

FORMULACIÓN DE UN PLAN PARA LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO POR  
OLORES OFENSIVOS GENERADOS EN LA PTAR PARA LA EMPRESA VEOLIA  
AGUAS DE TUNJA S.A E.S.P

YESSICA TATIANA VALDERRAMA BOTIA



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
TUNJA  
2021

FORMULACIÓN DE UN PLAN PARA LA REDUCCIÓN DEL IMPACTO POR  
OLORES OFENSIVOS GENERADOS EN LA PTAR PARA LA EMPRESA VEOLIA  
AGUAS DE TUNJA S.A E.S.P

YESSICA TATIANA VALDERRAMA BOTIA

Trabajo de grado en la modalidad práctica con proyección empresarial o social para optar al  
título de Ingeniero Ambiental

Director (a)

M. Sc. GLORIA LUCIA CAMARGO MILLAN

Co - Director (a)

M. Sc. CESAR RENE BLANCO ZUÑIGA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
TUNJA  
2021

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Tunja, Diciembre 2021

## DEDICATORIA

*A Dios por ofrecerme las oportunidades con las cuales puedo salir adelante, superarme y ser cada día mejor, por siempre guiarme.*

*A mis padres, por ser mis compañeros en cada travesía y aventura durante este proceso, por ser mis guías y ejemplo a seguir, porque gracias a su esfuerzo hoy puedo ser una gran profesional, por su amor, comprensión y cariño.*

*A mis hermanos por su apoyo y comprensión.*

*A mi novio, por acompañarme siempre que lo necesitaba, por no dejarme rendir y por darme su apoyo y amor incondicional.*

## AGRADECIMIENTOS

*A la empresa Veolia Aguas de Tunja dirigida por el Doctor Manuel Vicente Barrera, por darme la oportunidad de realizar mi pasantía en una gran empresa, donde obtuve muchos conocimientos, para crecer profesionalmente y así mismo poder iniciar mis primeros pasos laborales.*

*A la ingeniera Claudia Rodríguez y el ingeniero William Hernández de igual manera por la oportunidad de estar en su equipo de trabajo, de permitirme conocer y afianzar conocimientos que me sirven para mi crecimiento personal y profesional, adicionalmente por permitirme vivir una experiencia única en un lugar donde cada día se aprende algo nuevo, por permitirme dar mi conocimiento y así mismo recibirlo de las personas que me rodeaban día a día.*

*A la ingeniera Gloria Camargo y al ingeniero Cesar Blanco, por compartir su conocimiento y experiencia, además de ser guías en este gran proceso de aprendizaje, por su tiempo y colaboración.*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
3. JUSTIFICACIÓN .....	14
4. OBJETIVOS .....	15
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
5. MARCO REFERENCIAL.....	16
5.1 MARCO LEGAL.....	16
5.2 MARCO CONCEPTUAL .....	17
5.3 ESTADO DEL ARTE.....	18
5.3.1 INTERNACIONAL .....	18
5.3.2 NACIONAL .....	19
6. METODOLOGÍA EMPLEADA .....	22
6.1 VERIFICACIÓN DE NORMATIVIDAD Y CUMPLIMIENTO .....	23
6.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	23
6.3 FORMULACIÓN DEL PLAN DE REDUCCIÓN DE OLORES OFENSIVOS (PRIO).....	24
7. DESARROLLO DEL TRABAJO .....	25
7.1 VERIFICACIÓN DE NORMATIVIDAD Y CUMPLIMIENTO .....	25
7.2 REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE OLORES OFENSIVOS .....	30
7.2.1 CONTROL DE OLORES DE AGUAS RESIDUALES.....	30
7.2.2 BIOFILTRACIÓN .....	31
7.2.3 FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO.....	33
7.3 FORMULACIÓN PLAN DE REDUCCIÓN DEL IMPACTO POR OLORES OFENSIVOS (PRIO) .....	35
7.3.1 DATOS GENERALES.....	35

7.3.2 LOCALIZACIÓN .....	35
7.3.3 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA .....	39
7.3.4 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD .....	40
7.3.5 DESCRIPCIÓN, DISEÑO Y JUSTIFICACIÓN TÉCNICA DE LA EFECTIVIDAD DE LAS BUENAS PRÁCTICAS O LAS MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES A IMPLEMENTAR.....	45
7.3.6 METAS Y ACTIVIDADES .....	53
7.3.7 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN .....	54
8. CONCLUSIONES.....	56
9. RECOMENDACIONES.....	57
10. REFERENCIAS.....	58

**LISTA DE TABLAS**

	Pág.
Tabla 1. Normatividad colombiana vigente frente al tema de olores ofensivos .....	16
Tabla 2. Niveles máximos permisibles .....	26
Tabla 3. Resultados monitoreo de sustancias generadoras de olores ofensivos (trs).....	27
Tabla 4. Comparación mejores técnicas disponibles .....	51
Tabla 5. Cronograma de ejecución.....	55



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fases para el desarrollo del trabajo de grado .....	23
Figura 2. Entrada al parque tecnológico ambiental .....	28
Figura 3. Carros llenos de residuos esperando para su disposición final .....	29
Figura 4. Diagrama del depurador biperckling.....	31
Figura 5. Esquema de un biofiltro .....	33
Figura 6. Filtros de carbón activado .....	34
Figura 7. Mapa de dirección del viento colombia .....	37
Figura 8. Visualización dirección del viento en boyacá.....	38
Figura 9. Localización planta de tratamiento de agua residual tunja y otras posibles fuentes generadoras de olores .....	39
Figura 10. Área de influencia .....	40
Figura 11. Diagrama de flujo planta de tratamiento de aguas residuales de tunja .....	41
Figura 12. Sistema de olores ecosorb en una planta de tratamiento de aguas residuales en butler, pennsylvania .....	47
Figura 13. Geomembrana podz horizon .....	48
Figura 14. Geomembrana podz horizon .....	48
Figura 15. Sistema de control de olores meva ocs.....	49
Figura 16. Sistema de control de olores meva ocs.....	50

## 1. INTRODUCCIÓN

Los olores ofensivos son aquellas sustancias que producen fastidio a las personas sin llegar a afectarles en su totalidad, existen diversas actividades que son generadoras de olores ofensivos y entre esas se encuentran las plantas de tratamiento de aguas residuales ya que por las características fisicoquímicas del agua y a los procesos de transformación a las que estas se someten se generan sustancias que pueden llegar a ser molestas en el tema de olores, en la mayoría de los casos los procesos a los que mayormente se ve la relación con la generación de olores son aquellos procesos que se realizan en ausencia de oxígeno es decir en el tratamiento anaerobio.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Tunja, actualmente es operada por la empresa Veolia, dicha planta recibe las aguas residuales de todo el municipio de Tunja a través de un sistema de alcantarillado, y de allí ingresa a un proceso de tratamiento el cual está conformado por la estructura de entrada donde se realiza un pretratamiento que comprende un cribado, de allí pasa a un desarenador, sigue con el tratamiento secundario donde pasa por un reactor anaerobio de flujo ascendente continua a un reactor aerobio convencional, luego pasa a los sedimentadores secundarios y finalmente el agua es transportada al tanque de salida para ser vertida por medio de un canal a la cuenca alta del río Chicamocha. Durante este proceso se generan una serie de subproductos que también deben ser tratados, principalmente está el lodo el cual es espesado y deshidratado para finalmente darle una disposición por medio de una empresa de aseo; y así mismo se encuentra el biogás que es el principal generador de olores.

Teniendo en cuenta que los olores generados pueden llegar afectar a la comunidad y de igual manera a los trabajadores de la planta se requiere buscar una solución viable y confiable en cuanto al manejo del biogás y de los olores ofensivos. Con el fin de dar cumplimiento a la

normatividad colombiana vigente se realiza el monitoreo y control de olores ofensivos por lo que se plantea la formulación de un plan para la reducción de olores ofensivos, teniendo en cuenta lo establecido en la ley en cuanto a las sustancias generadoras por actividad que lo genera y así mismo se establecen alternativas de tratamiento para la reducción de los olores basados en la bibliografía pertinente.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las plantas de tratamiento de aguas residuales según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2013) son el conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales; con el fin de disminuir los índices de contaminación que estas aguas poseen.

En la ciudad de Tunja se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales la cual es operada por la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S.P., este sistema de tratamiento está constituido por tres módulos independientes de los cuales dos se encuentran en operación. Estos módulos disponen de una serie de unidades para el tratamiento de aguas residuales, el afluente ingresa por gravedad a la PTAR y de ahí es tratada de forma preliminar por una rejilla auto limpiante encargada de remover sólidos de gran tamaño, continúa de manera separada en los diferentes módulos donde sigue con el tratamiento preliminar con un desarenador que separa del agua las arenas, la grava y cenizas, posteriormente se realiza el tratamiento secundario el cual está compuesto de un reactor anaerobio de flujo ascendente UASB (tratamiento anaerobio), un tanque de aireación (tratamiento aerobio) y un sedimentador secundario.

Además, se realiza un tratamiento a uno de los subproductos generados como lo son los lodos, los cuales ingresan en un espesador de lodos y pasan al deshidratador centrífugo. Otro de los subproductos los cuales requieren un tratamiento o manejo adecuado son los olores ofensivos los cuales según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (1995) lo definen como el olor generado por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicio, que produce fastidio, aunque no cause daño a la salud humana.

Actualmente la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S.P no cuenta con el manejo o control de olores ofensivos siendo una problemática para la población aledaña y los mismos trabajadores de la empresa debido a las molestias que pueden generar y a las afectaciones que se

pueden dar a largo plazo por la exposición de estos y adicionalmente teniendo en cuenta el compromiso de la empresa en cumplir con la normatividad colombiana vigente, se busca realizar el control pertinente a los olores ofensivos generados por la PTAR.

Es por esto que surge la pregunta de investigación del presente proyecto ¿Cuál es la solución más viable para la reducción de olores ofensivos generados por la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tunja, mediante la implementación del PRIO?

### 3. JUSTIFICACIÓN

La empresa Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P realiza la operación de la planta de tratamiento de agua residual de la ciudad de Tunja y entre sus metas principales está el cumplimiento en cuanto a la normatividad colombiana frente a los diferentes temas que le confieran como calidad de agua, manejo de vertimientos, entre otros. Dentro de los diferentes procesos que se realizan para el tratamiento de aguas residuales surgen unos subproductos que requieren de igual manera un tratamiento, manejo o control y en este caso en particular se encuentra una deficiencia en cuanto al manejo de los olores ofensivos que se producen, es por esto que la empresa necesita plantear una solución viable respecto a los olores ofensivos que se generan durante la operación de la PTAR, con el fin de dar cumplimiento a la normatividad vigente colombiana y prevenir y/o mitigar los impactos generados a la población aledaña y al medio ambiente.

Se considera de gran importancia la gestión y valorización de subproductos con el fin de identificar las alternativas más viables a implementar para reducir el impacto generado por dichos olores, es por esto que se realiza con el Ingeniero Ambiental, teniendo en cuenta que es un profesional idóneo para realizar el estudio de esta temática, y cuenta con formación específica en gestión ambiental, plantas de tratamiento de aguas residuales, calidad del aire, impacto ambiental, entre otros.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Formular el plan de reducción del impacto por olores ofensivos para la planta de tratamiento de agua residual de Tunja.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar la normatividad vigente sobre olores ofensivos para las plantas de tratamiento de agua residual.
- Verificar el grado de cumplimiento de la normatividad vigente sobre olores ofensivos para la planta de tratamiento de agua residual de Tunja.
- Reconocer diferentes alternativas para el control de olores ofensivos que se generan en la operación de la planta de tratamiento de agua residual de Tunja.
- Seleccionar las alternativas más viables para mitigar el impacto de olores ofensivos generados por la planta de tratamiento de agua residual de Tunja.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1 MARCO LEGAL

En la tabla 1 se muestra una síntesis de la información legal encontrada específicamente para Colombia.

**Tabla 1.**

*Normatividad colombiana vigente frente al tema de olores ofensivos*

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
Resolución 1541 de 2013	Por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad de aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones.
Resolución 672 de 2014	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1541 de 2013.
Resolución 1490 de 2014	Por la cual se amplía el plazo de entrada en vigencia de la Resolución 1541 de 2013 y se dictan otras disposiciones.
Resolución 2087 de 2014	Por la cual se adopta el Protocolo para el monitoreo, control y vigilancia de olores ofensivos.
NTC 5880	Calidad del Aire. Determinación de la Concentración de Olor por Olfatometría Dinámica.
NTC 6011	Olfatometría. Muestreo estático.
NTC 6012 -1	Efectos y evaluación de los olores. Evaluación sicométrica de las molestias por olores.
NTC 6049 - 1	Medición de impacto de olor mediante inspección en campo. Medición de la frecuencia del impacto de olores reconocibles. Medición de malla.
NTC 6049 - 2	Medición de impacto de olor mediante inspección en campo. Medición de la frecuencia de impacto de olores reconocibles. Medición de pluma.

*Nota.* Elaboración propia



## 5.2 MARCO CONCEPTUAL

**Aguas residuales:** son aquellas aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en cloacas y son transportadas mediante el sistema de alcantarillado, estas aguas están contaminadas y sin un previo tratamiento no son de uso recomendable (Romero J, 2004).

**Agua residual doméstica:** Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios (Resolución 631 de 2015).

**Azufre total reducido (TRS):** Compuestos organosulfurados integrados principalmente por sulfuro de hidrógeno, metil mercaptano, dimetil mercaptano, dimetil sulfuro y dimetil disulfuro. Se caracterizan por su desagradable olor aún a bajas concentraciones (Resolución 1541 de 2013).

**Buenas prácticas:** Métodos o técnicas que han demostrado consistentemente resultados superiores a los obtenidos con otros medios y que se utilizan como punto de referencia (Resolución 1541 de 2013).

**Emisión:** Es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil (Resolución 1541 de 2013).

**Inmisión:** Transferencia de contaminantes de la atmósfera a un receptor, se entiende por inmisión a la acción opuesta a la emisión. Aire inmiscible es el aire respirable a nivel de la troposfera (Resolución 1541 de 2013).

**Mejores técnicas disponibles:** La fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestran la capacidad práctica de determinadas técnicas para alcanzar el cumplimiento de los objetivos (Resolución 1541 de 2013).

**Olor:** Propiedad organoléptica perceptible por el órgano olfativo cuando inspira determinadas sustancias volátiles (Resolución 1541 de 2013).

**Olor ofensivo:** Es el olor, generado por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicio, que produce fastidio, aunque no cause daño a la salud humana (Resolución 1541 de 2013).

**Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR):** Conjunto de obras, instalaciones, procesos y operaciones para tratar las aguas residuales (RAS, 2017).

### **5.3 ESTADO DEL ARTE**

En la actualidad existen diferentes regulaciones en cuanto la materia de olores y también a la operación, mantenimiento y regulación de las plantas de tratamiento de agua residual, es por esto que a continuación se mostrará un contexto internacional, nacional y regional sobre estos temas.

#### **5.3.1 Internacional**

A nivel internacional existen diversas investigaciones, así como legislación acerca de los olores más que todo en España, México y Argentina.

Un estudio realizado por Espigares M. en 1985 habla acerca de los olores ofensivos y menciona que estos son consecuencia de la diversidad de sustancias que aportan especialmente de los productos de la descomposición generados en los diferentes procesos unitario y más en los procesos anaerobios ya que son estos donde se descompone materia orgánica y se da el desprendimiento de gases.

También se encuentra que en México Helliboe, H. en 1995 en su manual para el tratamiento de aguas habla acerca del control de olores y sabores, donde propone utilizar el sulfato de cobre para controlar la flora y fauna microscópica que generan los olores y así mismo habla de la importancia del tratamiento preventivo con sulfato de cobre para poder eliminar dichos olores ya que es eficaz y común.

Para el año 2007 Walter Murgia realizó el estudio “Contaminación por olores: el nuevo reto ambiental” donde expone los efectos económicos de la producción y la naturaleza de las molestias por olores ofensivas, realizando un análisis sobre el estado actual de la legislación mexicana para el control y regulación de olores. El mismo autor propone “legislar el impacto de los olores teniendo en cuenta varias variables, entre ellas, la distancia de la empresa que emite el olor, tamaño, tipo de empresa y las prácticas de manufactura de cada una. Igualmente mencionó la necesidad de tener en cuenta dos tipos de medición, un estudio de olor in situ con un modelo de dispersión atmosférica, y otro complementario, a través de una legislación con base en las quejas” (p. 52).

Finalmente se conoce que, en diferentes países como Francia, Nueva Zelanda, Estados Unidos, no se establecen valores límites de emisión, en cambio tienen en cuenta unidades de olor. La olfatometría es una técnica que permite cuantificar y además puede ser tomada como parte fundamental para la regulación (División de Calidad del Aire, 2013).

### ***5.3.2 Nacional***

En el contexto de Colombia el Ministerio del Medio Ambiente reglamento la protección y control de la calidad del aire mediante el Decreto 948 de 1995, sin embargo, no es hasta que por medio de las Resoluciones 1541 de 2013 y 2087 de 2014 se establece el protocolo de olores ofensivos que permitió reglamentar los niveles permisibles de sustancias susceptibles de generar olores ofensivos, así mismo las técnicas de medición y la forma de atender las quejas generadas por tal razón (Romero, 2019).

Mediante la Resolución 610 de 2010 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial presenta un anexo en el cual enuncia las actividades objeto de vigilancia por ser generadoras de olores ofensivos, especialmente los asociados al sulfuro de hidrógeno, dentro de estas se encuentran las Plantas de Tratamiento de Agua Residual, cabe tener en cuenta que los

olores ofensivos que se generan en la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales se originan por la emisión de compuestos como gases orgánicos, inorgánicos y vapores procedentes de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica (MO) con contenido de azufre y nitrógeno (Sáenz, Zambrano, y Calvo, 2016).

A nivel Colombia se han establecido diferentes investigaciones para la vigilancia, manejo y control de la generación de los olores ofensivos, Betancur en el año 2017 mediante un trabajo de grado realizó la propuesta para la implementación de sistemas de tratamiento básico para el manejo y control de olores ofensivos en la planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio del Retiro - Antioquia, confirmado lo que dice la literatura que una de la principales causas de generación de olores ofensivos se debe al mal manejo y operación de la PTAR bien sea por parte de los operarios o por desgaste los equipos que se encuentran allí, dentro de estos y para este estudio en particular se destaca la generación de lodos, ya que este tratamiento es uno de los principales generadores de olores ofensivos cuando no se realiza un procedimiento adecuado, especialmente por el porcentaje de humedad con el que se lleva el lodo a los lechos de secado.

Para el 2020 Gomez, M realiza un diagnóstico de las plantas de tratamiento de agua residual doméstica de los municipios Abejorral, Argelia y Sonsón identificando las estructuras en las cuales de generan emisiones fugitivas de gases durante las fases de arranque y estabilización de dichas PTAR, lo cual le permite conocer de manera temprana los puntos de emisión de olores ofensivos, y de esta manera permite dar una posible solución, la cual es el diseño de un biofiltro para controlar de manera sencilla y efectiva los problemas de emisión de olores ofensivos, y logrando así una disminución en la contaminación por estos.

En cuanto a los Planes de Reducción por Olores ofensivos que se han realizado a nivel nacional se encuentran para diversas actividades industriales dando como cumplimiento a la

normatividad legal vigente; aunque se encuentra una deficiencia a nivel nacional relacionada a los olores ofensivos ya que es un tema que no se ha profundizado pues se encuentran limitaciones tanto económicas debido a que los estudios de olfatometría son costosos y de igual manera los tratamientos para su mitigación o reducción, y también en la exigencia por parte de las autoridades competentes debido a que no hay una regulación legal que repercuta en sanciones por el incumplimiento que se presenta en este tema.

## **6. METODOLOGÍA EMPLEADA**

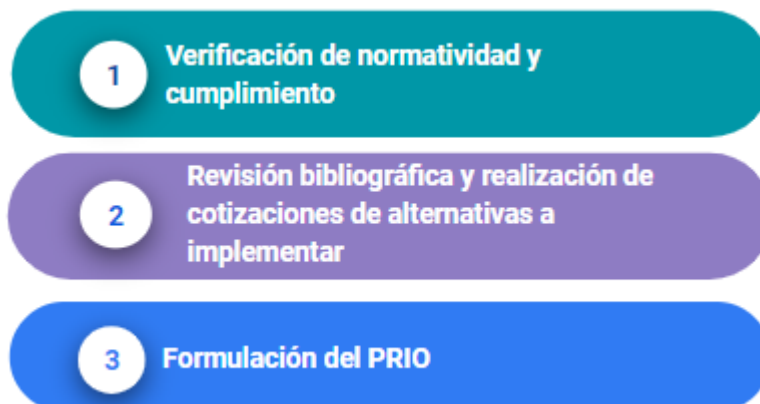
El tipo de metodología utilizada durante la realización de este proyecto fue el método mixto, que para Hernandez-Sampieri y Mendoza (2008) los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio.

Para esta investigación se consideró un enfoque mixto debido a que se manejaron dos fuentes de datos teniendo en cuenta que se realizó un estudio de olfatometría el cual arrojó los valores de la inmisión de olores de la PTAR de Tunja, de igual manera se realizó un análisis de información y revisión de bibliografía, para realizar la construcción del PRIO y adicionalmente se identificó las posibles soluciones a implementar como buenas prácticas o mejores técnicas disponibles para la reducción del impacto generado por los olores ofensivos de la PTAR.

De esta manera el proyecto se desarrolló en tres fases con el fin de dar cumplimiento a los objetivos propuestos, durante cada fase se realizaron diversas actividades de acuerdo al cronograma inicial planteado.

**Figura 1.**

*Fases para el desarrollo del trabajo de grado*



*Nota.* Elaboración propia

## **6.1 VERIFICACIÓN DE NORMATIVIDAD Y CUMPLIMIENTO**

Se identificó la normatividad vigente para el tema de olores ofensivos y su importancia del cumplimiento para la actividad generada por la empresa, de esta manera se corroboró la necesidad de realizar el monitoreo de control de olores ofensivos, de acuerdo al informe presentado se realizó el análisis correspondiente y el cumplimiento de la planta de tratamiento de agua residual frente a la normatividad colombiana existente.

## **6.2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Se realizó una búsqueda de información secundaria relacionada con los olores ofensivos, especialmente los generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, sus posibles fuentes generadoras, sus impactos, y los tratamientos (Tesis, artículos científicos, libros, normatividad, bases de datos), adicionalmente se buscaron los posibles proveedores para hacer el tratamiento de olores ofensivos, se realizarán cotizaciones sobre sus productos y se investigó más sobre las alternativas que ellos manejan.

### **6.3 FORMULACIÓN DEL PLAN DE REDUCCIÓN DE OLORES OFENSIVOS (PRIO)**

Acorde a la normatividad vigente se realizó la formulación del plan de reducción de olores ofensivos:

- Recolección y formulación de datos generales.
- Descripción de la actividad.
- Formulación de alternativas a implementar, buenas prácticas y/o mejores técnicas.
- Metas y cronograma.



## **7. DESARROLLO DEL TRABAJO**

### **7.1 VERIFICACIÓN DE NORMATIVIDAD Y CUMPLIMIENTO**

La empresa Veolia Aguas de Tunja es una compañía especializada en la gestión de servicios de acueducto y alcantarillado, es decir que además de ser la encargada de suministrar el agua potable para todas las personas de la ciudad de Tunja así mismo se encarga de hacer el posterior tratamiento al agua residual producida la cual es conducida por medio del sistema de alcantarillado desde el punto de generación hasta la planta de tratamiento de agua residuales (PTAR), allí el agua es sometida a diferentes procesos donde en el sistema predomina el reactor UASB y el tanque de lodos activados (Veolia, 2021).

Teniendo en cuenta la resolución 1541 de 2013 por la cual se establecen los niveles permisibles de calidad de aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones, más específicamente en el capítulo II art.5 muestra en la tabla 1 las sustancias de olores ofensivos generadas por actividades, para plantas de tratamiento de aguas residuales se presenta la sustancia Sulfuro de hidrogeno, modificada por la resolución 672 de 2014 por Azufre Total Reducido (TRS) y en la tabla 2 donde están los niveles permisible de calidad del aire o de inmisión para la sustancias de olores ofensivos a condiciones de referencia 25 °C y 760 mm Hg (Resolución 1541, 2013, Artículo 5), como se muestra a continuación.

**Tabla 2.***Niveles máximos permisibles*

Sustancia	Nivel máximo permisible	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tiempo de exposición
Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ )	7	24 horas
	30	1 hora
Azufre Total Reducido (TRS)	7	24 horas
	40	1 hora
Amoniaco ( $\text{NH}_3$ )	91	24 horas
	1400	1 hora

*Nota.* Niveles máximos permisibles establecidos de sustancias generadoras de olores ofensivos. Tomado de *Resolución 1541 de 2013* por Min Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Basados en el tren de tratamiento de la planta de aguas residuales de Tunja y considerando que uno de los subproductos que esta genera es el biogás, el cual lleva dentro de sus características sustancias generadoras de olores como el ácido sulfhídrico, entre otros; es que nace la necesidad de realizar un procedimiento para la evaluación de los niveles de inmisión que se están llevando a cabo en la PTAR de Tunja, esto teniendo en cuenta los establecidos y avalados en la ley 1541 de 2013 y 672 de 2014.

La empresa Veolia Aguas de Tunja, por medio de la empresa Corola Ambiental la cual se encuentra certificada y avalada por el IDEAM, realiza el monitoreo de sustancias generadoras de olores ofensivos, haciendo una medición directa en campo de Azufre Total Reducido por el método de oxidación termocatalítica a  $1000^\circ\text{C}$  / Fluorescencia Ultravioleta, ejecutando el monitoreo entre el 27 de julio y el 13 de agosto de 2021, con mediciones horarias continuas durante 18 días, tal y como lo exige la norma obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 3.**

Resultados monitoreo de sustancias generadoras de olores ofensivos (TRS)

<b>Día</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>
27 Julio 2021	14,4
28 Julio 2021	11,0
29 Julio 2021	5,9
30 Julio 2021	19,6
31 Julio 2021	9,3
1 Agosto 2021	8,7
2 Agosto 2021	8,7
3 Agosto 2021	8,1
4 Agosto 2021	11,8
5 Agosto 2021	17,6
6 Agosto 2021	18,7
7 Agosto 2021	11,2
8 Agosto 2021	3,6
9 Agosto 2021	14,8
10 Agosto 2021	11,7
11 Agosto 2021	6,7
12 Agosto 2021	18,6
13 Agosto 2021	9,4

*Nota.* Mediciones dadas en microgramo/metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados de las mediciones realizadas y de los datos suministrados por la empresa Veolia Aguas de Tunja se puede evidenciar que para las mediciones del tiempo de exposición de 1 hora hay un cumplimiento parcial, ya que se presentaron algunas excedencias de los TRS mayores a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , de igual manera para las mediciones de 24 horas o diarias se presenta un incumplimiento en cuanto al límite permisible de  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; esto considerando además, que por las características meteorológicas como dirección y velocidad del viento puede deberse a que muy cerca está ubicado el parque tecnológico ambiental de Pírgua, el cual realiza el tratamiento de residuos sólidos.

Basados en los resultados del monitoreo de olores se encuentra mayor excedencia del umbral de olor entre los días jueves y viernes, por lo que se realizó una observación constante al

comportamiento que se recibía tanto en la PTAR como en el parque tecnológico ambiental de pirgua, teniendo como resultados que en la PTAR no se realiza alguna actividad que afecte o incremente los umbrales de olor, mientras que en el parque tecnológico ambiental son estos días los que suelen recibir mayor cantidad de camiones con residuos para realizar su disposición final, habiendo inclusive días en los que estos deben hacer largas filas para poder dar disposición final a los residuos, tal y como se puede observar en las siguientes figuras, siendo esta una posible causa para que sean estos los días con mayor medición.

**Figura 2.**

*Entrada al parque tecnológico ambiental.*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 3.**

Carros llenos de residuos esperando para su disposición final



*Nota.* Elaboración propia

De allí parte la necesidad de realizar el plan de reducción de impacto por olores ofensivos, con el fin de mitigar los impactos que se pueden estar generando a la comunidad y así mismo para reducir la inmisión generada por parte de la PTAR.



## **7.2 REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE OLORES OFENSIVOS**

Considerando diversos casos de estudio se realiza una compilación de la información con el fin de identificar diversas alternativas de tratamiento para los olores ofensivos y en especialmente los generados en plantas de aguas residuales.

El H<sub>2</sub>S es el constituyente más característico de los gases producidos en los sistemas anaerobios y uno de los principales compuestos responsables de la generación de malos olores en plantas de tratamiento de agua residual. Es por ello que la mayoría de sistemas de control de olores y trabajos de investigación en el tema se refieren al tratamiento del ácido sulfhídrico (Min Salud, 2012, pp 27-28).

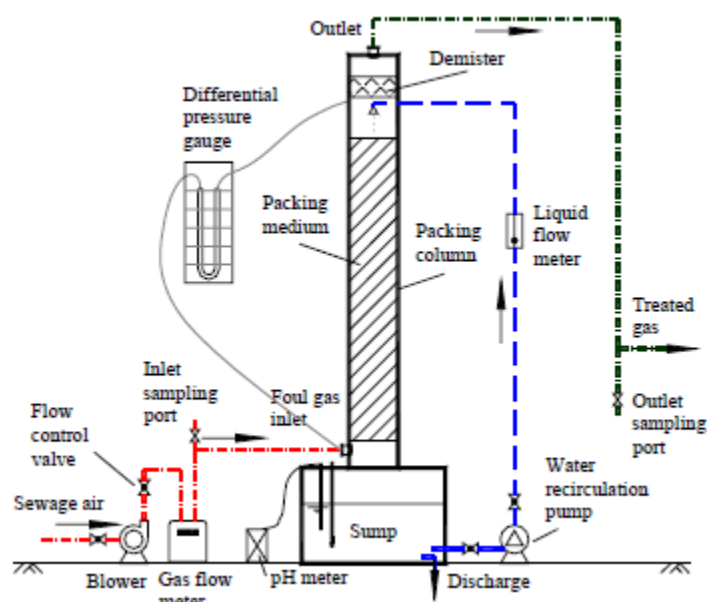
### ***7.2.1 Control de olores de aguas residuales***

Según una experiencia realizada en Singapur, en una planta de aguas residuales donde se desarrolló una tecnología de un filtro bipercolador. Se trata de una filtración biperckling que usa una bacteria de la familia Thiobacillus sp. que es la encargada de hacer la remoción de H<sub>2</sub>S, ya que es considerada como un oxidante del azufre natural, además lleva un material de relleno del filtro. En su experiencia realizada en la planta, primero se realizó una cuantificación de las características de H<sub>2</sub>S generadas en la planta de recuperación de agua, después se realizó el proceso de cubrimiento para la captación del gas y este era transportado al filtro biperckling, donde teniendo en cuenta la concentración de entrada estaba la eficiencia de remoción, a mayor cantidad de concentración mayor será la remoción, llegando a una remoción de hasta un 90% del gas oloroso. Es una tecnología rentable y amigable con el medio ambiente además de que no requiere el uso de reactivos químicos por lo que produce ahorro (Lawrence, 2000).

A continuación, en la figura 4. se encuentra el sistema de tratamiento con el método de filtración biperckling diseñado para la planta de recuperación de agua municipal de Singapur.

**Figura 4.**

*Diagrama del depurador biperckling*



*Nota.* Adaptado de Sewage Odour Control, (p.95), por Lawrence, 2000, Nanyang Avenue.

### 7.2.2 Biofiltración

Los biofiltros están diseñados, para la descomposición especialmente del Ácido Sulhídrico H<sub>2</sub>S y otros compuestos reducidos del azufre presentes en el aire, la biofiltración está conformada de unos biofiltros que son recipientes compuestos por lechos de materiales naturales como tierra, compost, residuos agrícolas, o lechos inertes y biológicos, a través de los cuales pasa el aire contaminado. Estos tienen como función tratar los olores provenientes de aguas residuales removiendo por biofiltración una cantidad significativa de contaminantes de las aguas residuales (Lozada y Giraldo, 2019). Esta biomasa debe mantenerse con una humedad adecuada para garantizar la vida microbiana la cual es inoculada y vigilada previamente para su auto adaptación

en el filtro, la comunidad microbiana crecerá con las sustancias brindadas con la corriente de aire contaminado (EPA, 1994).

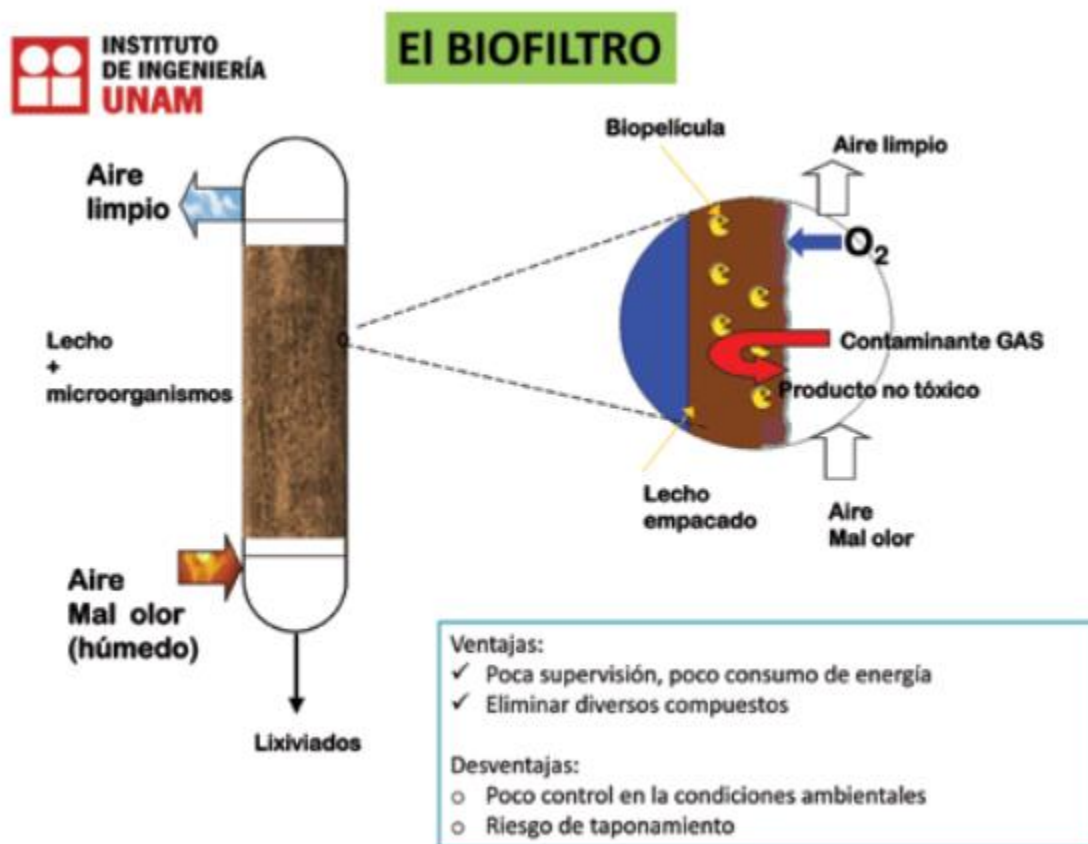
También se describe un biofiltro como un dispositivo que contiene un espacio de entrada de olores ofensivos, seguido de un lecho de material orgánico que puede ser compost, astillas de madera, fibra de coco, corteza de árboles o turba mezclados con material inorgánico como grava que permiten mantener la porosidad para el flujo continuo del aire; esta biomasa debe mantenerse con una humedad adecuada para garantizar la vida microbiana la cual es inoculada y vigilada previamente para su auto adaptación en el filtro, la comunidad microbiana crecerá con las sustancias brindadas con la corriente de aire contaminado. Los biofiltros están diseñados, para la descomposición especialmente del Ácido Sulhídrico H<sub>2</sub>S y otros compuestos reducidos del azufre presentes en el aire, un biofiltro es un dispositivo que contiene un espacio de entrada de olores ofensivos (Envitech, 2015).

Según Mora (2018) dice que un biofiltro no requiere de altos consumos de energía y puede eliminar diversos compuestos tóxicos; para su construcción no requiere de altos costos con respecto a los tratamientos fisicoquímicos, ni de personal altamente calificado para su mantenimiento, además se adapta fácilmente si se presenta variación en la cantidad y tipo de contaminante, de igual manera otros autores como Kennes y Thalasso (1998) exponen que se considera la biofiltración es una de las tecnologías más económicas, en especial para el tratamiento eficiente de grandes flujos de aire poco contaminados. El costo de tratamiento es muy variable y puede oscilar entre 0.3 y 2.5 dólares americanos por 1000 m<sup>3</sup> tratados, lo cual es de 3 a 10 veces inferior a las tecnologías de tratamiento de tipo físico-químico (incineración, adsorción, etc.), dependiendo de la concentración y toxicidad de los contaminantes.



Figura 5.

Esquema de un biofiltro



Nota. Adaptado de *Eliminación biotecnológica de malos olores* [Imagen], por Gonzalez y Morgan, 2008, (<http://gacetaii.iingen.unam.mx/GacetaII/index.php/gii/article/view/1550/1506>)

### 7.2.3 Filtros de carbón activado

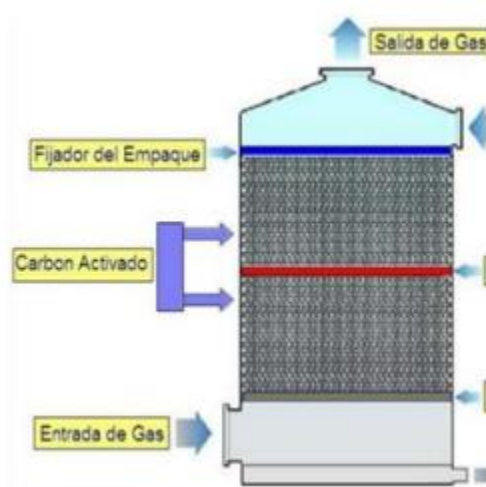
El carbono activo es utilizado en la industria como filtro, especialmente en la recuperación de gases, control de emisiones, eliminación de olores en aguas industriales y residuales (Marsh, 1989).

El carbón Activo es por excelencia un sólido adsorbente de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) gracias a su alta superficie específica que permite un amplio contacto entre el aire contaminado y la superficie adsorbente. Los filtros de carbón activado, permiten la

neutralización rápida de contaminantes, pues el aire contaminado es introducido por la parte inferior de una capsula llena de carbón activo donde todos los contaminantes son retenidos en el carbón saliendo por la parte superior el aire limpio; ante una disminución sustancial de la adsorción del carbón activo, éste debe ser regenerado mediante la pirolisis (Nelson, 2003, como se citó en Betancur, 2017).

**Figura 6.**

*Filtros de carbón activado*



*Nota.* Adaptado de Filtros de carbón activado [Imagen], por Envitech, 2015, (<http://www.envitech.es/>)

## 7.3 FORMULACIÓN PLAN DE REDUCCIÓN DEL IMPACTO POR OLORES

### OFENSIVOS (PRIO)

Según la resolución 1541 de 2013 se realiza la formulación del plan de reducción de impacto por olores ofensivos teniendo en cuenta los contenidos del PRIO.

#### 7.3.1 Datos generales

- **Razón Social:** Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P.
- **Nit:** 820000671-7
- **Dirección de correspondencia:** Carrera 3 Este 11 - 20
- **Representante Legal:** Persona Jurídica Principal
- **Teléfono:** 7440088
- **Correo Electrónico:** info.tunja@veolia.com
- **Actividad Económica Principal:** E 3600 - Captación, tratamiento y distribución de agua.
- **Actividad Económica Secundaria:** E 3700 - Evacuación y tratamiento de aguas residuales.

#### 7.3.2 Localización

La planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Tunja se encuentra ubicada al Nororiente de la ciudad de Tunja, kilómetro 1 de la variante vial que comunica los municipios de Tunja y Oicata más específicamente en la vereda Pirgua.

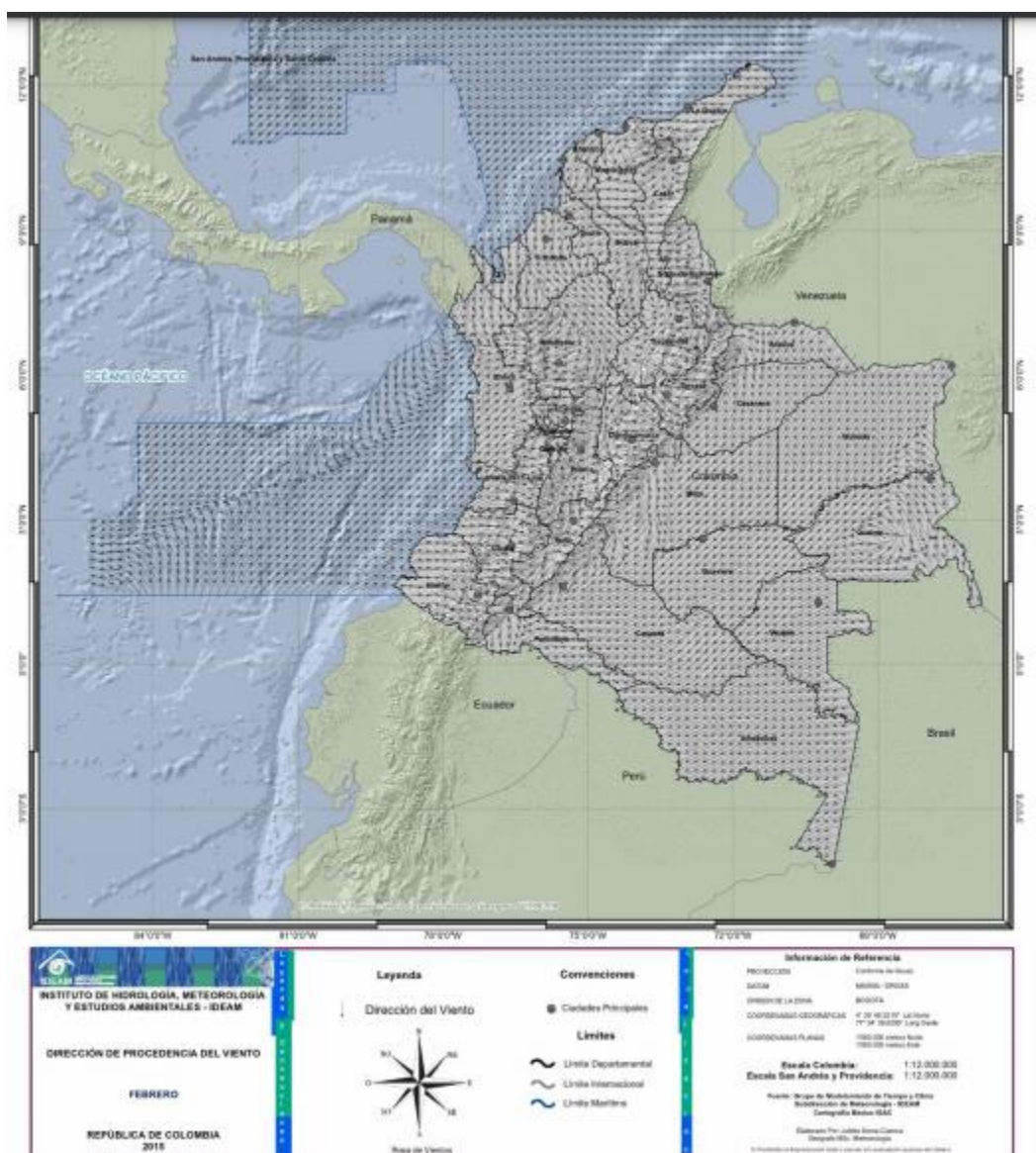
Sus coordenadas geográficas son de latitud 5.579644 y longitud -73.321139, con una altura de 2640 m.s.n.m. Sus límites hídricos son el río Jordán y la quebrada La Cebolla.

En cuanto a la caracterización meteorológica se presenta que en Tunja el clima es bimodal, es decir presenta veranos que son largos y frescos; y así mismo inviernos los cuales son cortos, fríos y mojados; pero en su mayoría está nublado durante todo el año, así mismo su temperatura generalmente varía entre 5 °C a 17 °C durante el transcurso del año, teniendo así una temperatura

promedio anual de 12.9 °C; su precipitación anual es de 645 mm, la dirección predominante del viento es del Sureste y la velocidad predominante del viento puede variar en relación a sus veranos o inviernos entre 2 y 10 m/s (Atlas IDEAM). A continuación, en la figura 7 y 8 se muestra el comportamiento de la dirección del viento a nivel Colombia y Boyacá donde se puede observar que los vientos van del Este al Noroeste.

Figura 7.

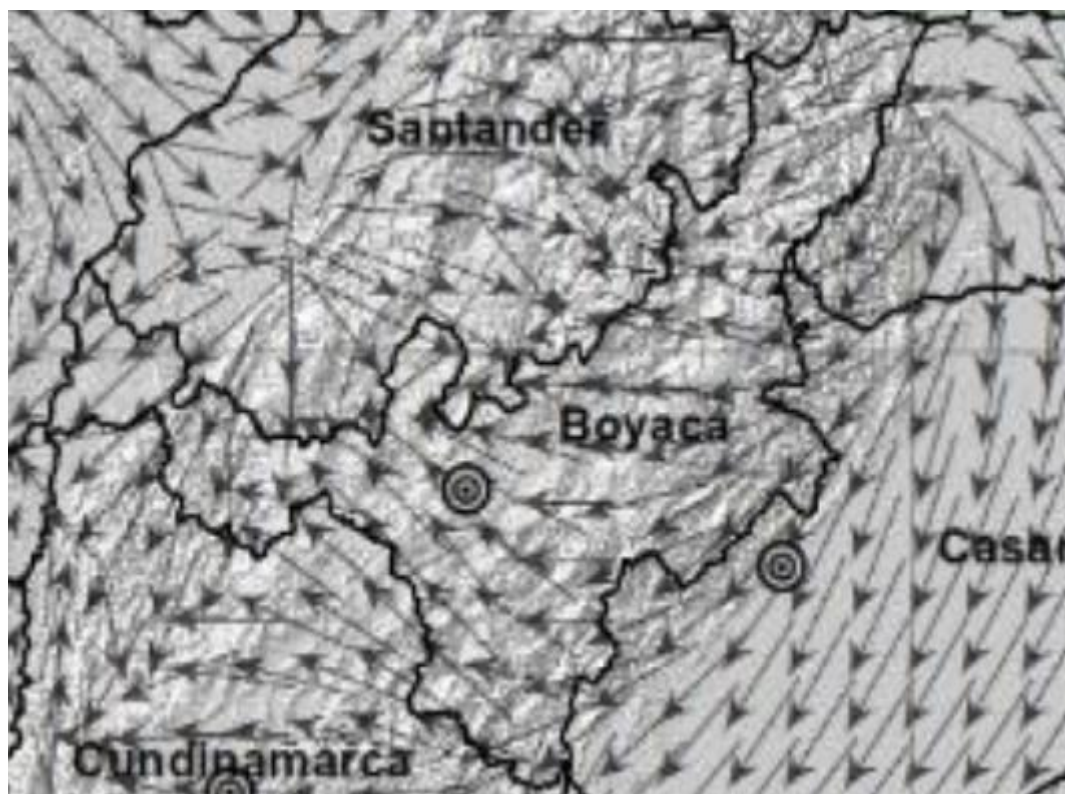
Mapa de dirección del viento Colombia



Nota. Adaptado de Atlas meteorológico, [Imagen] IDEAM, 2015.

**Figura 8.**

*Visualización dirección del viento en Boyacá*



*Nota.* Adaptado de *Atlas meteorológico*, [Imagen] IDEAM, 2015.

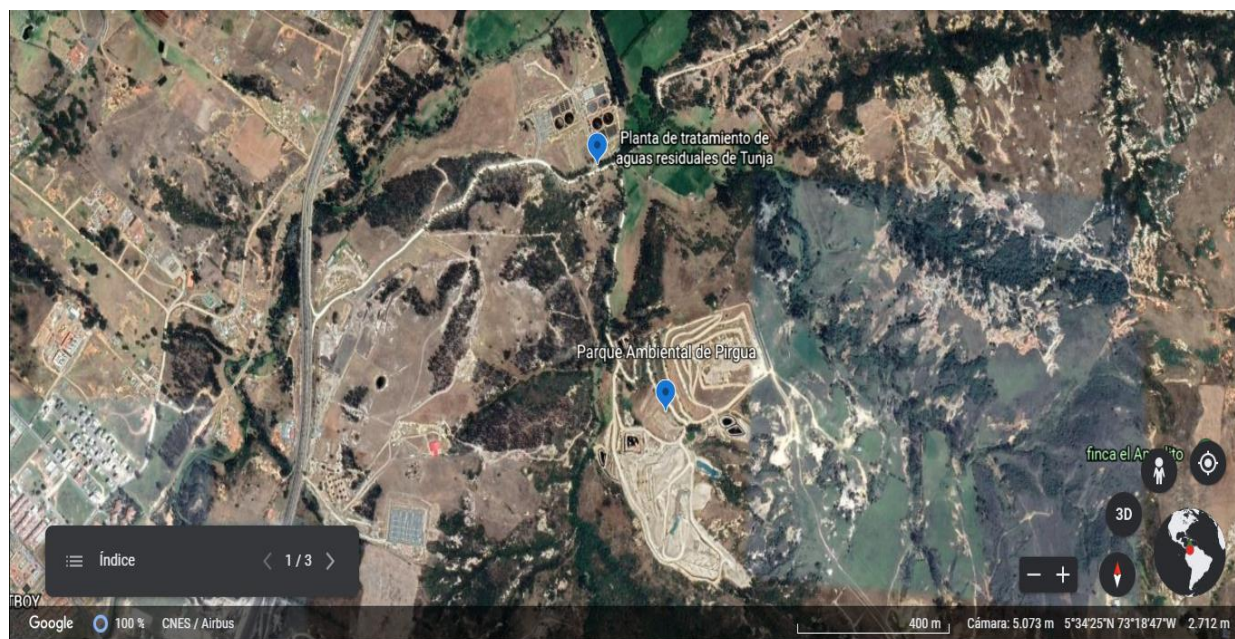
Teniendo en cuenta la ubicación de la planta de tratamiento de agua residual, se identifica como otra posible fuente generadora de olores ofensivos el Parque Tecnológico Ambiental de Pírgua, ya que está ubicado de igual manera en el Nororiente de la ciudad de Tunja, en una ubicación muy cercana de la PTAR de aproximadamente de 50 metros, este presenta unas coordenadas geográficas de latitud 5,5759124 y longitud de -73,3212685.

A continuación, en la figura 9 se puede observar la localización de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tunja, y del parque tecnológico ambiental de Pírgua o relleno sanitario.



## Figura 9.

*Localización Planta de Tratamiento de Agua Residual Tunja y otras posibles fuentes generadoras de olores*



*Nota.* Adaptado de Google Earth, 2021.

### 7.3.3 Identificación de la problemática

Actualmente, al realizar la consulta con la autoridad ambiental Corpoboyacá se identifica que no se cuentan quejas por olores ofensivos interpuestas por la comunidad con respecto a la operación de la PTAR, es por esto que no se tiene una realización de encuestas acerca del tema puesto que no se cuenta con la cuantificación de viviendas para establecer el área de afectación.

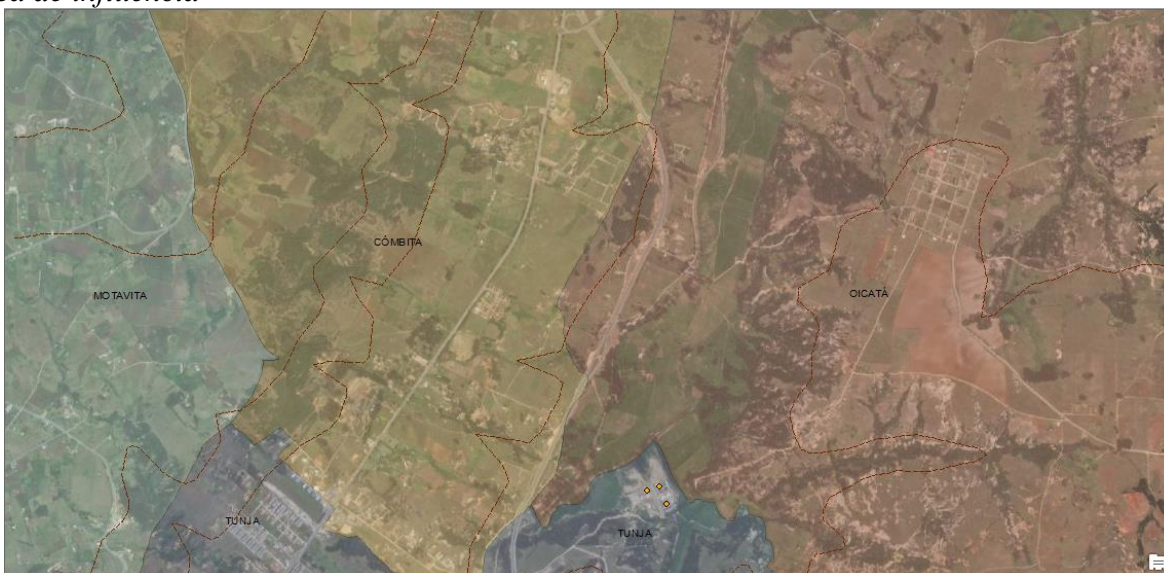
La problemática radica en la generación de olores ofensivos, la cual se ve influenciada por la planta de tratamiento de aguas residuales y así mismo por el parque tecnológico ambiental de Pirgua a causa de que se encuentran muy cercanos, es preciso destacar que el parque tecnológico ambiental actualmente es operado por la empresa Urbaser quien recibe los residuos de aproximadamente 64 municipios la mayoría del departamento de Boyacá y otros departamentos cercanos, gestionando así un aproximado de 8500 toneladas de residuos al mes; esto teniendo en

cuenta la información suministrada en la página oficial de la empresa Urbaser Tunja. Cabe resaltar que la operación del Parque Tecnológico Ambiental para recepción de residuos es de lunes a sábado entre 6:00 y 16:00 horas.

Con el fin de hacer la identificación de la problemática se establece el área de influencia para identificar a que población se está llegando a afectar con los olores generados en la PTAR, se toma un área de 3600 hectáreas basadas en el comportamiento de la dirección del viento para la zona, esta se definió con el fin de establecer si se puede llegar afectar a comunidad de hasta 3 municipios cercanos Tunja, Oicata y Combita tal y como se observa en la siguiente imagen:

**Figura 10.**

*Área de influencia*



*Nota.* Zona azul oscura – Tunja, zona amarilla – Combita, zona roja – Oicata, zona azul claro – Motavita. Elaboración propia.

### **7.3.4 Descripción de la actividad**

La planta de tratamiento de agua residual de Tunja es la encargada de procesar las aguas residuales que se generan en el municipio de Tunja, las aguas residuales son conocidas como aguas negras (provenientes de inodoros), aguas grises (tinas, duchas, lavadoras y lavamanos) o aguas

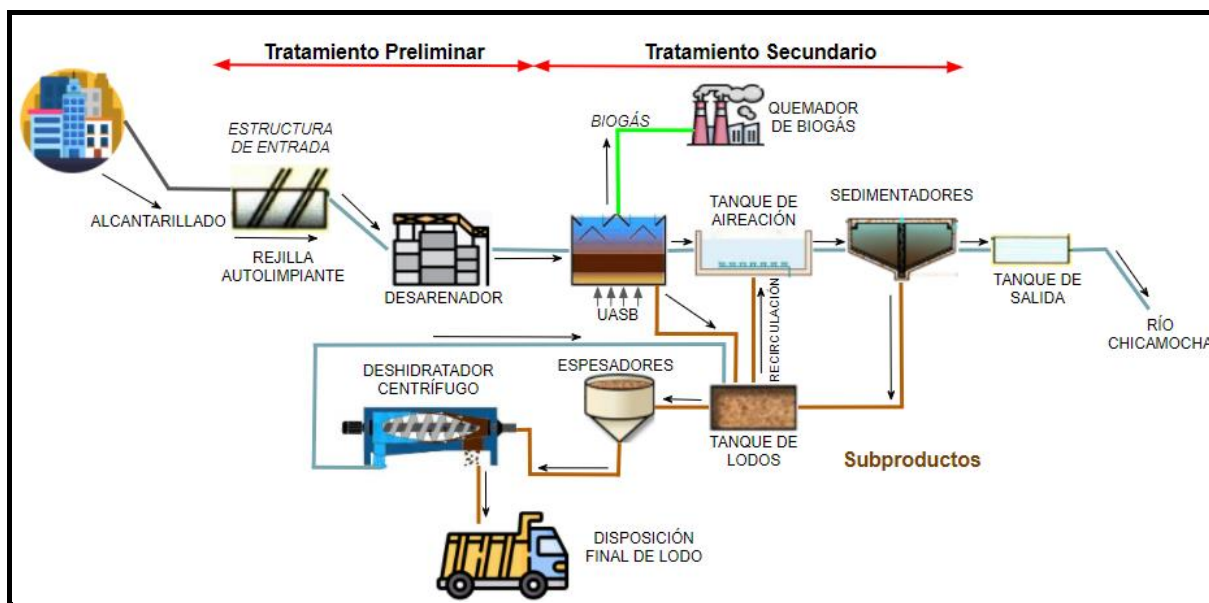


lluvias (techos, calles y superficies donde circula el polvo y demás agentes externos) y cada una se diferencia por su composición física, química y biológica (Romero, 2004), en base a lo anterior se considera que el tratamiento de aguas residuales o depuración de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua (Torres, 2019).

La PTAR de Tunja está distribuida de manera modular, actualmente cuenta con el funcionamiento de dos módulos los cuales realizan un tratamiento preliminar, secundario y de subproductos los cuales están compuestos de la siguiente manera:

**Figura 11.**

*Diagrama de flujo planta de tratamiento de aguas residuales de Tunja*



*Nota.* Elaboración propia

### 7.3.4.1 Tratamiento preliminar:

**1. Estructura de entrada:** En la PTAR de Tunja, el proceso inicia cuando el agua residual es transportada por medio del alcantarillado y conducida hacia la estructura de entrada de la planta la cual está conformada por:

- El By pass o vertedero que es por donde pasa el agua residual que sobrepasa la capacidad de tratamiento de la planta la cual es de 120 l/s por módulo.

- Canal de entrada a la PTAR donde el agua residual pasa por una rejilla auto limpiante de separación de sólidos gruesos que sean mayores a 10 mm de espesor de allí cae por un vertedero graduado que distribuye el agua residual en iguales cantidades para cada módulo de operación, por medio de un sistema de canales, válvulas y tuberías.

**2. Desarenador.** En esta estructura se realiza el proceso de eliminación de arenas y limos del agua residual mediante la sedimentación, posteriormente pasa a la canaleta parshall la cual es una estructura que mide y regula el caudal de ingreso al tanque anaerobio (UASB) que es conducido por gravedad hasta este.

#### **7.3.4.2 Tratamiento Secundario:**

**1. Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB):** Es una unidad de tratamiento anaeróbico donde se cultivan microorganismos (en ausencia de oxígeno) que se alimentan de la materia orgánica contenida en el agua residual produciendo biogás y creando un manto de lodo que se retira eventualmente para ser espesado, el agua residual con menor contenido de materia orgánica pasa a una caja de salida para pasar por gravedad al siguiente tratamiento.

**2. Tanque de aireación:** Se realiza un tratamiento aerobio al agua residual, el cual se basa en la inyección de aire al agua por medio de un sistema de motores de oxigenación (sopladores y difusores), buscando la remoción del resto de materia orgánica presente en el agua residual.

**3. Sedimentadores:** El agua residual llega por medio de unas tuberías por el centro y en su recorrido dentro del tanque sedimentan los sólidos suspendidos, logrando así la separación

del agua y del lodo, llegando al final el agua residual clarificada la cual se descarga a un canal de salida perimetral por medio de un vertedero hacia el tanque de salida; de allí se desprende el proceso de tratamiento de lodo el cual queda almacenado en la tolva de recolección.

**4. Tanque de salida:** Es el tanque donde se recibe y almacena el agua tratada y de allí es conducida por medio de una tubería hacia la salida la cual está compuesta de un canal de agua que se dirige hacia el vertimiento final donde se encuentra con el río Jordán o cuenca alta del río Chicamocha, ya que el tanque tiene un almacenamiento constante de agua esta se puede reutilizar en diferentes operaciones de mantenimiento y operación de la planta.

#### **7.3.4.3 Tratamiento de Subproductos:**

**1. Espesador de lodo:** El lodo generado en los diferentes tratamientos, principalmente en los sedimentadores y eventualmente del reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB), son conducidos por gravedad al tanque de lodos, de donde son bombeados y regulados por medio de unas tuberías y válvulas al tanque de aireación y de vez en cuando al espesador de lodo, donde tiene un proceso de concentración.

**2. Deshidratador centrífugo:** El lodo que proviene del espesador, pasa por el deshidratador centrífugo, donde es secado y reducido a un contenido de humedad de aproximadamente el 80%, donde es dispuesto en cajas estacionarias las cuales son transportadas por vehículos de la empresa de aseo para ser sometido a un tratamiento y manejo adecuado fuera de la planta.

**3. Biogás:** Para el tratamiento del biogás generado principalmente en el UASB, se tiene principalmente que el metano sea atrapado y quemado generando dióxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles (VOC) que es luego re direccionado hacia la caseta de

sopladores y finalmente a los difusores donde promueven la creación de organismos (Chernicharo, 2013), aunque se resalta que se encuentra en proceso la optimización del tratamiento del biogás.

Dentro de la generación de subproductos se tiene un aproximado de 250 toneladas de lodo que son tratadas, pero para la generación de biogás no se cuenta con una cuantificación. Las aguas residuales tienen un olor característico debido a que poseen un alto contenido de materia orgánica y sulfatos, en condiciones anaerobias y de pH bajo, contribuyen por ello al crecimiento de bacterias reductoras del sulfato, las cuales degradan la materia orgánica para producir energía usando los sulfatos como agente oxidante, lo que produce Sulfuro de Hidrógeno ( $H_2S$ ) que es un gas odorífero, de modo que el olfato humano lo detecta en concentraciones de 0.02-0.13 ppm: su olor es el de materia orgánica en descomposición, como el de huevo podrido (Caicedo, 2011).

En la planta de tratamiento de agua residual de Tunja, la principal etapa donde se generan olores ofensivos es en el reactor anaerobio de flujo ascendente UASB, ya que como se mencionó anteriormente es por medio de un tratamiento anaerobio que además genera biogás compuesto de metano, ácido sulfhídrico, entre otros. Entre más carga orgánica tenga un agua residual mayor cantidad de metano se generará por volumen de líquido tratado para proveer cantidades relativamente altas de energía que eleven la temperatura del líquido (Márquez y Martínez, 2011, pp 15). En los procesos anaerobios tal y como lo afirma Lorenzo y Obaya (2005):

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (40 a 70 %), dióxido de carbono (30 a 50 %), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable,

aunque generalmente oscila alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70 %.

De igual manera existen otras etapas donde se generan olores ofensivos, dentro de estas están la estructura de entrada, rejilla auto limpiante y desarenador ya que aquí se almacenan las aguas residuales con todos los desechos que estas tienen y en el tratamiento de lodos debido a que se realiza por deshidratación, aunque en estas etapas se presentan en una menor proporción.

### ***7.3.5 Descripción, diseño y justificación técnica de la efectividad de las buenas prácticas o las mejores técnicas disponibles a implementar.***

Las alternativas que se presentan para el control de olores ofensivos generados en la operación de la PTAR de Tunja se enfoca principalmente en el reactor anaerobio de flujo ascendente UASB, ya que se ha identificado por olfatometría directa (del personal que labora en la planta) que es una de las principales unidades generadoras de olores ofensivos, pero así mismos también se tienen en cuenta para un posterior tratamiento la rejilla auto limpiante, desarenador y tratamiento de lodos. Para la selección del sistema de control de olores es necesario realizar diferentes actividades previas a dicha definición tales como la cuantificación de los gases emitidos en las unidades del proceso operativo, esto se puede realizar por medio de equipos medidores como el equipo GEM5000 que es un método de lectura directa diseñado para medir el flujo y concentración del gas permitiendo a su vez la estandarización de las rutas de monitoreo, la fácil transferencia de los datos y la incorporación de GPS (Pineda, 2003), o realizando una caracterización de emisiones; esto con el fin de poder seleccionar el sistema de control de olores óptimo y así dar cumplimiento a la normatividad vigente de olores ofensivos.

Debido a que actualmente no se ha realizado una caracterización y medición de las sustancias o mezclas de sustancias generadoras de olores ofensivos las alternativas que se proponen

para el control de olores en las unidades mencionadas se basan en los diferentes casos de estudio consultados sobre control de olores, eliminando H<sub>2</sub>S u otra sustancia generada en la operación de plantas de tratamiento de agua residual, así como de las experiencias que se han tenido en otras plantas de tratamiento. Es por esto que se realizaron diversas cotizaciones de alternativas de tratamiento para ser implementadas como mejores técnicas.

#### **7.3.5.1 Neutralización de olores de ecosorb**

Ecosorb es un producto neutralizador de olores que usa ingredientes naturales sin necesidad de sustancias químicas, es un producto a base de aceites esenciales, surfactante y agua; siendo así una sustancia no tóxica y amigable con el medio ambiente determinado así gracias a las pruebas de toxicidad sometidos según la EPA. Es un producto que se atomiza en el aire del proceso oloroso o añadirse directamente al proceso sin que este se vea afectado.

La aplicación de este producto debe hacerse por medio de un sistema de aplicación por vaporización o atomización, siendo un sistema que interactúa de tal forma que el conjunto de neutralización opere eficientemente enviando una corriente de vapor seco a alta velocidad que contiene el agente neutralizador por medio de una tubería o ducto flexible hacia la zona de emisión de olores, con el fin de neutralizar y eliminar el olor; la diferencia entre el método de vaporización y atomización es que este último debe realizarse con una dilución de agua (Ecosorb, 2008)

**Figura 12.**

*Sistema de control de olores Ecosorb en una planta de tratamiento de aguas residuales en Butler, Pennsylvania.*



*Nota.* Adaptado de *Ecosorb Industria* [Imagen], 2008, (<https://ecosorbindustrial.com/espanol/markets/wastewater.php>)

### **7.3.5.2 Control de olores ecomate de TQI**

Es un sistema de aspersión donde se utiliza un catalizador bio-orgánico, que se encarga de la eliminación de olores oxidando las moléculas causantes de olor. Neutraliza los compuestos orgánicos volátiles, dando así un control de olores y reducción de emisión de VOC, este compuesto se puede utilizar a altas velocidades, y realizando diluciones entre los sistemas de nebulización y pulverización. El sistema de aspersión funciona por medio de un tanque dosificador, en el tanque se realiza la mezcla de producto y de allí es conducido por medio de una tubería la cual contara con diferentes orificios según se requiera, se debe tener en cuenta que el catalizador se compra y suministra de manera continua y constante.

### **7.3.5.3 PODZ Horizon de Pi2 technologies**

PODZ Horizon es un geomembrana reforzada que incluye filtros de carbón activado, para cubrir herméticamente y reducir las emisiones de olores y los gases de efectos invernadero en los tanque de aguas residuales (Pi2 Technologies, 2020), es una alternativa de tratamiento que se

ajusta al tamaño que se requiere para la zona a tratar, no requiere uso de energía ni de productos químicos lo que la convierte en una alternativa altamente amigable con el medio ambiente, con un alto porcentaje de reducción de olores que está entre el 90 - 95 %.

**Figura 13.**

*Geomembrana PODZ Horizon*



*Nota.* Adaptado de *PODZ Horizon* [Imagen], por Pi 2 Technologies, 2021, (<https://es.pi2technologies.com/podz-horizon>)

**Figura 14.**

*Geomembrana PODZ Horizon*



*Nota.* Adaptado de *PODZ Horizon* [Imagen], por Pi 2 Technologies, 2021, (<https://es.pi2technologies.com/podz-horizon>)



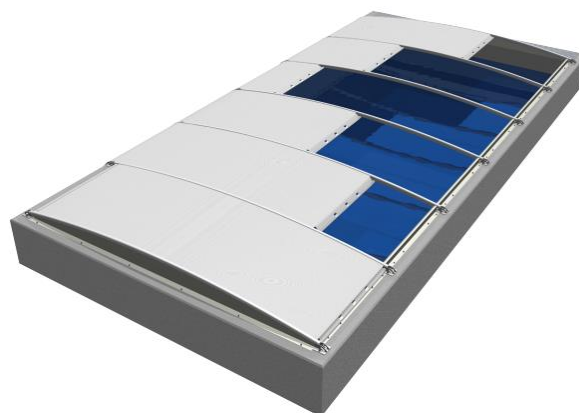
### 7.3.5.4 AK envipure

Es una empresa que ofrece dos alternativas de tratamiento en la cual la primera se trata de una cobertura Z6000 la cual además de disminuir las emisiones de olores va a reducir la corrosión, se trata de una membrana fabricada en PVC con poliéster y perfiles de aluminio que van a cubrir el tanque, es resistente a los rayos UV.

La siguiente alterativa se trata de sistema de control de olores OCS, realizada por el método de un filtro que realiza el proceso de adsorción, esta es considerada una forma segura y eficaz para eliminar los olores ya que el carbono adsorbente elimina varios componentes orgánicos y sustancias olorosas entre esos el sulfuro de hidrogeno y el amoniaco, se trata de una unidad OCS donde por medio de un ventilador ingresa el aire contaminado por la parte inferior y pasa a través de un lecho de carbón activado catalítico, donde se realiza un proceso de oxidación catalítica principalmente con el  $H_2S$  sin necesidad de reaccionar con el carbón y de allí se conduce hacia la parte superior. El lecho de carbono se diseña de acuerdo a las sustancias y al flujo que se desea eliminar

#### **Figura 15.**

*Sistema de control de olores Meva OCS*



*Nota.* Adaptado de Meva OCS [Imagen], por Nordic Water, 2021, (<https://www.nordicwater.com/>)

**Figura 16.**

*Sistema de control de olores Meva OCS*



*Nota.* Adaptado de Meva OCS [Imagen], por Nordic Water, 2021, (<https://www.nordicwater.com/>)

Las diferentes alternativas presentadas tienen diversos casos de aplicación y éxito alrededor de Latinoamérica y el mundo.

#### **7.3.5.5 Instalación de domos**

Según el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de Tunja, se previó también en el tratamiento de subproductos con un quemador de biogás y lavado de  $H_2S$ . En el quemador de biogás se realiza la combustión del gas metano proveniente del tanque anaerobio (UASB) y en el lavado de  $H_2S$ , se realiza una recolecta del  $H_2S$  en unos domos que cubren la parte superior del UASB, luego se conduce el gas por tubería y se hace pasar por un separador de gotitas para retirarle la humedad y se inyecta por medio de un soplador y difusores de burbuja al fondo del tanque de aireación.

Los domos fueron retirados por motivos de prevenir accidentes de trabajo, por lo que se realizó un periodo de prueba del comportamiento del UASB y los olores que genera sin los domos. Dentro de las alternativas de tratamiento de olores, se plantea de igual manera la reinstalación de dichos domos que están fabricados en fibra de vidrio, con el fin de que cubran los tanques anaerobios y realizar el tratamiento de gas sulfhídrico que es uno de los causantes de olores por medio del soplador encargado.

A continuación, se presentan un cuadro comparativo con los costos aproximados y algunas ventajas de las diferentes alternativas de tratamiento cotizadas, cabe resaltar que el precio está relacionado para una unidad de tratamiento es decir para tratar un solo modulo.

**Tabla 4.**

*Comparación mejores técnicas disponibles*

<b>Tecnología o sistema</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Precio</b>
<b>Neutralización de olores de Ecosorb</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No es toxico ni peligroso</li> <li>- Es de fácil aplicación e instalación</li> <li>- No altera las propiedades físicas o químicas del compuesto al que se esté aplicando</li> <li>- Es biodegradable</li> <li>- Elimina olores sin enmascáralos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere dosificación de la sustancia neutralizadora</li> <li>- Requiere uso de agua y energía, esto dependiendo el tipo de sistema de aplicación a usar</li> </ul>	\$180.000.000
<b>Control de olores Ecomate de TQI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es fácil de instalar</li> <li>- No es toxico</li> <li>- No contiene bacterias</li> <li>- Reduce olores y VOC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El catalizador debe ser suministrado de manera constante puesto que representa un gasto continuo en el tratamiento, se debe estabilizar el sistema para reconocer la cantidad adecuada a suministrar hasta que se neutralicen los olores generados</li> <li>- Requiere uso de agua potable y de energía</li> </ul>	\$35.000.000

<b>PODZ Horizon de Pi2 Technologies</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No requiere uso de energía ni agua</li> <li>- Es amigable con el medio ambiente</li> <li>- Tiene alta eficiencia en la eliminación de olores</li> <li>- No altera el proceso de la planta</li> <li>- No genera residuos constantes, solo cuando se requiera cambiar el filtro</li> <li>- Es durable y duradero</li> <li>- Elimina el uso de productos químicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere cambio de filtros aproximadamente una vez al año</li> </ul>	\$480.000.000
<b>AK Envipure</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elimina varias sustancias generadoras de olores</li> <li>- Reduce la corrosión</li> <li>- No requiere mantenimiento constante</li> <li>- Usa filtros carbón catalítico</li> <li>- Es amigable con el medio ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se debe cambiar los filtros de manera constante</li> </ul>	\$300.000.000
<b>Instalación Domos en fibra de vidrio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realiza la eliminación de biogás y H<sub>2</sub>S</li> <li>- Mitiga los olores generados en el UASB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los domos pueden encontrarse deteriorados lo que puede generar costos adicionales para su arreglo y adaptación</li> </ul>	\$28.000.000

*Nota.* Elaboración propia

La selección de la mejor técnica disponible a implementar estará a cargo de la empresa Veolia aguas de Tunja, teniendo en cuenta los costos – beneficios empleados por las diferentes alternativas.

Dentro de las mejores prácticas a implementar se proponen diferentes alternativas:

- Aplicación de aspersion manual de un neutralizador de olores en las estructuras donde se generan mayor emisión de los mismos.

- Diseñar un sistema de cercas vivas, con el fin de disminuir el efecto de las actividades de la planta en zonas aledañas, se debe tener en cuenta unas recomendaciones básicas:
  - La siembra se realiza de manera perpendicular a los vientos predominantes
  - Usar vegetación con capacidad de rebote y en lo posible que sean de tipo aromático
  - Usar vegetación resistente al viento y de rápido crecimiento.
- Emplear productos de agentes oxidantes para prevenir la formación de H<sub>2</sub>S dentro de los diferentes procesos unitarios donde sea mayor su generación y principalmente en el reactor UASB
- Realizar una optimización del proceso, esto incluye la prevención de acumulación de lodo dentro de las estructuras, operar la planta acorde a la capacidad diseñada bien sea de carga o de caudal.
- Realizar actividades de mantenimiento como la limpieza trimestral o semestralmente en las diferentes estructuras donde se generan olores: rejillas auto limpiantes, desarenadores, trampa de grasas, entre otras y a su vez aplicar un producto catalizador orgánico.
- Cuando se realice tratamiento de lodos retirado de los UASB se puede realizar la aplicación de un catalizador orgánico, con el fin de minimizar los olores que este lodo trae y que estos se dispersen en el ambiente
- Mantener un monitoreo constante de los umbrales de olores generados en la PTAR

### **7.3.6 Metas y actividades**

- Realizar una encuesta a los vecinos más cercanos para conocer su opinión acerca de los olores, esto teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por la EPA donde se cuantifica percepción, horario, intensidad, dirección de donde se percibe, descripción del olor, frecuencia.

- Realizar un modelo de dispersión para cuantificar la comunidad afectada, con las emisiones generadas por la PTAR.
- Medición de sustancias generadas in situ, antes de implementar las mejores prácticas y a los 6 meses de haberlas implementado.
- Implementar las mejores técnicas en un plazo no mayor a 5 años.
- Realizar monitoreo constante de los olores emitidos.
- Disminuir en un 90% los olores emitidos por la PTAR.
- Emplear un convenio con la empresa Urbaser para que en conjunto se mitiguen los olores generados tanto del parque tecnológico ambiental como de la PTAR para minimizar la afectación a la comunidad.

### ***7.3.7 Cronograma de ejecución***

Teniendo en cuenta las mejores prácticas y tecnologías disponibles, se realiza la formulación del cronograma de ejecución teniendo en cuenta un periodo máximo de 5 años de ejecución de plan empezando su primer año para el 2022, se resalta que las diferentes actividades estarán a cargo de la empresa Veolia aguas de Tunja y pueden estar sujetas a cambios según lo considere la empresa

**Tabla 5.***Cronograma de ejecución*

<b>Tiempo de ejecución</b>	<b>Actividad</b>
<i>Primer trimestre (Enero - Marzo 2022)</i>	Realización de la cuantificación de los olores generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Tunja
<i>Segundo trimestre (Abril -Junio 2022)</i>	Ejecución de modelación de olores con los valores obtenidos de la cuantificación, con esto se puede identificar a la población más vulnerable a percibir los olores y establecer las mejores prácticas a implementar según corresponda
<i>Tercer trimestre (Julio - Septiembre 2022)</i>	Aplicación de encuestas a la comunidad más cercana y a los trabajadores de la planta, realizar acercamiento con las otras posibles fuentes generadoras de olores.
<i>Cuarto trimestre (Octubre - Diciembre 2022)</i>	Implementación de mejores prácticas disponibles y monitoreo de emisión de olores después de 3 meses de su implementación
<i>2do a 5to año (2023 - 2026)</i>	Implementación de mejores técnicas disponibles, según la elección de la empresa.
<i>2do a 5to año (2023 - 2026)</i>	Monitoreo de emisión de olores.
<i>2do a 5to año (2023 - 2026)</i>	Evaluación del plan de reducción del impacto por olores ofensivos.

*Nota.* Elaboración propia

De igual manera se considera la no realización del plan de contingencia debido a que no se cuenta aún con la implementación de las alternativas.

## 8. CONCLUSIONES

- Después de analizar la normatividad colombiana vigente para el tema de olores ofensivos, se establece que la planta de tratamiento de aguas residuales de Tunja es una posible fuente generadora de olores ofensivos esto a causa de diversos factores como puede ser un mal diseño de la planta que a su vez afecta la operación de la misma.
- En base a los límites establecidos por la normatividad y el monitoreo de olores ofensivos realizado se encuentra un cumplimiento parcial por parte de la PTAR, aunque estos resultados se ven influenciados por otras fuentes generadoras de olores ofensivos como lo es el parque tecnológico ambiental de Pírgua.
- Con el fin de mejorar la calidad de vida tanto de comunidad cercana, de operadores y de visitantes de la planta, se puede establecer como una alternativa y teniendo en cuenta la importancia de realizar el cubrimiento del UASB la tecnología PODZ Horizon, puesto que el carbón activado es uno de los principales removedores de  $H_2S$  y otras sustancias generadoras de olores; pero basados en cuanto al análisis costo – beneficio se considera la neutralización de olores por medio de un modelo de aspersion como una de las alternativas más viables.



## 9. RECOMENDACIONES

- Ejecutar el monitoreo de emisión de olores generados por las diferentes actividades de la planta, es decir, realizar una cuantificación de olores de la PTAR para establecer de acuerdo a la normatividad vista los umbrales de emisión de olores generados específicamente en los procesos de la misma, esto se puede realizar por el método de olfatometría dinámica.
- En base a la cuantificación de olores, realizar la modelación de dispersión de olores con el fin de establecer la cuantificación de viviendas y zona de afectación, y así mismo evaluar el modelo mediante un modelo matemático de dispersión para establecer su validación.
- De acuerdo a la cuantificación de viviendas afectadas realizar acercamiento con la comunidad, primero realizando una encuesta sobre los olores percibidos y de igual manera tener un acercamiento con las otras posibles fuentes generadoras de olores ofensivos (Urbaser) para establecer planes de acción y mejora para la comunidad.
- Llevar a cabo la implementación de las mejores prácticas disponibles, para reducir el impacto generado por los olores, principalmente la implementación de cercas vivas.
- Continuar con la segunda fase de elaboración del PRIO, el cual sería selección, ejecución y realización del plan de contingencia.

## 10. REFERENCIAS

- Betancur, D. M. (2017). *Implementación de sistemas de tratamiento básico, para el manejo y control de olores ofensivos en la planta de tratamiento de aguas residuales, municipio del Retiro – Antioquia*. (Proyecto Aplicado o Tesis, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD). Repositorio Institucional UNAD.  
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/1320>
- Caicedo, Y. (2011). *Biofiltración: Tecnología Aplicada a Contaminantes Líquidos y Gaseosos*. GIMSA: Santa Marta.
- Chernicharo, C. A. (2013). *Principios del Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Reactores Anaeróbicos*. (pág. 396). Editorial Universitaria.
- Decreto 948 de 1995 [Ministerio del Medio Ambiente]. Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. 5 de junio de 1995.
- Dispersión de contaminantes atmosféricos: Modelo gaussiano de la columna de humo*. (s. f.). Recuperado 7 de marzo de 2021, de <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/CA/Pract/Practica1.pdf>
- División de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente. (2013). *Estrategia para la gestión de olores en Chile (2014 – 2017)*. Gobierno de Chile.  
[http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articles-55384\\_EstrategiaGestionOlores2014\\_2017\\_final.pdf](http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articles-55384_EstrategiaGestionOlores2014_2017_final.pdf)

- Ecosorb. (2008). *Ecosorb solución ecológica para el control de olores industriales*.  
<https://ecosorbindustrial.com/espanol/why/>
- Envitech (2015). *Biofiltración*. <http://www.envitech.co.il/>
- EPA. (1994). Air emissions models for waste and wastewater. Document EPA-453/R-94-080.  
Research Triangle Parck, NC, USA: EPA Office of Air Quality Planning ans Standards.
- Espigares, M. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Universidad de Granada,  
Servicio de Publicaciones. España
- Gomez, M. C. (2020) *Control de olores ofensivos generados en unidades de plantas de tratamiento de agua residual domestica durante las etapas de arranque y estabilización* (tesis de pregrado). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Hernandez-Sampieri y Mendoza (2008). *Investigación mixta*. pp. 534
- Hilleboe, H. E. (1995) *Manual de tratamiento de aguas*. México: Limusa
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2011). Calidad del aire.  
Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica. (NTC 5880)  
<https://tienda.icontec.org/gp-calidad-del-aire-determinacion-de-la-concentracion-de-olor-por-olfatometria-dinamica-ntc5880-2011.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2013). Olfatometría.  
Muestreo Estático. (NTC 6011) <https://tienda.icontec.org/gp-olfatometria-muestreo-estatico-ntc6011-2013.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2013). Efectos evaluación de los olores. Evaluación sicométrica de las molestias por olores. Cuestionarios. (NTC 6012-1) <https://es.scribd.com/document/459534549/norma-6012-1>

- Kennes, C. y Thalasso, F. (1998). Waste gas biotreatment technology. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 72 (4), 303 – 319.
- Lawrence, C. (2000). Sewage Odour Control – The Singapore Experience. *Nanyang Avenue*, 93 – 100.
- Lorenzo, Y. y Obaya, C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los derivados de la Caña de Azúcar*, vol XXXIX (1), 35-48.
- Lozada, D. L. y Giraldo, E. A. (2019). *Origen de los olores en plantas de tratamiento de aguas residuales*. (Proyecto Aplicado o Tesis, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito). Repositorio Institucional. <https://1library.co/document/zxvp2ovy-origen-de-los-olores-plantas-tratamiento-aguas-residuales.html>
- Márquez, M. y Martínez, S. (2011). *Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología*. Centro Tecnológico Aragón. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. pp 15.
- Marsh, H. (1989). *Introduction to Carbon Science*, (Ed.1), Butterworth, London.
- Ministerio de Salud y Protección Social, y Organización Panamericana de la Salud. (2012). *Vigilancia sanitaria y ambiental del impacto de los olores ofensivos en la salud y calidad de vida de las comunidades expuestas en áreas urbanas*. pp. 27-28. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/impacto-olores-ofensivos-salud.pdf>
- Mora, B. Y. (2018). *Construcción de un biofiltro para la remoción biológica de sulfuro de hidrógeno en aire utilizando residuos de Moringa oleífera*. (Proyecto Aplicado o Tesis, Universidad de Santander). Repositorio Institucional UDES. <https://repositorio.udes.edu.co/bitstream/001/4353/1/Construcci%C3%B3n%20de%20un%20biofiltro%20para%20la%20remoci%C3%B3n%20biol%C3%B3gica%20de%20sulfu>

[ro%20de%20hidr%C3%B3geno%20en%20aire%20utilizando%20residuos%20de%20Moringa%20ole%C3%ADfera.pdf](#)

Morales, R. *Contaminación atmosférica urbana*. 1ed. Editorial Universitaria S.A. Santiago de Chile. 2006. pp. 197.

Murguía, W. (2007). Contaminación por olores: el nuevo reto ambiental. *Gaceta Ecológica*, (82), pp. 49-53. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908204>

Nordic Water, (2021). *Meva OCS* <https://www.nordicwater.com>

Pineda, N. (2003). Control de Olores en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas. ESSBIO S.A

Pi 2 Technologies. (2021). *Geomembrana PODZ Horizon*. <https://es.pi2technologies.com/podz-horizon>

Resolución 610 de 2010 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006. 24 de marzo de 2010.

Resolución 1541 de 2013 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por el cual se establecen los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y se dictan otras disposiciones. 12 de noviembre de 2013.

Resolución 672 de 2014 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1541 de 2013. 9 de mayo de 2014.

Resolución 1490 de 2014 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se amplía el plazo de entrada en vigencia de la Resolución 1541 de 2013 y se dictan otras disposiciones. 12 de septiembre de 2014.

Resolución 2087 de 2014 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo, Control y Vigilancia de Olores Ofensivos. 16 de diciembre de 2014

Resolución 0631 de 2015 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. 17 marzo de 2015.

Resolución 0330 de 2017 [Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio]. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. 8 de junio de 2017.

Romero, G. (2019). *Medición del Impacto por Olores Ofensivos. El caso de las Porcícolas de Albán, Cundinamarca*. (tesis de maestría). Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Colombia.

Romero, J. A. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales-Teoría y Principios de Diseño*. (pág. 1248). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sáenz, L., Zambrano, D., y Calvo, J. (2016). *Percepción comunitaria de los olores generados por la planta de tratamiento de aguas residuales de El Roble, Colombia*. Revista Tecnología En Marcha, 29(2), p. 137–149. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i2.269>

Torres, A. G. (2019). *Tratamiento de aguas residual doméstica mediante sistemas de depuración con macrófitas (Iemna minor y Eleocharis palustris) en la Universidad Nacional de Ucayali*. (Proyecto Aplicado o Tesis, Universidad Nacional de Huanuco). Repositorio Institucional UDH. <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2394>

Urbaser. (2021) *Urbaser Tunja*. <https://urbaser.co/tunja/>

US EPA. (2018). AERMOD Model Formulation and Evaluation. *Epa-454/ R-18-003*.  
[https://www3.epa.gov/ttn/scram/models/aermod/aermod\\_mfed.pdf](https://www3.epa.gov/ttn/scram/models/aermod/aermod_mfed.pdf)

Veolia. (2021). *Nuestra historia en Tunja*. <https://www.veolia.com.co/tunja-yopal/nosotros/quienes-somos/historia-tunja>

Villar, G. (2017). *Estudio De Modelos De Dispersión Y Su Aplicación Al Control Industrial*.  
Universidad de Alcalá