia de oxígeno a la masa de agua, aportes constantes de concentraciones de DBO, distribuidos a lo largo del tramo de tuberías analizada.
- Es evidente que el sistema de drenaje urbano de aguas residuales, mediante tuberías, propicia una atmósfera enriquecida de gases como metano, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono y por lo tanto es más propicio a un ambiente anaerobio, que por ende genera una degradación de materia orgánica más lenta.
- El comportamiento de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), como se ve identificado en el software EPA SWMM en un sistema de alcantarillado, el agua no va a degradar completamente la materia orgánica porque no existe el tiempo suficiente para que el agua se recupere y la DBO se degrade ya que en cada pozo existen conexiones de agua residual que constantemente están aportando caudal y materia orgánica que impide que el caudal que se va transportando tenga un proceso de recuperación.
- Mediante la simulación hidráulica que se realizó por medio del programa EPA SWMM se pudo observar que este software adopta las ecuaciones de la hidráulica a flujo abierto para la simulación del transporte de contaminantes, en este caso el de la materia orgánica en el sistema de alcantarillado residual, sin embargo, la limitante es que el software no es de análisis de comportamiento de degradación de DBO, lo que no permite observar la capacidad de autorrecuperación del flujo de agua, más allá de un componente de dilución.

3.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar toma de muestras en diferentes horas y épocas del año para evaluar los caudales del sistema de alcantarillado y así estudiar nuevamente el parámetro de DBO y su comportamiento, así mismo determinar otros parámetros como temperatura y oxígeno disuelto.
- Se propone para estudios siguientes, utilizar otros modelos de calidad del agua, para determinar la relación de la rugosidad del material con el decaimiento o degradación de la materia orgánica en tuberías.
- Se recomienda continuar con el estudio, realizando pruebas en tramos mas largos de tuberías (emisarios finales) donde se puedan tener tiempos de retención mayores, donde se pueda correlacionar el material de la tubería con las tasas de remoción de la DBO o con los coeficientes de degradación de materia orgánica.
- Con los datos obtenidos, se recomienda estudiar varios tramos de tuberías del sistema de alcantarillado de aguas residuales del municipio de Guayabetal, para verificar el comportamiento y variación de caudales para analizar grado de dilución de materia orgánica.
- Es importante que se cuente con laboratorios para el análisis constante de materia orgánica para que este tipo de investigaciones cuenten con más datos temporales, que permitan un monitoreo constante y se logren llegara a resultados de mayor fiabilidad.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Guayabetal (2020). Plan de Desarrollo Municipal. <http://www.guayabetal-cundinamarca.gov.co/planes/plan-de-desarrollo>
- Autodepuración y tratamiento de las aguas residuales - Hidrosfera. (2008). Hidrosfera. <https://sites.google.com/site/hidrosfera11/home/autodepuracion-y-tratamiento-de-las-aguas-residuales>
- Aguascal. (2007). Formulación del plan de saneamiento y manejo de vertimientos municipio de caucasia. *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos En El Municipio Caucaasia.*
- Autodepuraci, E. D. E. L. A., General, M., Aguas, D. E. C. D. E., Caso, E. L., Ox, D. E. L., & Casos, O. (2008). *Calidad De Aguas En Ríos.* 1–28.
- Buen uso del sistema de alcantarillado. (2015). Acueducto, agua y alcantarillado de Bogotá. <https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/ambiente/saneamiento/buen-uso-del-sistema-de-alcantarillado/>
- Duarte, C. C., Pico, G. S., & Estupiñán, R. A. (2015). Determinación de la capacidad de autodepuración en un tramo del río Fonce en San Gil con base en el balance de oxígeno disuelto Gil based on dissolved oxygen balance. *Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería Revista Matices Tecnológico*, 30–35.
- Castellanos Alfonso, J., Monsalve Alfonso, Y. (2019). Diagnóstico de la calidad del agua implementando parámetros de sólidos suspendidos volátiles y totales para la evaluación del potencial de autodepuración. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia.
- Chaparro Velez, S. (2020). Determinacion de la capacidad de autodepuración de un tramo del rio tunjuelo respecto al ph y la demanda biologica de oxígeno (dbo). Facultad de Ingeniería Civil, Universidad

Católica de Colombia.

- Empresas públicas de Medellín, E. P. M. (2013). Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín. E. S. P. Epm.
https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/

- Ministerio de la protección social. (2007). Resolución 2115/2007. Gaceta Oficial, 23. http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/d951c109-a227-44a3-8a42-1d1f87db2b43/Resolución_2115-2007.pdf?MOD=AJPERES.

- Ministerio de Vivienda, C. y T. C. (2017). 0330 - 2017.Pdf (p. 77).
<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf>

- Peña-Hernandez, G. A., Cuesta-Gonzalez, F. A., & Betancur Perez, J. F. (2015). Remoción de carga contaminante en aguas residuales industriales a escala de laboratorio. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 157. <https://doi.org/10.22490/21456453.1413>

- República de Colombia. (2011). República de Colombia Instituto Nacional de Salud Programa de Vigilancia por Laboratorio de la Calidad de Agua para Consumo Humano ISBN : 978-958-13-0147-8.

- Suarez, J. (febrero de 2008). Calidad de agua en ríos, Autodepuración. Universidade da Coruña, Master en Ingeniería del Agua.

- Toussaint Jiménez, N. (2019). Determinación de un índice global de autodepuración para ríos de montaña a partir de calidad de agua y características hidro-topográficas. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia.

- U. (2012b, junio). Oxígeno disuelto. Ecosistemas acuáticos.
<http://ecosistemasingambiental.blogspot.com/2012/06/oxigeno-disuelto.html>

- (Contreras, 2013) Contreras, M. Y. (2013). Acceso al agua para consumo humano en Colombia Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41929178007> (pp. 124–148).
- Córdoba (Magdalena, Colombia), usando el ICA-NSF. *Intropica*, 13(2), 101. <https://doi.org/10.21676/23897864.2510>
- Macías Laura Daniela (2017). Propuesta para evaluar la potencial inclusión del parámetro toxicidad en el índice IRCA, y su efecto sobre la evaluación de la calidad de agua potable para consumo humano en Colombia. Disponible en: [https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60821/LauraD.Mac%
%adasRodr%
%adguez.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60821/LauraD.Mac%c3%adasRodr%c3%adguez.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Caho-Rodríguez, C. A., & López-Barrera, E. A. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Producción + Limpia*, 12(2), 35–49. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a3>
- Ambientales, S., Cient, C., Econ, S. C., Ambiental, M., Curricular, P., Autor, A., Marcela, L., Borda, T., Julieta, M., Rodr, B., Mart, P., & Pinilla, M. (2016). Determinación De La Causa Principal Que Origina La Eda En El Municipio De Tabio, Cundinamarca. *Boletín Semillas Ambientales*, 10(1), 28–31.
- Polo-Carrillo, E., Morales-Simancas, G., Cabarcas-Ariza, Y., & Valle Rodríguez, J. (2020). Analysis of the water quality risk index for human consumption in urban areas of the department of Bolivar. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 844(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/844/1/012047>
- Pérez-Vidal, A., Torres-Lozada, P., & Escobar-Rivera, J. (2016). Hazard identification in watersheds based on water safety plan approach: Case study of Cali-Colombia. *Environmental Engineering and Management Journal*, 15(4), 861–872. <https://doi.org/10.30638/eemj.2016.093>
- Chaves-Fonnegra, A., Zea, S., & Gómez, M. L. (2007). Abundance of the excavating sponge *Cliona delitrix* in relation to sewage discharge at San Andrés Island, sw Caribbean, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 36(302), 63–78.

- Guzman B, Gonzalez M, Cuero M, Olivar J. (2019). Presence of pesticides, mercury and trihalomethanes in the water supply systems of Ibagué, Colombia: threats to human health.
<https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v15n2/1980-993X-ambiagua-15-02-e2477.pdf>

- Vargas, M., & Villegas, R. (2013). Modelación de la red de alcantarillado y pluvial de la urbanización plaza Madrid mediante el software epa swmm. Repository.ucatolica.edu.co.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1004/2/MONOGRAFIA%20ESPECIALIZACION.pdf>

- R. (2000, noviembre). Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales. Camacol.co.
<https://camacol.co/sites/default/files/Anexo%20T%C3%A9cnico%20RAS-2000%20T%C3%ADtulo%20D.pdf>

- Ras 2000. (2000, noviembre). Sistemas de acueducto. Ministerio de desarrollo económico.
<http://mail.ceo.org.co/images/stories/CEO/ambiental/documentos/Normas%20ambientales/1990-2000/2000/Resolucion%201096%20de%202000%20-%20Titulo%20B.pdf>

- Ministerio de Ambiente. (2003, octubre). DECRETO NUMERO 3100 DE 2003.
https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Decreto_3100.pdf

- Montes, R. T. (2013, diciembre). Modificación de la capacidad de autodepuración del río Magdalena ante el cambio climático. SciELO.org.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222013000500005&script=sci_arttext

- Calidad del Agua del Río Bogotá Dura nte el Periodo 2008 – 2015 a Partir de Herramientas de Minería de Datos. Publicaciones e Investigación, 9, 37.
<https://doi.org/10.22490/25394088.1432>







- Alcaldía de Guayabetal (2018, febrero). Geografía del Municipio de Guayabetal. <http://www.guayabetal-cundinamarca.gov.co/municipio/geografia>

- S. (2017, 28 marzo). Así es como se produce la autodepuración de los ríos. Structuralia. <https://blog.structuralia.com/como-se-produce-la-autodepuracion-de-los-rios>
- B. (2012a, julio 11). Tipologías Aguas Residuales. Cyclus ID. <https://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales>
- EMPAS. (2019, 19 julio). Manual para cálculo de alcantarillados. empas.gov.co. <https://www.empas.gov.co/wp-content/uploads/2019/08/maed-03-00-manual-para-el-c%C3%A1lculo-de-alcantarillados-2.pdf>
- Prensa Corporinoquia. (2017, 27 octubre). Corporinoquia realiza control y seguimiento a los instrumentos de planificación en los 45 municipios de la jurisdicción. CORPORINOQUIA. <http://www.corporinoquia.gov.co/index.php/pages/2015-02-02-15-01-12/711-corporinoquia-realiza-control-y-seguimiento-a-los-instrumentos-de-planificacion-en-los-45-municipios-de-la-jurisdiccion.html>







5. ANEXOS

Anexo A. Registro fotográfico de la toma de muestras.







- PZ – 14.

		REGISTRO FOTOGRÁFICO	
I. INFORMACIÓN GENERAL			
PROYECTO:		DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE GUAYABETAL	
LOCALIZACIÓN			
MUNICIPIO		GUAYABETAL	
DEPARTAMENTO		CUNDINAMARCA	
II. OPERATIVO 1			
NOMBRE DE MUESTRA		PZ - 14	
UBICACIÓN DE POZO		CANTIDAD DE MUESTRA:	2 LITROS
		COORDENADAS DE POZO	
		NORTE	ESTE
		04°12'59,98"	73°48'53,66"
III. REGISTRO FOTOGRÁFICO:			
			
FOTOGRAFIA 1. Muestra recuperada		FOTOGRAFIA 2. Ejecución de muestreo	
			
FOTOGRAFIA 3. Condición inicial de tapa		FOTOGRAFIA 4. Condición final de tapa	

- MH – 49.

		REGISTRO FOTOGRÁFICO	
I. INFORMACIÓN GENERAL			
PROYECTO:		DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE GUAYABETAL	
LOCALIZACIÓN			
MUNICIPIO		GUAYABETAL	
DEPARTAMENTO		CUNDINAMARCA	
II. OPERATIVO 2			
NOMBRE DE MUESTRA		MH - 49	
UBICACIÓN DE POZO		CANTIDAD DE MUESTRA:	2 LITROS
		COORDENADAS DE POZO	
		NORTE	ESTE
		04°12'56,00"	73°48'52,59"
III. REGISTRO FOTOGRÁFICO:			
			
FOTOGRAFIA 1. Muestra recuperada		FOTOGRAFIA 2. Ejecución de muestreo	
			
FOTOGRAFIA 3. Condición inicial de tapa		FOTOGRAFIA 4. Condición final de tapa	

- MH – 48.

		REGISTRO FOTOGRÁFICO	
I. INFORMACIÓN GENERAL			
PROYECTO:		DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE GUAYABETAL	
LOCALIZACIÓN			
MUNICIPIO		GUAYABETAL	
DEPARTAMENTO		CUNDINAMARCA	
II. OPERATIVO 3			
NOMBRE DE MUESTRA		MH - 48	
UBICACIÓN DE POZO		CANTIDAD DE MUESTRA:	2 LITROS
		COORDENADAS DE POZO	
		NORTE	ESTE
		04°12'53,81"	73°48'52,19"
III. REGISTRO FOTOGRÁFICO:			
			
FOTOGRAFIA 1. Muestra recuperada		FOTOGRAFIA 2. Ejecución de muestreo	
			
FOTOGRAFIA 3. Condición inicial de tapa		FOTOGRAFIA 4. Condición final de tapa	

Fuente: Propia.

Anexo B. Cotización de servicios de laboratorio – Analquim Ltda.



ANALQUIM LTDA.
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y CALIDAD DEL AIRE



COTIZACIÓN ANQ-1690-21

NIT 830.055.841-5
Carrera 25 No. 73 - 60
3291873 - 2503701 - 315 7718638
Bogotá D.C - Colombia

Página 1 de 2
Bogotá, 2021 Abril 18

MODIFICADA

DATOS EMPRESA CONTRATANTE	
EMPRESA	
NIT	
ATENCIÓN	MARIA CAMILA MARTINEZ
DIRECCIÓN	
TELÉFONO	
EMAIL	mcmartinez95@ucsf.edu.co
CIUDAD	BOGOTÁ, D.C.

DATOS DEL LUGAR DEL MONITOREO	
EMPRESA	
PERSONA DE CONTACTO	
TELÉFONO	
EMAIL	
DIRECCIÓN	
MUNICIPIO	
CIUDAD	

Referencia: Análisis de Agua Subterránea
Atendiendo su amable solicitud, me permito cotizarle el costo de la referencia.

ANÁLISIS DE AGUA SUBTERRÁNEA									
	PARÁMETRO	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	EXPRESADO COMO	CANTIDAD	#No. FIASERAS	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1.	D.B.O 5 - Demanda Bioquímica de Oxígeno	Ensayo D.B.O. Incubación 5 días, Electrodo de Membrana	SM 5210 B, SM 4500-O G	2	mg O ₂ /L	3	NA	48.200	138.600
Subtotal									138.600

1. Parámetro acreditado ante el IDEAM, Resolución 0091 del 02 de febrero de 2021
Esta columna y/o ítem solo aplica a la Matriz Calidad de Aire y Fuentes Fijas
REF - Reference Standard Methods for the examination of water and wastewater The APWWA Ed.23/2017

SE REALIZA LA COTIZACIÓN SEGÚN PARÁMETROS SOLICITADOS POR EL CLIENTE

COSTO TOTAL	
ANÁLISIS DE AGUA SUBTERRÁNEA	138.600
SUBTOTAL	138.600
Mas IVA (19%)	26.334
COSTO TOTAL DE LA COTIZACIÓN	\$ 164.934

TÉRMINOS Y CONDICIONES	
VIGENCIA	30 días calendario. Transcurrido este tiempo el cliente debe solicitar la actualización de la presente cotización.
FORMA DE PAGO	50% anticipo, 50% Antes de la entrega de resultados. Se factura una vez ingrese las muestras al laboratorio. Banco BBVA Cuenta Corriente No. 337034466 - Enviar los soportes de pago con copia al correo Cartera@analquim.com
ENTREGA DE RESULTADOS	Quince (15) días hábiles contados a partir de la fecha de recibidas las muestras de agua en el laboratorio. Los informes y/o reporte de resultados se entregarán en medio magnético y serán enviados al correo al cual se envía la cotización. Recuerde que estos solo serán enviados dentro de las 24 horas siguientes a la verificación de la entrada del pago al banco.
OBSERVACIONES	Analquim Ltda cuenta con una regla de decisión documentada bajo procedimiento interno ANQ-PR-088 "Gestión de Proyectos" en el marco de la norma ISO/IEC 17025:2017, la cual, se aplica para la evaluación de la conformidad del resultado de un parámetro junto con su incertidumbre expandida respecto a un referente normativo (E). Límite máximo permisible en informes técnicos de monitoreo e interpretación de resultados. Cuando el cliente es quien prescribe la regla de decisión o se prescribe en reglamentos o documentos normativos, esta puede ser aplicada y por tanto debe ser informada al laboratorio. En caso de requerir alguna modificación sobre esta cotización, por favor solicitarla mediante correo electrónico de donde se dio respuesta a su solicitud. Las muestras ingresadas se analizarán previa recepción de Orden de compra y/o aceptación de la cotización emitida por el cliente, RUT, confirmación de pago y documentos de facturación electrónica. No se ingresan las muestras a análisis si los documentos están incompletos.

ELABORADO POR: AC	REVISADO POR: GC	APROBADO POR: GG
DOCUMENTO: ANQ-PL-182	VERSIÓN: 3	PÁGINA 1 DE 2

