

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES (PTAR) PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN GIL  
SANTANDER**

**CARLOS JAVIER ABRIL ZAMBRANO.  
DANIEL STIVEN SANTANA ZAMBRANO.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES (PTAR) PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN GIL  
SANTANDER**

**CARLOS JAVIER ABRIL ZAMBRANO.  
DANIEL STIVEN SANTANA ZAMBRANO.**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil**

**DIRECTOR  
EDGAR RICARDO OVIEDO OCAÑA  
PhD. en Ingeniería**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

*Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por haberme guiado y fortalecido en esta etapa de mi vida.*

*A mi familia, en especial a mis padres, Carlos Javier Abril Acosta y Olga Lucia Zambrano, quienes con sus consejos fueron un gran apoyo, muchas gracias por su paciencia y comprensión, y sobre todo por su amor.*

*A mi esposa y a mi hijo por ser la fuente de inspiración y mi constante motivación durante la consecución de este logro importante para mí.*

*A mi director de proyecto Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, quien con su conocimiento y su experiencia fue muy importante para darle desarrollo a este proyecto de grado.*

*A mi compañero Daniel Stiven Santana por alcanzar estos logros juntos pese a los obstáculos y las dificultades surgidas en el camino.*

*A todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, de este sueño que es tan importante para mí, agradecer todas sus ayudas, sus palabras motivadoras, sus conocimientos, sus consejos y su dedicación.*

*Por último, A mis compañeros, quienes a través de tiempo fuimos fortaleciendo una amistad, muchas gracias por toda su colaboración, por convivir todo este tiempo conmigo, por compartir experiencias, alegrías, frustraciones, llantos, tristezas, peleas, celebraciones y múltiples factores que ayudaron a que hoy seamos como una familia, por aportarme confianza y por crecer juntos como profesionales, muchas gracias.*

*¡Muchas gracias por todo!*

**CARLOS JAVIER ABRIL Z.**

*A Dios por darme la sabiduría y guía en el cumplimiento de esta y todas las metas porvenir.*

*A mis padres Luis Alfonso Santana Martínez y Mariela Zambrano Hernández por apoyarme, creer en mí y ser ese bastón en los momentos que más necesitaba.*

*A mi familia Anji, mi Padrino, Julián, mis Nonos, Sandra, Paula, mi Madrina, mi Compa, Diana, Sarita, mi Tío Gustavo, Carmen, Eder, Sangie, mi Tío Luis, Rosa, Jeison, Luisa, Vanesa, Jefferson, Cindy, Lorenzo y mi prima Marleny por sus consejos, su confianza y ayuda en todo lo que podían brindarme.*

*A mi director de proyecto Edgar Ricardo Oviedo Ocaña por su paciencia, ayuda y guía en cada una de las etapas de la elaboración de este proyecto.*

*A mi compañero de proyecto Carlos Javier Abril Zambrano por alcanzar este logro pese a todas las dificultades surgidas en el camino.*

*A mis amigos y conocidos, que, gracias a ellos, el paso por la universidad fue bastante agradable.*

**DANIEL SANTANA**

## **AGRADECIMIENTO**

Los autores agradecen este trabajo a:

A Dios por ser nuestra fortaleza y guía durante la elaboración de este proyecto y cada una de las etapas de nuestra vida.

A nuestros familiares por ser apoyo y confianza depositada para el cumplimiento de esta meta.

A nuestro director de proyecto Edgar Ricardo Oviedo por su paciencia y ayuda durante el desarrollo de este proyecto.

A ACUASAN y sus empleados por su colaboración y brindarnos la información necesaria para llevar a cabo este documento.

A todas las personas que de una u otra forma colaboraron y colocaron su granito de apoyo para que este proyecto se llevara a cabo.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	16
1. ASPECTOS GENERALES DEL MUNICIPIO	18
2. METODOLOGÍA	21
2.1. CONDICIONES ACTUALES DEL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES	21
2.2. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA A APLICAR	21
2.2.1. Caracterización de tecnologías	22
2.2.2. Combinación de tecnologías para la construcción de trenes de tratamiento	22
2.2.3. Criterios de selección	22
2.2.4. Herramienta de selección	23
2.2.5. Aplicación de la herramienta de selección	23
2.3. DISEÑO DE LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA	24
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
3.1. CONDICIONES GENERALES DE AGUA Y SANEAMIENTO EN EL MUNICIPIO DE SAN GIL	25
3.2. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA	28
3.2.1. Caracterización de tecnologías	28
3.2.1.1. Tratamiento preliminar	28
3.2.1.2. Tratamiento primario	29
3.2.1.3 Tratamiento secundario	31

3.2.1.4. Tratamiento terciario	32
3.2.2 Tecnologías preseleccionadas	33
3.2.3 Selección de las tecnologías	33
3.2.3.1. Combinación de trenes	33
3.2.4. Criterios de selección	35
3.2.5. Modelo de herramienta de selección	36
3.2.6. Aplicación de la herramienta de selección	40
3.3 PRE DISEÑO DE LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA	47
4. CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	59

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación del municipio de San Gil en Santander.	19
Figura 2. Rio Fonce en el municipio de San Gil.	20
Figura 3. Vista en planta de la ubicación de los vertimientos sobre el río Fonce.	27
Figura 4. Tecnologías preseleccionadas de cada tipo de tratamiento.	34
Figura 5. Tecnologías preseleccionadas de cada tipo de tratamiento.	42
Figura 6. Ubicación planta de tratamiento.	48
Figura 7. Detalle del diseño de las rejillas.	48
Figura 8. Vista en planta de desarenador.	49
Figura 9. Detalle de reactor UASB.	49
Figura 10. Vista en planta de los filtros percoladores.	50
Figura 11. Vista en planta de los elementos que componen la planta dentro del lote determinado.	50
Figura 12. Vista de perfil de los elementos que componen la planta dentro del lote determinado.	51

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Localización de los vertimientos de agua residual San Gil.	26
Tabla 2. Características del agua residual en la cabecera municipal de San Gil Santander.	27
Tabla 3. Tecnologías a Caracterizar.	28
Tabla 4. Trenes de tratamiento.	34
Tabla 5. Criterios de Selección.	35
Tabla 6. Matriz de selección.	38
Tabla 7. Valores estimados para los 12 trenes.	41
Tabla 8. Trenes de tratamiento.	43
Tabla 9. Valores cualitativos estimados para los nuevos trenes.	44
Tabla 10. Calificaciones estimadas para un tren por cada variable.	45
Tabla 11. Matriz final usada para la selección de tecnología.	46

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Calculo del caudal de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales.	59
Anexo B. Valores para cada una de las variables de los 12 trenes con tecnologías primarias, secundarias y terciarias	62
Anexo C. Valores para cada una de las variables de los 6 nuevos trenes con tecnología primarias y secundarias	91
Anexo D. Diseño de el tren seleccionado para la cabecera municipal de San Gil Santander.	110

## RESUMEN

**TITULO:** PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) PARA LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN GIL SANTANDER.\*

**AUTOR(ES):** CARLOS JAVIER ABRIL ZAMBRANO  
DANIEL STEVEN SANTANA ZAMBRANO \*\*

**PALABRAS CLAVE:**Planta de tratamiento de aguas residuales, selección de tecnologías, matriz de selección, diseño de tecnologías.

### DESCRIPCIÓN:

El tratamiento de aguas residuales cada vez toma más importancia en el mundo ya que es una gran problemática. En Colombia, dicho tratamiento de aguas residuales es aún limitado. El municipio de San Gil no es ajeno a esta problemática. Actualmente, las aguas residuales domésticas son vertidas sin ningún tipo de tratamiento en el río Fonce, fuente caracterizada por sus usos recreativos. En este proyecto, se realizó una selección de tecnología para el tratamiento de las aguas residuales para la cabecera municipal de San Gil Santander, considerando las condiciones de contexto y diversos niveles de tratamiento de agua residual. Para tal efecto, se construyó una herramienta que considera aspectos sociales, económicos, ambientales, tecnológicos y normas relacionadas al tratamiento de aguas residuales en Colombia (decreto 1594 del 26 de Junio de 1984 ), estos aspectos se dividieron en diversas variables tales como: área requerida, requerimiento de energía, remoción tanto de demanda biológica de oxígeno ( $DBO_5$ ) como de sólidos suspendidos totales (SST), producción de residuos sólidos y gaseosos, impacto visual, generación de olores, inversión inicial y requerimiento de personal. La tecnología seleccionada fue Rejilla - Desarenador - Reactor UASB – Filtro Percolador, debido a que fue el tren con mejor calificación arrojado por la matriz de sección para el tratamiento de las aguas residuales. Una vez se seleccionó la tecnología, se realizó un dimensionamiento hidráulico del sistema de tratamiento de aguas residuales más adecuado para el municipio de San Gil.

---

\* Proyecto de grado

\*\* facultad de ingenierías físico mecánicas escuela de ingeniería civil. Director Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

## ABSTRACT

**TITLE:** PROPOSAL OF DESIGN OF A PLANT OF TREATMENT OF WATERS WASTE FOR THE HEAD MUNICIPAL OF SAN GIL SANTANDER.\*

**AUTOR(ES):** CARLOS JAVIER ABRIL ZAMBRANO  
DANIEL STEVEN SANTANA ZAMBRANO\*\*

**KEYWORDS:** Wastewater plant Treatment, selection of technologies, matrix of selection, design of technologies.

### SUMMARY:

Wastewater treatment is becoming more important in the world as it is a major problem. In Colombia, such wastewater treatment is still limited. The municipality of San Gil is no stranger to this problem. Currently, domestic wastewater is discharged without any treatment in the Fonce River, a source characterized by its recreational uses. In this project, a selection of technology for the treatment of the wastewater for the municipal head of San Gil Santander was realized, considering the conditions of context and diverse levels of treatment of residual water. To this end, a tool was created that considers social, economic, environmental, technological and related issues related to wastewater treatment in Colombia (Decree 1594 of June 26, 1984), these aspects were divided into several variables such as: Required, energy requirement, removal of biological oxygen demand (BOD5) and total suspended solids (SST), solid and gaseous waste production, visual impact, odor generation, initial investment and personnel requirements. The selected technology was Grid - Desander - Reactor UASB - Filter Percolator, because it was the train with the best rating thrown by the section matrix for the treatment of wastewater. Once the technology was selected, a hydraulic dimensioning of the most appropriate wastewater treatment system was carried out for the municipality of San Gil.

---

\* Project of grade

\*\* Faculty engineering physical mechanical. School of engineering of civil. Director Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

## INTRODUCCIÓN

El agua se ha consolidado como medio indispensable para cualquier alternativa de futuro. No existe actividad humana: económica, industrial, social o política que pueda prescindir de este vital recurso. Sobre esta realidad, se han desatado todas las vocaciones, ideas y acciones para su control, uso y dominio. Su esencialidad para la vida y su multiplicidad de usos, generan grandes conflictos entre diversos sectores e intereses de la sociedad. Sin embargo, la contaminación, el tratamiento inadecuado de los desechos y la insuficiencia de infraestructuras para el tratamiento del agua plantean serias amenazas a la salud pública, al desarrollo económico y social de los países en vías de desarrollo<sup>1</sup>.

Colombia no es ajeno a la realidad mundial; de acuerdo con González (2014), en el país solamente el 22% de los municipios realiza un tratamiento de sus aguas residuales, que en la mayoría de los casos es deficiente o mal operado. Se estima que diariamente se descargan a los cuerpos de agua 700 toneladas de carga orgánica provenientes del sector doméstico urbano, lo cual pone en riesgo a la población<sup>2</sup>

El municipio de San Gil no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), por lo cual las aguas residuales provenientes de 36748 habitantes en su cabecera municipal (DANE, 2005), producen un caudal aproximado de 170 L/s (Reyes, 2015), que vertido directamente sobre el río Fonce

---

<sup>1</sup> ESTRUCPLAN Los problemas de las aguas contaminadas. [en línea] disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=995> [Citado 2 de Agosto de 2015].

<sup>2</sup> ECODESINGENIERIA Aspectos Importantes de las aguas residuales en Colombia. [en línea] disponible en: <http://www.ecodesingenieria.com/es/component/k2/item/183-aspectos-importantes-de-las-aguas-residuales-en-colombia> [Citado 2 de Agosto de 2015]

causando contaminación en estas aguas, que posteriormente van a desembocar en el río Sogamoso.

En vista de esta problemática en este estudio se realizó la selección y diseño de tecnología para el tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la cabecera municipal de San Gil (Santander) ubicado a 96 km de la capital del departamento, Bucaramanga. Las PTAR son instalaciones donde se tratan aguas residuales eliminando la mayoría de sustancias contaminantes presentes, por medios físicos, químicos y biológicos, dando como resultado un agua con menor carga contaminante para el medio ambiente, que cumple con las disposiciones legales para vertimientos de aguas residuales<sup>3</sup>

El proyecto tiene como propósito general la elaboración del diseño preliminar de una planta de tratamientos de aguas residuales para la cabecera municipal de San Gil Santander. Para tal efecto, se analiza la situación actual del manejo de aguas residuales en la localidad, se caracterizan las opciones tecnológicas con mayor potencial de aplicación en el contexto local, se formula y aplica una herramienta para la selección de tecnología.

---

<sup>3</sup> SAN GIL SANTANDER Información general [en línea] disponible en: <http://www.sangil.gov.co/san-gil/informacion-general/> [Citado 4 de Octubre de 2015].

## 1. ASPECTOS GENERALES DEL MUNICIPIO

El municipio de San Gil, fundado el 17 de marzo de 1689, capital de la provincia de Guanentá del departamento de Santander, cuenta con una extensión territorial de 149.5 km<sup>2</sup>, de los cuales 10 km<sup>2</sup> son de área urbana y los 139.5 km<sup>2</sup> restantes son de área rural. Se encuentra a una altitud de 1117 msnm. La región se caracteriza por tener una temperatura promedio de 24 °C, tiene una población total proyectada para el 2020 de 46152 habitantes, de los cuales 41296 habitantes son de su cabecera municipal (DANE, 2005). Territorialmente limita al Norte con el municipio de Villanueva y Curití, al Este con el municipio de Curití y Mogotes, al Sur con los municipios de El Valle de San José, Páramo y de Pinchote y finalmente al Oeste con los municipios de Pinchote, Cabrera, Barichara y Villanueva<sup>4</sup>.

La población rural se dedica principalmente a la actividad agropecuaria, basada en los cultivos semestrales de tomate, tabaco, fríjol, yuca, fique, hortalizas, además del ganado vacuno del cual se surte la región de leche y carne<sup>5</sup>.

San Gil, capital provincial y una de las ciudades más importantes de la troncal del oriente, es exaltada como Capital Turística de Santander desde julio de 2004. Estos reconocimientos llegan a fortalecerla como polo de desarrollo, centro turístico y despensa agrícola del sur de Santander, apreciándose el acelerado crecimiento de su población que en los últimos 10 años fue del 0,42%, del mercado regional y de sus actividades financieras, industriales, comerciales y académicas<sup>6</sup>.

---

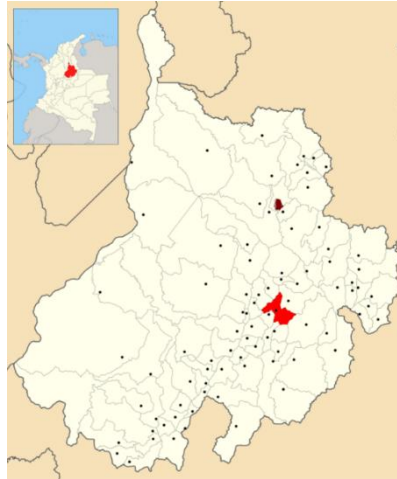
<sup>4</sup> Ibíd.

<sup>5</sup> Ibíd.

<sup>6</sup> Ibíd.

San Gil cuenta con recursos hídricos importantes como lo son los ríos Fonce, Mogoticos y Monas; la quebrada Curití y otras de menor caudal de aguas como la Cuchicute, Paloblanco, Afanadora, las Joyas, Chapala, Guayabal, Molina, la Laja en el límite con Villanueva y el Antable en lindero con Mogotes<sup>7</sup>.

**Figura 1. Ubicación del municipio de San Gil en Santander.**



Fuente: GOOGLE IMAGES. Municipio de San Gil [en Línea] disponible en: [https://www.google.com.co/search?q=santander&espv=2&biw=1366&bih=662&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj7sNqFs9nPAhWGHx4KHYSZAL8Q\\_AUIBigB#tbn=isch&q=santander+san+gil+mapa&imgsrc=qVOltQwvYblgcM%3A](https://www.google.com.co/search?q=santander&espv=2&biw=1366&bih=662&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj7sNqFs9nPAhWGHx4KHYSZAL8Q_AUIBigB#tbn=isch&q=santander+san+gil+mapa&imgsrc=qVOltQwvYblgcM%3A) [Citato 5 de Agosto de 2016].

El municipio cuenta con servicios públicos como lo son el de acueducto y alcantarillado prestado por la empresa ACUASAN, servicio de electricidad prestado por la Electrificadora de Santander ESSA, servicio de gas prestado por varias empresas como GASAN, NORGAS, METROGAS, con una cobertura urbana del 100%.

---

<sup>7</sup> Ibíd.

**Figura 2. Rio Fonce en el municipio de San Gil.**



Fuente GOOGLE IMAGES. Rio Fonce [en línea] disponible en: [https://www.google.com.co/search?q=rio+fonce&espv=2&biw=1366&bih=662&site=webhp&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwitq\\_bFs9nPAhVCrB4KHesXBO0Q\\_AUIBigB#imgrc=sijc3sjxussdzM%3A](https://www.google.com.co/search?q=rio+fonce&espv=2&biw=1366&bih=662&site=webhp&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwitq_bFs9nPAhVCrB4KHesXBO0Q_AUIBigB#imgrc=sijc3sjxussdzM%3A) [Citato 5 de Agosto de 2016].

## **2. METODOLOGÍA**

Para el desarrollo del proyecto se consultó el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio y algunos portales web como la página principal de San Gil donde se encontró información, socioeconómica, geográfica, e hídrica y se realizó una visita al municipio de San Gil donde se adquirió información del manejo de aguas residuales por medio de su empresa de acueducto y alcantarillado llamada ACUASAN.

### **2.1. CONDICIONES ACTUALES DEL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES**

Para realizar la selección de una herramienta tecnológica con potencial de aplicación, se realizó una visita al municipio de San Gil, en la cual se solicitó información del manejo de aguas residuales a la empresa ACUASAN y a planeación municipal, se adquirió la información deseada incluido ensayos de laboratorio donde se encontraban parámetros como  $DBO_5$ , sólidos suspendidos totales, caudal de vertimientos, pH, temperatura, e incluso los planos de alcantarillado. Se indagó información relacionada con estos aspectos con personal administrativo y operativo de la empresa de servicios públicos.

### **2.2. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA A APLICAR**

Para la selección de la tecnología se realizó una revisión bibliográfica, consultando textos como Metcalf y Eddy (1998) y Noyola et al. (2012), donde se adquirió información de tecnologías de tratamiento de aguas residuales y modelos de selección. Esta información se evaluó y se aplicó una herramienta de selección.

**2.2.1. Caracterización de tecnologías** Para caracterizar las tecnologías se revisó la información adquirida en normas, guías y libros como el Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS – 2000) Título E, ingeniería de aguas residuales entre otros relacionados con las tecnologías que son más usadas en países en desarrollo, haciendo énfasis en poblaciones con tamaño similar a la del municipio de San Gil, identificando características propias de cada una como tipo de tratamiento, fundamento del proceso, criterio de diseño, requerimientos mínimos, ventajas y desventajas. Además, se revisó el RAS – 2000, Título E.

**2.2.2. Combinación de tecnologías para la construcción de trenes de tratamiento** Para armar los trenes de tratamiento o combinación de diversas tecnologías en el tratamiento de aguas residuales se realizó un listado de las tecnologías preseleccionadas con base en la información de la caracterización de las tecnologías y de discusiones del equipo del trabajo. Así mismo, se tuvieron en cuenta las tecnologías más usadas a nivel de Colombia, tal como lo reporta el RAS – 2000, Título E. Posteriormente, se separaron por tipo de tratamiento primario, secundario y terciario respectivamente, y finalmente se crearon las posibles combinaciones de tecnologías para un resultado de 12 trenes.

**2.2.3. Criterios de selección** Para elegir los indicadores con los que se seleccionaron las tecnologías, se realizó una consulta de las variables comúnmente usadas en Colombia y se discutió con el director de proyecto, para de esta manera determinar el nivel de importancia de cada variable respecto a las demás, tomando 9 variables, las cuales serían más determinantes para la selección de la tecnología y separando estas variables en diferentes factores (Técnicos, Ambientales, Económicos y Sociales), según guía de selección de tecnología UNAM y Modelo conceptual de selección de tecnología de Galvis A et al (1998).

**2.2.4. Herramienta de selección** Como herramienta de selección se escogió una matriz, la cual contiene Factores (técnicos, económicos, ambientales, sociales y culturales) y variables que fueron determinados como criterios de selección. A esta matriz se adjuntaron los demás ítems como son valores deseados, valores posibles, indicadores y tipo de calificación. Posteriormente se le asignaron porcentajes de influencia según criterio de importancia a cada uno de los factores y de las variables. Esta asignación se realizó teniendo en cuenta la influencia que tiene cada variable con los trenes de tratamiento.

**2.2.5. Aplicación de la herramienta de selección** Una vez terminada la matriz de selección se hizo uso de la revisión de literatura realizada para cada una de las tecnologías para solucionar cada una de las variables. En el caso de la variable área, se calculó el caudal de diseño proyectado al año 2041, según lo establecido por la RAS, y con éste se hizo un predimensionamiento de cada tecnología, dando solución a la matriz al tomar cada tren y evaluarlo para cada una de las variables.

Es importante aclarar que al iniciar el proceso de selección de tecnología no se tenía información de área y ubicación del lote donde se pretendía desarrollar el proyecto, pero al finalizar el proceso de selección se recibió esta información, con el infortunio de ser un lote pequeño en el cual no cabían los tres tipos de tecnología, debido a que las tecnologías de tratamiento tipo terciario (Humedales y Laguna de maduración) necesitaban una mayor cantidad de área.

Por tanto, con el director del proyecto se analizó el inconveniente y se decidió solo realizar el diseño para los tratamientos preliminar, primario y secundario, y en un futuro cuando las entidades correspondientes solucionen el problema del área, se termine en otro proyecto el diseño del tratamiento terciario.

Finalmente se crearon nuevamente los posibles trenes (6 trenes), estos se volvieron a evaluar respecto a cada una de las variables. Como resultado de cada

tren, se obtiene una calificación correspondiente respecto a cada variable tenida en cuenta anteriormente. Para cada tren se suman todas las calificaciones, obteniendo una calificación total y de esta manera seleccionar el tren con mayor calificación total y así pasar al siguiente paso que es el diseño de cada una de las tecnologías que integra el tren ganador.

### **2.3. DISEÑO DE LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA**

Teniendo el tren seleccionado (Rejillas – Desarenador – Reactor UASB – Filtro percolador) se procedió a realizar el diseño de cada uno de sus componentes hidráulicos, usando textos como Ingeniería de aguas residuales tratamiento y diseño de plantas de tratamiento de la UNAD, utilizando al final la herramienta AUTOCAD para realizar un dimensionamiento de cada una de las tecnologías.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. CONDICIONES GENERALES DE AGUA Y SANEAMIENTO EN EL MUNICIPIO DE SAN GIL**

En relación al manejo de agua potable del en San Gil, actualmente el acueducto se abastece de las quebradas Mogoticos, Curití, y Cuchicute; y en épocas de sequía se abastece del río Fonce, para un caudal total de 195 L/s, (Pérez, 2015). Después de la captación, el agua se conduce hasta la planta de tratamiento convencional y de allí a la red de distribución pasando por nueve tanques de almacenamiento ubicados en el casco urbano del municipio. La cobertura de abastecimiento de agua potable en el sector urbano es del 100% prestando un servicio constante durante las 24 horas del día (PBOT, 2003).

El servicio de alcantarillado en el municipio lo presta la Empresa ACUASAN. En la actualidad el casco urbano vierte directamente sus aguas residuales sobre el río Fonce, utilizando para ello un sistema de alcantarillado combinado (sanitario y pluvial), teniendo una cobertura del 98%. El caudal promedio diario de los vertimientos hacia el río es de 170 L/s (Acuasan, 2007).

Los colectores transportan aguas lluvias y servidas; en época de invierno cuando hay mucha precipitación, en algunos sectores del municipio el alcantarillado se ve obstruido por abundancia de residuos sólidos y falta de mantenimiento, ocasionando de tal manera desbordamiento.

En busca de generar solución a la contaminación que se realiza hacia el medio ambiente vertiendo las aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento, en 1999 se diseñó una PTAR, arrojando como la alternativa adecuada el sistema desanador

- Reactor UASB - filtro percolador, con ubicación cercana al casco urbano pero no se construyó por factores desconocidos (PTAR, 1999).

El aseo y la recolección de residuos sólidos también se hacen por intermedio de la empresa ACUASAN en forma manual y regular durante 6 días a la semana en la zona céntrica todos los días y en el resto del municipio 3 veces por semana, teniendo cubrimiento del 100% en el servicio. El destino final de estos residuos es un relleno sanitario que se encuentra a 11 km del casco urbano, en la vereda El Cucharó, pero lo que realmente pone en riesgo a la población es que el municipio no cuenta con un Plan Ambiental ni tampoco promueve la cultura del reciclaje (PBOT, 2003).

**Tabla 1. Localización de los vertimientos de agua residual San Gil.**

<b>Vertimientos Municipio de San Gil</b>					
<b>N°</b>	<b>Vertimiento</b>	<b>Cuerpo Receptor</b>	<b>Georreferenciación</b>		
			<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Altura</b>
<b>1</b>	Calle 4 Carrera 9	Quebrada Curití	1216313	1105203	1128
<b>2</b>	Paso Libertador	Río Fonce	1216402	1104628	1090
<b>3</b>	Barrio Luis Carlos Galán	Río Fonce	1217350	1102554	1073
<b>4</b>	Barrio Villa del Prado - Planta de Sacrificio Animal	Río Fonce	1217166	1102247	1079
<b>5</b>	Barrio la Libertad	Río Fonce	1217193	1102804	1096
<b>6</b>	Barrio Arboledas - San Martín	Río Fonce	1217142	1103064	1080
<b>7</b>	Barrio Colombia	Río Fonce	1217077	1103219	1088
<b>8</b>	Comfenalco - Carrera 12	Río Fonce	1216280	1104745	1104

Fuente: ACUASAN (2007).

**Figura 3. Vista en planta de la ubicación de los vertimientos sobre el río Fonce.**



Además de la ubicación de los vertimientos se logró acceder a información necesaria para conocer las condiciones actuales del agua residual, la cual se observa en la Tabla 2.

**Tabla 2. Características del agua residual en la cabecera municipal de San Gil Santander.**

Parámetros	Promedio	Concentración débil	Concentración media	Concentración fuerte	Unidades
pH	7.67	--	--	--	Unidades
Temperatura	23.01	--	--	--	°C
Grasas y Aceites	27.3	50	100	150	mg G&A / L
Sólidos Suspendidos	199.67	100	220	350	mg/L
DBO5	216.714	110	220	400	mg O <sub>2</sub> / L
DQO	427.91	250	500	1000	mg O <sub>2</sub> / L

Fuente: ACUASAN (2007).

Por la cantidad de grasas y aceites que están presentes en el agua residual, se puede clasificar en agua residual tipo débil, debido a que es menor de 50 mg G&A/L. Por la concentración de sólidos suspendidos se clasifica en un tipo medio.

Por su DBO<sub>5</sub> y DQO está agua residual también sería un tipo medio. En general, el agua residual de la cabecera municipal de San Gil (Santander) tiene una concentración tipo medio.

### 3.2. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

**3.2.1. Caracterización de tecnologías** La información recopilada referente a las tecnologías aplicables de tratamiento de aguas residuales más usadas en Colombia y poblaciones similares a San Gil según criterio del equipo de trabajo, se agrupó por los diferentes tipos de tratamientos como lo són: preliminar, primario, secundario o terciario, como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3. Tecnologías a Caracterizar.**

TRATAMIENTO	TECNOLOGIA
<b>Preliminar</b>	Rejillas
	Desarenador
<b>Primario</b>	Lodos activados
	laguna anaerobia
	Tanques IMHOFF
	Reactor UASB
<b>Secundario</b>	Filtro percolador
	Biodiscos
	Laguna facultativa
	Filtros anaerobios
<b>Terciario</b>	laguna de maduración
	Humedales

**3.2.1.1. Tratamiento preliminar** El tratamiento preliminar está destinado a la reducción de residuos fácilmente separables como ser los sólidos gruesos y arenas.

**Rejilla:** Es un dispositivo construido con barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas que se utiliza para retener sólidos gruesos de dimensiones relativamente grandes que estén en suspensión o flotantes, ayudando de esta manera a retener objetos que perjudican el funcionamiento de los componentes que se encuentran delante de ella, como por ejemplo madera, plásticos o alambres<sup>8</sup>

**Desarenador:** Se ubica después de las rejillas y antes del ingreso de aguas residuales al tratamiento primario, Este reduce la velocidad del agua hasta valores que permitan la deposición de las partículas para retener la arena y otros detritos minerales inertes y pesados que se encuentran en las aguas residuales. La finalidad de esta estructura hidráulica es evitar abrasión y daños en las tuberías y en otros componentes del sistema (Ver Figura 16)<sup>9</sup>

**3.2.1.2. Tratamiento primario** El tratamiento primario tiene como objetivo la reducción de sólidos suspendidos, arenas y materia orgánica.

**Lodos activados:** Tratamiento biológico de cultivo suspendido, donde el residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aeróbicas. Durante el crecimiento y mezcla los organismos flocculan formando una masa activa denominada lodos activados. El ambiente aeróbico se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. Tiene como objetivo la

---

<sup>8</sup> FLUIDOS EIA Tipos de tratamientos de aguas residuales. [en línea] disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/residuales/Tipos%20de%20Tratamiento.htm> [Citado 7 de Agosto de 2016].

<sup>9</sup> FLUIDOS EIA Desarenadores. [en línea] disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/desarenadores/desarenadores.html> [Citado 7 de Agosto de 2016].

floculación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica (Ver Figura 17)<sup>10</sup>

**Lagunas anaerobias:** Es una excavación en el suelo de área y volumen superficial la cual tiene como objetivo la reducción en parámetros del agua residual como sólidos suspendidos sedimentables y transformación de la materia orgánica por vía anaerobia. Su funcionamiento se basa en la sedimentación del material particulado y su digestión en el fondo del mismo. Su profundidad oscila entre los 3 y los 5 metros, depende la carga que recibe los lodos que se generan y se sedimentan deben ser evacuados entre 1 y 5 años (Ver Figura 18)<sup>11</sup>

**Reactor UASB:** llamado así por sus siglas en inglés “Upflow Anaerobic Sludge Blanket” o en español Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente. Es un tipo de biorreactor tubular que opera en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, las aguas residuales entran por el fondo del reactor y fluyen en dirección ascendente. El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y el lodo microbiológico. Posterior a esto, en la parte superior de la estructura, se separa el biogás el agua y la biomasa, el biogás se capta en un domo para obtener un posterior beneficio. El agua tratada sale para continuar con su proceso y la biomasa por sedimentación se decanta y se mantiene en la parte inferior formando un manto (Ver Figura 19)<sup>12</sup>

**Tanques IMHOFF:** Son una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos, es usado en comunidades de 5000 habitantes o menos, son de forma rectangular y se divide en tres compartimientos, cámara de

---

<sup>10</sup> AGUAS RESIDUALES Tratamiento de aguas residuales y desechos orgánicos. [en línea] disponible en: <https://aguasresiduales.wordpress.com/tag/lodos-activados/> [Citado 7 de Agosto de 2016].

<sup>11</sup> USAL Lagunas anaerobias. [en línea] disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/anaerobias.PDF> [Citado 7 de Agosto de 2016].

<sup>12</sup> REDALYC La digestión anaerobia y los reactores UASB generalidades. [en línea] disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223121549002.pdf> [Citado 7 de Agosto de 2016].

sedimentación donde se remueve gran parte de los sólidos sedimentables, cámara de digestión de lodos donde se producen gases debido a las reacciones y área de ventilación y acumulación de natas<sup>13</sup>

**3.2.1.3 Tratamiento secundario** En el tratamiento secundario tiene como objetivo la reducción de sólidos suspendidos y materia orgánica degradable.

**Filtro percolador:** un filtro percolador es un tanque cilíndrico lleno con grava o partículas plásticas sobre el cual se vierte el agua residual por la parte superior. En este sistema de filtro percolador, los microorganismos se adhieren a la grava o las partículas plásticas formando una capa sobre éste. A medida que las aguas residuales se filtran por el medio, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua, luego se retira el agua residual por la parte inferior del tanque para continuar con su proceso (Ver Figura 20)<sup>14</sup>

**Biodiscos:** Consiste en una serie de discos sintéticos colocados en eje horizontal e instalados en un tanque de concreto por el cual pasa el agua residual, los discos giran de 1 a 2 rpm y aproximadamente el 40% del área está sumergida en el agua residual formando de esta manera una película biológica sobre los discos. La película biológica queda expuesta alternamente entre el agua residual y el aire atmosférico a medida que estos giran. Este proceso remueve la materia orgánica soluble y coloidal presente en el agua residual<sup>15</sup>

---

<sup>13</sup> BVSDE Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización. [en línea] disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053\\_Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lag/Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lagunas\\_estabilizaci%C3%B3n.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf) [Citado 8 de Agosto de 2016].

<sup>14</sup> .H-GAC Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras. [en línea] disponible en: [https://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems\\_Trickling-Filter-S.pdf](https://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems_Trickling-Filter-S.pdf) [Citado 8 de Agosto de 2016].

<sup>15</sup> PREZI Sistema de tratamiento de aguas residuales biodiscos. [en línea] disponible en: <https://prezi.com/vgbjxnm3tgrc/sistema-de-tratamiento-de-aguas-residuales-biodiscos/> [Citado 8 de Agosto de 2016]

**Lagunas facultativas:** Es una excavación extensa en el suelo con un área y volumen superficial, que pueda almacenar suficiente agua para satisfacer el tiempo que se demora en realizar el tratamiento. El agua residual se almacena para ser tratada por medio de la actividad bacteriana. Estas lagunas poseen 3 zonas, una zona aerobia en su superficie, una anaerobia en su fondo y el centro es denominado zona facultativa (Ver Figura 21)<sup>16</sup>

**Filtros anaerobios:** Este tratamiento también llamado reactor anaerobio tiene la función de reducir la carga contaminante de las aguas residuales. Las aguas residuales ingresan por la parte inferior del tanque. El agua a ser tratada se hace pasar a través de un lecho de grava o de material sintético el cual lleva adherido una biopelícula de microorganismos donde se realiza el proceso de degradación anaerobia para posteriormente ser retirada por la parte superior<sup>17</sup>

**3.2.1.4. Tratamiento terciario** El tratamiento terciario tiene como objetivo la reducción de nutrientes y patógenos.

**Lagunas de maduración:** Es una excavación en el suelo donde el agua residual fluye a una velocidad adecuada para un tratamiento por medio de actividad bacteriana. Tiene como función principal la eliminación de bacterias patógenas, además de su efecto desinfectante cumple otros objetivos como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado. Generalmente son el último paso antes de la salida del agua residual tratada de la planta (Ver Figura 22)<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> USAL Lagunas facultativas. [en línea] disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/facultativas.PDF> [Citado 8 de Agosto de 2016].

<sup>17</sup> UNAD Leccion 39 filtro anaerobio UNAD. [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion\\_39\\_filtro\\_anaerobio.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_39_filtro_anaerobio.html) [Citado 20 de Agosto de 2016].

<sup>18</sup> TRATAMIENTO DEL AGUA. Lagunas de maduración [en línea] disponible en: <http://www.tratamientodelagua.com.mx/lagunas-de-maduracion/> [Citado 20 de Agosto de 2016].

**Humedales:** Es un sistema de tratamientos de agua residual poco profundo, natural o construido por el hombre en el que se han sembrado plantas acuáticas para tratar el agua residual. La profundidad baja del agua, la velocidad baja del flujo y la presencia de tallos de plantas regulan el flujo del agua y el tratamiento ocurre cuando el agua residual atraviesa lentamente el tallo que ha generado películas bacterianas que filtran y absorben los contaminantes (Ver Figura 23)<sup>19</sup>

**3.2.2 Tecnologías preseleccionadas** Realizando la caracterización de las tecnologías revisadas anteriormente, fueron descartadas 3 de ellas, para el tratamiento primario se descartó el tanque IMHOFF ya que según lo consultado en el reglamento RAS 2000 título E, afirma que se usa para poblaciones menores de 5000 habitantes y el municipio de San Gil cuenta con una población mayor a este umbral.

Las otras dos tecnologías descartadas pertenecen al tratamiento secundario; son los BIODISCOS y los Filtros Anaerobios que en discusión con el director de proyecto no se tuvieron en cuenta porque estas tecnologías se emplean para dar solución a pequeños núcleos de población<sup>20 21</sup>

### **3.2.3 Selección de las tecnologías**

**3.2.3.1. Combinación de trenes** Para la elaboración del modelo de la herramienta de selección se crearon trenes de tratamiento, combinando las tecnologías mencionadas según el tipo de tratamiento preliminar (Rejillas - Desarenador), primario (Lodos Activados, Laguna Anaerobia y Reactor UASB), secundario

---

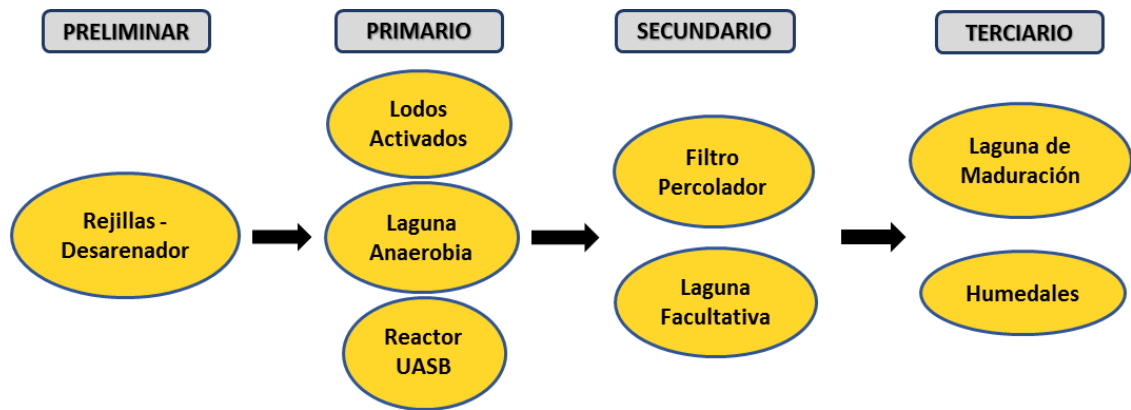
<sup>19</sup> BIOFILTRACIÓN Manual de diseño: Humedal construido para el tratamiento de las aguas grises por. [en línea] disponible en: [en línea] disponible en: [http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/GP\\_reports/Diseno\\_Humedal\\_AguasGrisas.pdf](http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/GP_reports/Diseno_Humedal_AguasGrisas.pdf) [Citado 21 de Agosto de 2016].

<sup>20</sup> PREZI Op. Cit

<sup>21</sup> UNAD Op. Clt.

(Filtros Percolador y Laguna Facultativa) y terciario (Laguna de Maduración y Humedales) como lo muestra la Figura 4.

**Figura 4. Tecnologías preseleccionadas de cada tipo de tratamiento.**



Al combinar los diferentes tipos de tecnologías, tres de tipo primarios, dos de tipo secundarios y dos de tipo terciarios generó un total de 12 trenes de tratamiento, el cual se puede observar en la Tabla 4. Se debe tener en cuenta que para el tratamiento preliminar se decidieron un desarenador y unas rejillas, las cuales se nombran en los trenes, pero tienen influencia en las combinaciones puesto que las tecnologías que se combinan son las de tipo primario, secundario y terciario.

**Tabla 4. Trenes de tratamiento.**

NUMERO DE TRENES	TECNOLOGÍAS			
	PRELIMINAR	PRIMARIO	SECUNDARIO	TERCIARIO
1	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Filtros Percolador	Laguna de Maduración
2	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Filtros Percolador	Humedales
3	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Laguna Facultativa	Laguna de Maduración

NUMERO DE TRENES	TECNOLOGÍAS			
	PRELIMINAR	PRIMARIO	SECUNDARIO	TERCIARIO
4	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Laguna Facultativa	Humedales
5	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Filtros Percolador	Laguna de Maduración
6	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Filtros Percolador	Humedales
7	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	Laguna de Maduración
8	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	Humedales
9	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Filtros Percolador	Laguna de Maduración
10	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Filtros Percolador	Humedales
11	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Laguna Facultativa	Laguna de Maduración
12	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Laguna Facultativa	Humedales

**3.2.4. Criterios de selección** Se construyeron 9 variables que se consideraron determinantes para poder seleccionar un tren de tecnologías con potencial de aplicación para el municipio y se clasificaron en 4 aspectos tomados de Noyola et al. (2013). Posteriormente se le asignaron un peso con respecto al total, por criterio de los autores a cada uno de los aspectos de acuerdo al nivel de importancia y se repitió el mismo procedimiento para las variables. El porcentaje que se asignó debe sumar el 100% para aspectos o para variables.

**Tabla 5. Criterios de Selección.**

Aspectos	Porcentajes de importancia de aspectos	Variables	Porcentaje de importancia de variables
Técnicos	30%	Área requerida	40%
		Requerimiento de	30%

Aspectos	Porcentajes de importancia de aspectos	Variables	Porcentaje de importancia de variables
		energía	
		Remoción	
		DBO5	15%
		SST	15%
Ambientales	40%	Residuos sólidos	35%
		Residuos gaseosos	25%
		Impacto visual	25%
		Generación de olores	15%
Económicos	20%	Inversión inicial	100%
Sociales	10%	Personal capacitado	100%

Los porcentajes de importancia se obtuvieron según criterio del grupo de trabajo, pensando que el aspecto con mayor importancia es el ambiental.

**3.2.5. Modelo de herramienta de selección** Para la herramienta de selección se decidió por criterio propio crear una matriz, tomando como base la Tabla 5, donde se añadió la columna Indicadores, la cual se desarrolla de dos maneras respecto a la variable. Para variables cuantitativas como área, inversión y remoción de DBO<sub>5</sub> y SST, se planteó como una operación en la cual se toma el valor de cada tren y divide por el valor más desfavorable que se encuentre en los 12 trenes.

Para variables cualitativas como Requerimiento de energía, generación de residuos, impacto visual, generación de olores y personal capacitado se planteó el indicador como una pregunta, luego se le asignó a la matriz la columna Valores posibles, el cual contempla las posibles respuestas que se pueden obtener para cada una de las 9 variables. Se contempla desde lo más favorable hasta lo desfavorable. Para la columna Valores deseados, se estimó la respuesta más favorable que puede obtener un tren para cada una de las variables. Por último, se asignó la columna Calificación, en la cual se planteó un sistema para determinar el puntaje que recibirá un tren dependiendo de la favorabilidad que tenga como

respuesta, calificando la más desfavorable como 1 e ir ascendiendo hasta llegar a la más favorable y calificarla como 5 (Ver Anexo 2).

Tabla 6. Matriz de selección.

Factores	%	Variable	%		Indicadores	Posibles Valores	Valores Deseados	Calificación	
<b>Técnicos</b>	<b>30</b>	1) Área	40		AT = (Área de tren analizado/Área mayor posible)	$0 < AT \leq 1$	$AT \approx 0$	$0 < AT < 0,2$ 5 $0,2 \leq AT < 0,4$ 4 $0,4 \leq AT < 0,6$ 3 $0,6 \leq AT < 0,8$ 2 $0,8 \leq AT \leq 1$ 1	
		2) Requerimiento de energía	30		¿Requiere energía?	Bajo Medio Alto	Bajo	Bajo 5 Medio 3 Alto 1	
		3) Eficiencia de tecnología	DBO <sub>5</sub>	15		DBO5T= (eficiencia tren DB05/eficiencia mayor posible DB05)	$0 < DBO5T \leq 1$	$DBO5T \approx 0$	$0 < DBO5T < 0,2$ 5 $0,2 \leq DBO5T < 0,4$ 4 $0,4 \leq DBO5T < 0,6$ 3 $0,6 \leq DBO5T < 0,8$ 2 $0,8 \leq DBO5T \leq 1$ 1
			SST	15		SSTT= (eficiencia tren SST/eficiencia mayor posible SST)	$0 < SSTT \leq 1$	$SSTT \approx 0$	$0 < SSTT < 0,2$ 5 $0,2 \leq SSTT < 0,4$ 4 $0,4 \leq SSTT < 0,6$ 3 $0,6 \leq SSTT < 0,8$ 2 $0,8 \leq SSTT \leq 1$ 1
<b>Ambientales</b>	<b>40</b>	4) Generación de subproductos solidos	35		¿Genera solidos?	Bajo Medio Alto	Bajo	Bajo 5 Medio 3 Alto 1	
		5) Generación	25		¿Genera	Bajo	Alto	Alto 5	

Factores	%	Variable	%	Indicadores	Posibles Valores	Valores Deseados	Calificación
		de subproductos gaseosos		gases?	Medio Alto		Medio 3 Bajo 1
		6) Impacto visual	25	¿Genera impacto visual?	Bajo Medio Alto	Bajo	Bajo 5 Medio 3 Alto 1
		7) Generación de olores	15	¿Genera olores?	Bajo Medio Alto	Bajo	Bajo 5 Medio 3 Alto 1
<b>Económicos</b>	<b>20</b>	8) Costo de inversión	100	CIT= (costo inversión tren analizado/mayor costo posible)	$0 < CIT \leq 1$	$CIT \approx 0$	$0 < CIT < 0,2$ 5 $0,2 \leq CIT < 0,4$ 4 $0,4 \leq CIT < 0,6$ 3 $0,6 \leq CIT < 0,8$ 2 $0,8 \leq CIT \leq 1$ 1
<b>Sociales</b>	<b>10</b>	10) Requerimiento de personal	100	¿Requiere personal capacitado para operación y mantenimiento?	Bajo Medio Alto	Bajo	Bajo 5 Medio 3 Alto 1

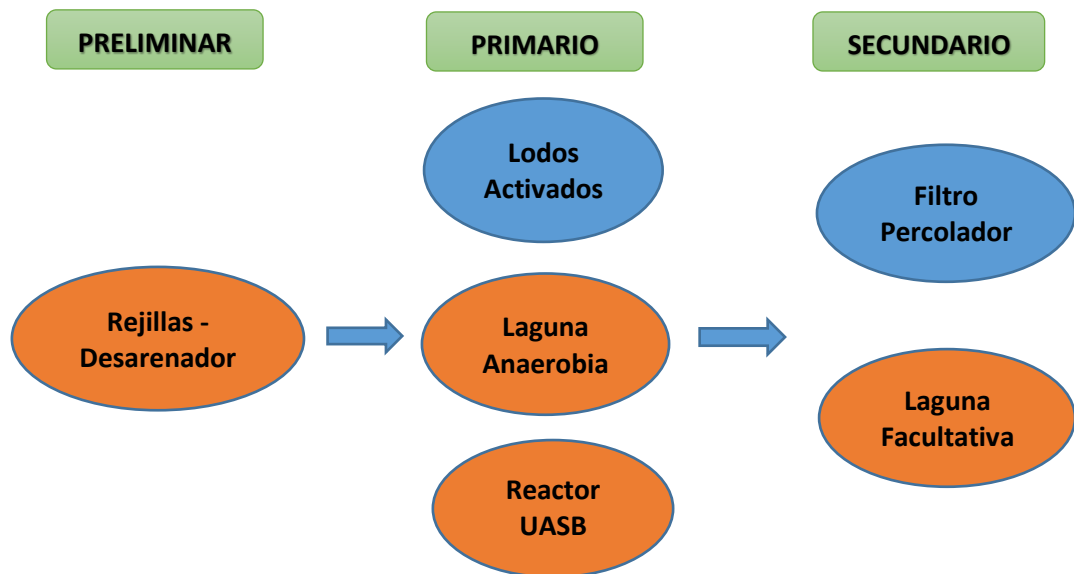
**3.2.6. Aplicación de la herramienta de selección** Una vez terminada la matriz que se decidió usar como herramienta de selección se empezó a estimar los valores de las variables para cada una de las tecnologías. Se estableció un sistema de solución a las variables respecto a los trenes. Luego se estimó el valor de las variables para cada uno de los trenes. Los valores que fueron obtenidos como respuesta fueron reunidos en la Tabla 8. Para el cálculo del área requerida de cada tren se sumaron las áreas que integraban el tren y se le adicionó un 20% del área requerida para incluir la parte correspondiente de tratamiento preliminar, de área administrativa y de áreas de relleno, el mismo procedimiento se utilizó para calcular costos de inversión (ver Anexo 2).

**Tabla 7. Valores estimados para los 12 trenes.**

		TECNICO				AMBIENTAL				ECONÓMICO	SOCIAL
		30				40				20	10
		AREA	ENERGIA	EFICIENCIA		SOLIDOS	GASES	VISUAL	OLORES	INVERSIÓN	PERSONAL
		40	30	15	15	35	25	25	15	100	100
Variable N° de trenes	1	2	3		4	5	6	7	8	9	
			DBO <sub>5</sub>	SST							
	1	12.56	A	0.40	0.04	M	B	M	M	1	A
	2	5.64	A	0.40	0.04	M	B	M	M	0.83	A
	3	19.86	M	0.11	0.13	A	B	A	B	0.97	M
	4	16.96	M	0.11	0.13	A	B	A	B	0.80	M
	5	13.09	M	1.00	0.30	B	M	M	A	0.68	M
	6	6.18	M	1.00	0.30	B	M	M	M	0.51	B
	7	20.34	B	0.29	1.00	M	M	A	M	0.65	B
	8	17.45	B	0.29	1.00	M	M	A	M	0.48	B
	9	12.36	A	0.70	0.11	B	A	B	A	0.78	A
	10	5.45	A	0.70	0.11	B	A	B	A	0.61	A
	11	19.64	M	0.20	0.38	M	A	M	M	0.75	M
	12	16.74	M	0.20	0.38	M	A	M	M	0.58	M

En este punto del proceso, la empresa ACUASAN suministró información del área de lote, por tal motivo el Indicador de la variable área requerida se modificó a área de tren de tratamiento sobre área de lote. Posteriormente, se concluyó que el lote no tenía capacidad para la instalación de ninguno de los trenes de tratamiento, debido principalmente, a que el tratamiento terciario (Humedales y Laguna de maduración) necesitaban un área considerable. Por tanto, en discusión con director del proyecto, se analizó el inconveniente y se decidió solo realizar el diseño para los tratamientos preliminar, primario y secundario, y en un futuro cuando las entidades correspondientes solucionen el problema del área, se termine en otro proyecto el diseño del tratamiento terciario. Realizando nuevamente la combinación de las tecnologías hasta el nivel de tratamiento secundario, se tienen los 6 trenes de tratamiento que se presentan en la Figura 5.

**Figura 5. Tecnologías preseleccionadas de cada tipo de tratamiento.**



**Tabla 8. Trenes de tratamiento.**

<b>NUMERO DE TRENES</b>	<b>TECNOLOGÍAS</b>		
	<b>PRELIMINAR</b>	<b>PRIMARIO</b>	<b>SECUNDARIO</b>
<b>1</b>	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Filtros Percolador
<b>2</b>	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Laguna Facultativa
<b>3</b>	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Filtros Percolador
<b>4</b>	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa
<b>5</b>	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Filtros Percolador
<b>6</b>	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Laguna Facultativa

Posteriormente, se aplicó la herramienta de selección para estimar los valores de las variables respecto a cada tren, este procedimiento se realizó de la misma manera que se había realizado anteriormente (Ver Anexo 3).

**Tabla 9. Valores cualitativos estimados para los nuevos trenes.**

		30			40			20	10		
		AREA	ENERGIA	EFICIENCIA		SOLIDOS	GASES	VISUAL	OLORES	INVERSIÓN	PERSONAL
		40	30	15	15	35	25	25	15	100	100
Variable N° de trenes	1	2	3		4	5	6	7	8	9	
			DBO <sub>5</sub>	SST							
1	0.40	A	0.20	0.17	M	B	M	A	1.00	A	
2	9.16	M	0.10	0.29	M	B	A	M	0.90	M	
3	1.04	M	1.00	0.60	B	M	M	M	0.42	M	
4	9.74	B	0.50	1.00	B	M	A	B	0.32	B	
5	0.17	A	0.50	0.26	B	A	B	M	0.51	A	
6	8.90	M	0.25	0.43	B	A	M	M	0.41	M	

Posteriormente se aplicó el sistema de calificación correspondiente a los valores que obtuvieron los trenes en cada una de las variables. La calificación más alta que se podía obtener en una variable fue 5 y la más baja fue 1. Las calificaciones estimadas fueron agrupadas en la Tabla 10 (ver Anexo 3).

**Tabla 10. Calificaciones estimadas para un tren por cada variable.**

		30			40			20	10		
		AREA	ENERGIA	EFICIENCIA		SOLIDOS	GASES	VISUAL	OLORES	INVERSIÓN	PERSONAL
		40	30	15	15	35	25	25	15	100	100
Variable N° de trenes	1	2	3		4	5	6	7	8	9	
			DBO <sub>5</sub>	SST							
1	4	1	4.00	5.00	3	1	3	1	1	1	
2	1	3	5.00	4.00	3	1	1	3	1	3	
3	1	3	1.00	2.00	5	3	3	3	3	3	
4	1	5	3.00	1.00	5	3	1	5	4	5	
5	5	1	3.00	4.00	5	5	5	3	3	1	
6	1	3	4.00	3.00	5	5	3	3	3	3	

Una vez llena la matriz con las calificaciones correspondientes se determinó la calificación final para cada tren de tratamiento. Esta se determina multiplicando el valor que se tiene de calificación de cada variable por el porcentaje que tiene la variable y por el porcentaje que tiene el aspecto respectivo a la variable analizada, luego se suman las 9 multiplicaciones para cada tren y ese es el valor final (Ver Anexo 3).

**Tabla 11. Matriz final usada para la selección de tecnología.**

Variable N° de trenes	30				40				20	10	Calificación total
	AREA	ENERGIA	EFICIENCIA		SOLIDOS	GASES	VISUAL	OLORES	INVERCION	PERSONAL	
	40	30	15	15	35	25	25	15	100	100	
	1	2	3		4	5	6	7	8	9	
			DBO <sub>5</sub>	SST							
1: R-D-LA-FP	0.48	0.09	0.18	0.23	0.42	0.1	0.3	0.06	0.2	0.1	2.155
2: R-D-LA-LF	0.12	0.27	0.23	0.18	0.42	0.1	0.1	0.18	0.2	0.3	2.095
3: R-D-L-LA	0.12	0.27	0.05	0.09	0.7	0.3	0.3	0.18	0.6	0.3	2.905
4: R-D-L-LF	0.12	0.45	0.14	0.05	0.7	0.3	0.1	0.3	0.8	0.5	3.45
5: R-D-RU-FP	0.6	0.09	0.14	0.18	0.7	0.5	0.5	0.18	0.6	0.1	3.585
6: R-D-RU-LF	0.12	0.27	0.18	0.14	0.7	0.5	0.3	0.18	0.6	0.3	3.285

Nota: R: rejillas; D: Desarenador; LA: Lodos activados; FP: Filtro Percolador; LF: Laguna Facultativa; L: Laguna Anaerobia; RU: Reactor UASB.

La variable crítica de selección del tren de tratamiento fue el área ya que determino que no se realizara tratamiento terciario por falta de terreno, otra variable a considerar es la inversión ya que es un criterio fundamental en todo diseño.

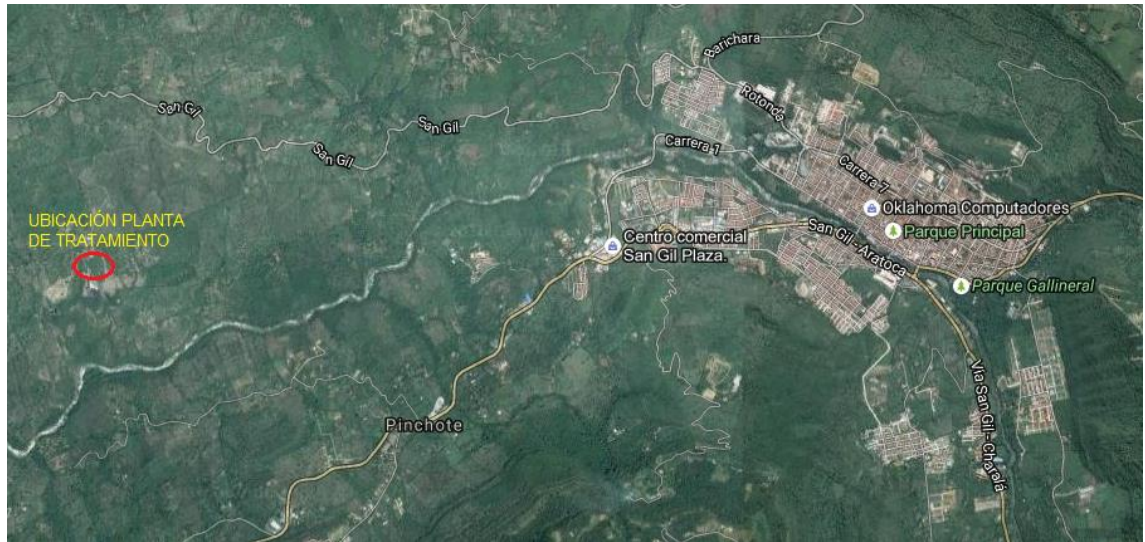
Como resultado final se seleccionó como tren ganador el tren número 5, el cual está conformado por las tecnologías Rejillas – Desarenador – Reactor UASB – Filtro percolador y obtuvo una calificación de 3.59, el área influyo bastante en esta decisión ya que este tren es el que ofrece una menor área para su funcionamiento.

### **3.3 PRE DISEÑO DE LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA**

Se considera un prediseño, ya que se inició el diseño con el caudal de entrada a la planta sin tener en cuenta los colectores del municipio ni el transporte de dicha agua residual al lugar de ubicación de la planta de tratamiento.

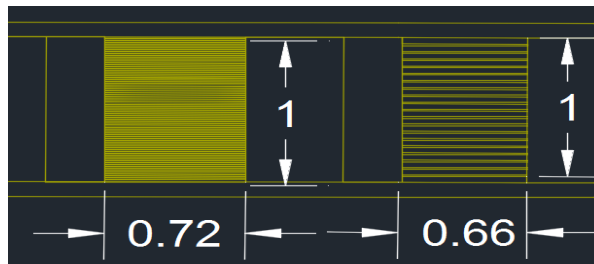
Para el diseño de la planta se inició con el cálculo del caudal a tratar con base en el RAS-2000, el cual arrojó un valor de 370 lps. Con este valor de caudal se dio inicio al diseño de cada uno de los componentes hidráulicos de las tecnologías de tratamiento (Ver Anexo 1).

**Figura 6. Ubicación planta de tratamiento.**



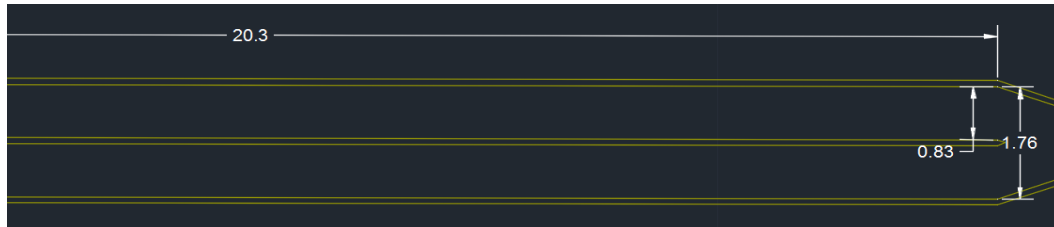
Para el diseño del tren seleccionado Rejilla – Desarenador – Reactor UASB – Filtro percolador, se empezó hacer el diseño de cada uno de las tecnologías y componentes del sistema empezando por el diseño de un canal de entrada a la planta de tratamiento de forma cuadrada con una profundidad de 0.79 m y de lado 0.79 m. Luego se realizó el diseño de dos rejillas una gruesa y la otra fina la rejilla gruesa tiene 17 barras número 4 y la fina 37 barras número 2 (Ver Anexo 4).

**Figura 7. Detalle del diseño de las rejillas.**



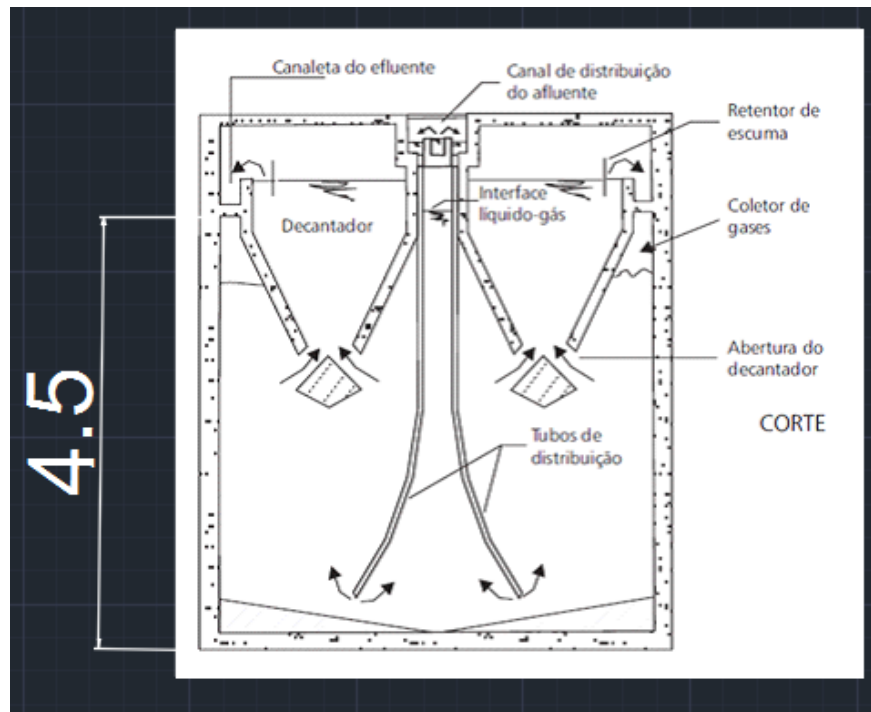
Después de las rejillas se diseñó un desarenador a dos canales con un ancho de canal de 0.83 m una profundidad de 1.5 m y un largo de 20.3 m (Ver Anexo 4).

**Figura 8. Vista en planta de desarenador.**



A continuación del desarenador se pusieron 6 reactores UASB cuadrados con una profundidad de 4.5 m y una medida por reactor de 38.5 m de lado (Ver Anexo 4).

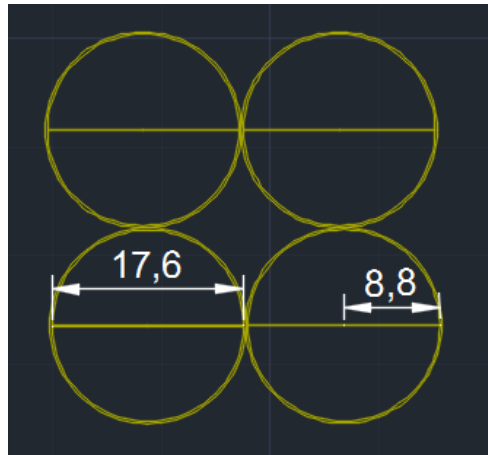
**Figura 9. Detalle de reactor UASB.**



Fuente: FINEP Rede cooperativa de pesquisas tratamento de esgotos sanitários por proceso anaeròbio e disposiçao controlada no solo. [en línea] disponible en: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabcamposfinal.pdf> [Citado 10 de Octubre de 2016].

Luego se diseñaron 4 filtros percoladores a 2 ramas con una profundidad de 8 metros y un radio de 8.8 m (Ver Anexo 4).

**Figura 10. Vista en planta de los filtros percoladores.**

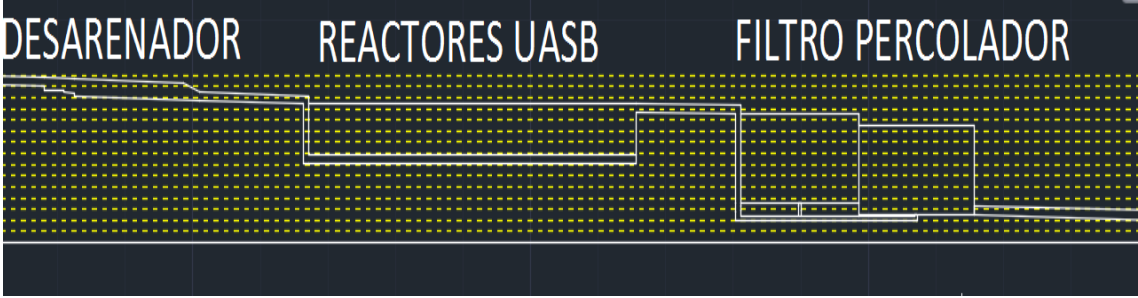


La vista en planta de la planta de tratamiento es la siguiente:

**Figura 11. Vista en planta de los elementos que componen la planta dentro del lote determinado.**



**Figura 12. Vista de perfil de los elementos que componen la planta dentro del lote determinado.**



#### 4. CONCLUSIONES

- El manejo de aguas residuales en el municipio de San Gil se caracteriza por la recolección a través de la red de alcantarillado mixto aguas lluvias y domésticas, siendo de esta forma vertido en el río Fonce, por uno de los 8 vertimientos que desembocan en éste.
- Se desarrolló una herramienta relacionada al tratamiento de aguas residuales en Colombia que incluye aspectos sociales, económicos, ambientales, tecnológicos y normas; variables como área requerida, requerimiento de energía, remoción de  $\text{DBO}_5$ , remoción de SST, producción de residuos sólidos y gaseosos, impacto visual, generación de olores inversión inicial y requerimiento de personal capacitado. Se tuvieron en cuenta las características de la localidad como el posible lugar de ubicación de la PTAR y el atractivo turístico del río Fonce entre otros. La aplicación de la herramienta permitió seleccionar el tren de tratamiento con potencial de aplicación, conformado por Rejilla – Desarenador - Reactor UASB - Filtro Percolador, generando gran favorabilidad en la variable área requerida ya que fue la de mayor importancia en el momento de aplicar la herramienta de selección, el requerimiento de energía, el costo de inversión y la remoción de  $\text{DBO}_5$  y SST también fueron variables decisivas.
- En este proyecto de grado se tenía la intención de diseñar un tren de tecnologías que incluyera algún tratamiento de tipo terciario, con la idea de remover los patógenos necesarios, para hacerle un tratamiento completo al agua residual antes de retornarla al río, pero por motivos de tamaño del área para la cual se diseñó el proyecto y las tecnologías de tipo terciario analizadas

en la fase 2, se decidió elaborar el diseño hasta tipo secundario, postergando la parte terciaria para una continuación de este proyecto.

- El diseño del sistema propuesto es preliminar y debe precisarse con información actualizada del sistema de alcantarillado y caudales de diseño. El diseño obtenido permite determinar la distribución de las tecnologías en el área disponible.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUAMARKET Humedales artificiales. Una alternativa de tratamiento de aguas residuales. [en línea] disponible en: [http://www..com/sql/temas-interes/tema\\_interes.asp?id\\_tema\\_interes=2562](http://www..com/sql/temas-interes/tema_interes.asp?id_tema_interes=2562) [Citado 10 de Septiembre de 2016].

AGUAS RESIDUALES Tratamiento de aguas residuales y desechos orgánicos. [en línea] disponible en: <https://aguasresiduales.wordpress.com/tag/lodos-activados/> [Citado 7 de Agosto de 2016].

AQUA KNOW Lagunas de estabilización. [en línea] disponible en: [http://www.aquaknow.net/en/system/files/3.Lagunas%20de%20estabilizaci%C3%B3n\\_0.pdf](http://www.aquaknow.net/en/system/files/3.Lagunas%20de%20estabilizaci%C3%B3n_0.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

AQUA LIMPIA Filtros biológicos percoladores. [en línea] disponible en: <http://www.aqualimpia.com/Biofiltros.htm> [Citado 5 de Septiembre de 2016].

BIOFILTRACIÓN Manual de diseño: Humedal construido para el tratamiento de las aguas grises por. [en línea] disponible en: [en línea] disponible en: [http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/GP\\_reports/Diseno\\_Humedal\\_AguasGrises.pdf](http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/GP_reports/Diseno_Humedal_AguasGrises.pdf) [Citado 21 de Agosto de 2016].

BVSDE Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización. [en línea] disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053\\_Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lag/Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lagunas\\_estabilizaci%C3%B3n.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf) [Citado 8 de Agosto de 2016].

DANE. Censo 2005.

Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984 para el vertimiento de aguas residuales.

DÍAZ L, GUALDRON M. Selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en el municipio de Villanueva-Santander, quebrada las burras [Tesis de Grado]. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2014.

Diseño PTAR para el municipio de San Gil Santander.1999.

ECODESINGENIERIA Aspectos Importantes de las aguas residuales en Colombia. [en línea] disponible en: <http://www.ecodesingenieria.com/es/component/k2/item/183-aspectos-importantes-de-las-aguas-residuales-en-colombia> [Citado 2 de Agosto de 2015]

ENGINEERING FUNDAMENTALS Fundamentos [en línea] disponible en: [www.lodosactivados.com](http://www.lodosactivados.com).  
<http://www.engineeringfundamentals.net/LodosActivados/fundamentos.htm> [Citado 1 de Septiembre de 2016].

EOI Syafrina Sharif. [en línea] disponible en: <http://www.eoi.es/blogs/syafrinasharif/> [Citado 5 de Septiembre de 2016].

ESTRUCPLAN Los problemas de las aguas contaminadas. [en línea] disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=995> [Citado 2 de Agosto de 2015].

FLUIDOS EIA Desarenadores. [en línea] disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/desarenadores/desarenadores.html> [Citado 7 de Agosto de 2016].

FLUIDOS EIA Tipos de tratamientos de aguas residuales. [en línea] disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujoencanales/residuales/Tipos%20de%20Tratamiento.htm> [Citado 7 de Agosto de 2016].

H-GAC Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras. [en línea] disponible en: [https://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems\\_Trickling-Filter-S.pdf](https://www.h-gac.com/community/water/ossf/OSSF-Treatment-Systems_Trickling-Filter-S.pdf) [Citado 8 de Agosto de 2016].

METCALF, Eddy. Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. Volumen I tercera edición.1995.

MONOGRAFIAS Diseño de tratamiento secundario. [en línea] disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos81/disenotratamientosecundario/disenotratamientosecundario.shtml> [Citado 2 de Septiembre de 2016].

MONOGRAFIAS Diseño de tratamiento secundario. [en línea] disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos81/disenotratamientosecundario2/disenotratamientosecundario2.shtml> [Citado 6 de Septiembre de 2016].

NOYOLA A, MORGAN-SAGASTUME J. M, GUERRECA L. P Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Primera edición, Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Ingeniería. 2013.

OVIEDO E. Tratamiento primario-reactor UASB, planta general Campoalegre.2007.

PREZI Sistema de tratamiento de aguas residuales biodiscos. [en línea] disponible en: <https://prezi.com/vgbjxnm3tgrc/sistema-de-tratamiento-de-aguas-residuales-biodiscos/> [Citado 8 de Agosto de 2016]

RAS 2000 CAP 5. Tratamiento aguas residuales.

REDALYC La digestión anaerobia y los reactores UASB generalidades. [en línea] disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223121549002.pdf> [Citado 7 de Agosto de 2016].

REVISTAS UTP Modelo de costo para el tratamiento de las aguas residuales en la región. [en línea] disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4191/2099> [Citado 10 de Septiembre de 2016].

REYES, E. Comunicación personal. Entrevista realizada al operario de la planta de potabilización de la empresa ACUASAN. San Gil (Santander). Marzo 2015.

SAN GIL SANTANDER Información general [en línea] disponible en: <http://www.sangil.gov.co/san-gil/informacion-general/> [Citado 4 de Octubre de 2015].

SPERLING M, LEMOS C. Biological wastewater treatment in warm climate regions. Volumen II. 2005.

TRATAMIENTO DE AGUA. Laguna facultativa [en línea] disponible en: <http://www.tratamientodelagua.com.mx/laguna-facultativa/> [Citado 5 de Septiembre de 2016].

TRATAMIENTO DEL AGUA. Lagunas de maduración [en línea] disponible en: <http://www.tratamientodelagua.com.mx/lagunas-de-maduracion/> [Citado 20 de Agosto de 2016].

UNAD Leccion 39 filtro anaerobio [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion\\_39\\_filtro\\_a\\_naerobio.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_39_filtro_a_naerobio.html) [Citado 20 de Agosto de 2016].

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

UNAD. Leccion 9. Desarenador [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion\\_9\\_desarenador.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_9_desarenador.html) [Citado 1 de Septiembre de 2016].

USAL Lagunas anaerobias. [en línea] disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/anaerobias.PDF> [Citado 7 de Agosto de 2016].

USAL Lagunas facultativas. [en línea] disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/facultativas.PDF> [Citado 8 de Agosto de 2016].

## ANEXOS

### Anexo A. Calculo del caudal de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Parámetros para el cálculo del caudal:

- Dotación 130 l/seg
- Variaciones 0%
- Población 56686 habitantes
- Coeficiente de retorno 0.8
- Pérdidas del 30%

$$Dotacion\ bruta = \frac{Dot\ neta}{1 - \%perdidas} = \frac{130}{1 - \frac{30}{100}}$$

$$Q_{domestico} = \frac{Dot * poblacion * retorno}{86400} = \frac{185.714 * 56686 * 0.8}{86400} = 97.476 \frac{l}{seg}$$

**Tabla 42.** Porcentaje de caudales.

Q domestico	97.4759259	96%
Q industrial	2.03074846	2%
Q comercial	2.03074846	2%
	101.537423	100%

$$Q_{medio\ diario\ de\ AR} = Q_D + Q_I + Q_C + Q_{IN} = 97.476 + 2.031 + 2.031 = 101.537 \frac{l}{seg}$$

Calculamos el factor de mayoración:

$$F_{Harmon} = 1 + \frac{14}{(4 + P^{0.5})} = 1 + \frac{14}{(4 + 56686^{0.5})} = 1.058$$

$$F_{Babbit} = \frac{5}{P^{0.2}} = \frac{5}{56686^{0.2}} = 0.56$$

$$F_{Flores} = \frac{3.5}{P^{0.1}} = \frac{3.5}{56686^{0.1}} = 1.171$$

$$F_{Angeles} = \frac{3.53}{(Q_{MD})^{0.0914}} = \frac{3.53}{(101.537)^{0.0914}} = 2.314$$

$$F_{Tchoban} = \frac{3.7}{(Q_{MD})^{0.0733}} = \frac{3.7}{(101.537)^{0.0733}} = 2.637$$

Tomamos la mayoración de los ángeles ya que es más adecuada para el diseño del caudal.

$$Q_{\text{maximo horario}} = F * Q_{\text{Mdiario}} = 2.314 * 101.537 = 234.961 \frac{l}{\text{seg}}$$

El área aferente del sistema de alcantarillado es de 542 Ha y un coeficiente de 0.1

$$\frac{l}{\text{seg-Hab}}$$

$$Q_{CE} = 0.1 * A_{\text{aferente}} = 0.1 * 542 = 54.2 \frac{l}{\text{seg}}$$

Para el caudal de infiltración el coeficiente es de 0.15  $\frac{l}{\text{seg-Hab}}$

$$Q_{INF} = 0.15 * A_{afereute} = 0.15 * 542 = 81.3 \frac{l}{seg}$$

$$Q_{Diseño} = Q_{MH} + Q_{INF} + Q_{CE} = 234.961 + 54.2 + 81.3 = 370.461 \frac{l}{seg}$$

(RAS-2000)

## Anexo B. Valores para cada una de las variables de los 12 trenes con tecnologías primarias, secundarias y terciarias

Variables

### 1. Área

Para determinar esta variable se realizó un pre diseño de cada una de las tecnologías con potencial para nuestra PTAR

#### ▪ Lodos activados

$$V = \frac{TRC * Y * Q * (S_o - S)}{X * [1 + (k_d * TRC)]}$$

Donde:

V: Volumen del reactor ( $m^3$ )

TRC: Tiempo de retención celular (d)

Y: Coeficiente de crecimiento bacteriano (oscila entre 0.4 y 0.8)

Q: Caudal de aguas residuales ( $\frac{m^3}{d}$ )

$S_o$ : DQO inicial en el afluente ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

S: DQO final en el afluente ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

X: Solidos suspendidos de licor de mezcla (SSLM) en el tranque ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

$k_d$ : Coeficiente de eliminación de bacterias (oscila entre 0.04 y 0.075)

Condiciones de diseño:

- $Q = 370 \frac{L}{seg} * \frac{86400 seg}{dia} * \frac{m^3}{1000 L} \quad Q = 31968 \frac{m^3}{dia}$

- $S_o = 0.428 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

- $S=0,428-(0,420*0,8)$        $S=0.0856\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$
- Y se tomó un valor de 0.5
- X se tomó un valor de  $3\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$
- $k_d= 0.05$
- $TRC = 8 \text{ dias}$
- Profundidad= 4 m

$$V = \frac{8 * 0.5 * 31968 * (0.428 - 0.0856)}{3 * [1 + (0.05 * 8)]}$$

$$Volumen = 10424.613 \text{ m}^3$$

$$Area = \frac{Volumen}{Profundidad} \text{ (m}^2\text{)} \qquad Area = \frac{10424.613}{4} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Area = 2606.153 \text{ (m}^2\text{)}$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

▪ **Laguna anaerobia**

Condiciones de diseño:

- $Q = 31968 \frac{m^3}{dia}$
- $DQO = 428 \frac{mg}{l}$
- Carga volumétrica se asumió un valor de  $400 \frac{g \text{ DBO}}{m^3-dia}$
- Profundidad = 5m

$$Area = \frac{DQO * Q}{\text{Carga volumetrica}} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Area = \frac{428 * 31968}{\frac{400}{5}} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Area = 6841.152 \text{ (m}^2\text{)}$$

AQUAKNOW Lagunas de estabilización. [en línea] disponible en: [http://www.aquaknow.net/en/system/files/3.Lagunas%20de%20estabilizaci%C3%B3n\\_0.pdf](http://www.aquaknow.net/en/system/files/3.Lagunas%20de%20estabilizaci%C3%B3n_0.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

- **Reactor UASB**

Condiciones de diseño:

- $Q = 31968 \frac{m^3}{dia}$
- $DBO = 217 \frac{mg}{l}$
- Carga volumétrica entre 1 y 2
- Profundidad 5 m

$$CO = \frac{DBO * Q}{1000} \qquad CO = \frac{217 * 31968}{1000} \qquad CO = 6937.056$$

$$Volumen = \frac{CO}{CV} \text{ (m}^3\text{)} \qquad Volumen = \frac{6937.056}{2} \text{ (m}^3\text{)}$$

$$Volumen = 3468.528 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$Area = \frac{volumen}{profundidad} \text{ (m}^2\text{)} \qquad Area = \frac{3468.528}{5} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Area = 693.7056 \text{ (m}^2\text{)}$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

▪ **Filtro percolador**

Condiciones de diseño:

- Se asumió una carga orgánica de 1.2
- $Q = 31968 \frac{m^3}{dia}$
- *Profundidad 4 m*
- Para hallar la carga másica se necesita el DBO de entrada a la tecnología para lo cual se miró cada tren y se puso el DBO de cada tren:

$$CM = \frac{DBO}{1000} * Q$$

Para los trenes 1, 2,3 y 4: CM=1387.414

Para los trenes 5, 6,7 y 8: CM=3468.528

Para los trenes 9, 10,11 y 12: CM=2427.97

$$Volumen = \frac{CM}{CO} m^3$$

$$Volumen_{tren\ 1,2,3\ y\ 4} = \frac{1387.414}{1.2} m^3$$

$$Volumen_{tren\ 1,2,3\ y\ 4} = 1156.176 m^3$$

$$Volumen_{tren\ 5,6,7\ y\ 8} = \frac{3468.528}{1.2} m^3$$

$$Volumen_{tren\ 5,6,7\ y\ 8} = 2890.44\ m^3$$

$$Volumen_{tren\ 9,10,11\ y\ 12} = \frac{2427.97}{1.2} m^3$$

$$Volumen_{tren\ 9,10,11\ y\ 12} = 2023.308\ m^3$$

$$Area = \frac{Volumen}{Profundidad} m^2$$

$$Area_{tren\ 1,2,3\ y\ 4} = \frac{1156.176}{4} m^2$$

$$Area_{tren\ 1,2,3\ y\ 4} = 289.044\ m^2$$

$$Area_{tren\ 5,6,7\ y\ 8} = \frac{2890.44}{4} m^2$$

$$Area_{tren\ 5,6,7\ y\ 8} = 722.61\ m^2$$

$$Area_{tren\ 9,10,11\ y\ 12} = \frac{2023.308}{4} m^2$$

$$Area_{tren\ 9,10,11\ y\ 12} = 505.827\ m^2$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

▪ **Laguna Facultativa**

Condiciones de diseño:

- Profundidad 2.5 m
- Tiempo de retención horario (TRH) de 5 a 30 días se tomaron 5 días
- $Q = 31968 \frac{m^3}{dia}$

$$Area = \frac{Q * TRH}{Profundidad} m^2$$

$$Area = \frac{31968*5}{2.5} m^2$$

$$Area = 63936 m^2$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

▪ **Laguna de maduración**

Condiciones de diseño:

- Profundidad 1.5 m
- TRH 5 días
- $Q = 31968 \frac{m^3}{dia}$

$$Area = \frac{Q * TRH}{Profundidad} m^2$$

$$Area = \frac{31968*5}{1.5} m^2$$

$$Area = 106560 m^2$$

DÍAZ L, GUALDRON M. Selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en el municipio de Villanueva-Santander, quebrada las burras [Tesis de Grado]. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2014.

▪ **Humedales**

Condiciones de diseño:

- Temperatura 24°C
- Profundidad 0.8 m
- Porosidad 0.4

Constante degradación (Kd)  $Kd = 1.35 * 1.1^{Temperatura-20}$

$$Kd = 1.35 * 1.1^{24-20}$$

$$Kd = 1.976535$$

Se halla un tiempo de retención horario (TRH) por cada tren de tratamiento para lo cual se necesita la DBO de entrada y salida que llega a la tecnología, las cuales se encuentran en la tabla de DBO

**Tabla 12.** DBO de entrada y salida de los trenes de tratamiento en los humedales

Tren	DBO entrada	DBO salida
3 y 4	8.68	1.736
7 y 8	15.19	3.038
11 y 12	13.02	2.604

$$TRH = \frac{-Ln\left(\frac{DBO\ sale}{DBO\ entrada}\right)}{Kd}$$

$$TRH_{tren\ 3\ y\ 4} = \frac{-Ln\left(\frac{1,736}{8,68}\right)}{1,976535}$$

$$TRH_{tren\ 3\ y\ 4} = 0,814272\ dias$$

$$TRH_{tren\ 7\ y\ 8} = \frac{-Ln\left(\frac{3,038}{15,19}\right)}{1,976535}$$

$$TRH_{tren\ 7\ y\ 8} = 0,814272\ dias$$

$$TRH_{tren\ 11\ y\ 12} = \frac{-Ln\left(\frac{13,02}{2,604}\right)}{1,976535} \quad TRH_{tren\ 11\ y\ 12} = 0,814272\ dias$$

$$Area = \frac{Q * TRH}{Profundidad * porosida} m^2$$

$$Area = \frac{31968 * 0,814272}{0,4 * 0,8} m^2 \quad Area = 811345,81 m^2$$

DÍAZ L, GUALDRON M. Selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en el municipio de Villanueva-Santander, quebrada las burras [Tesis de Grado]. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2014.

Área total para cada tren

**Tabla 13.** Área total para cada tren

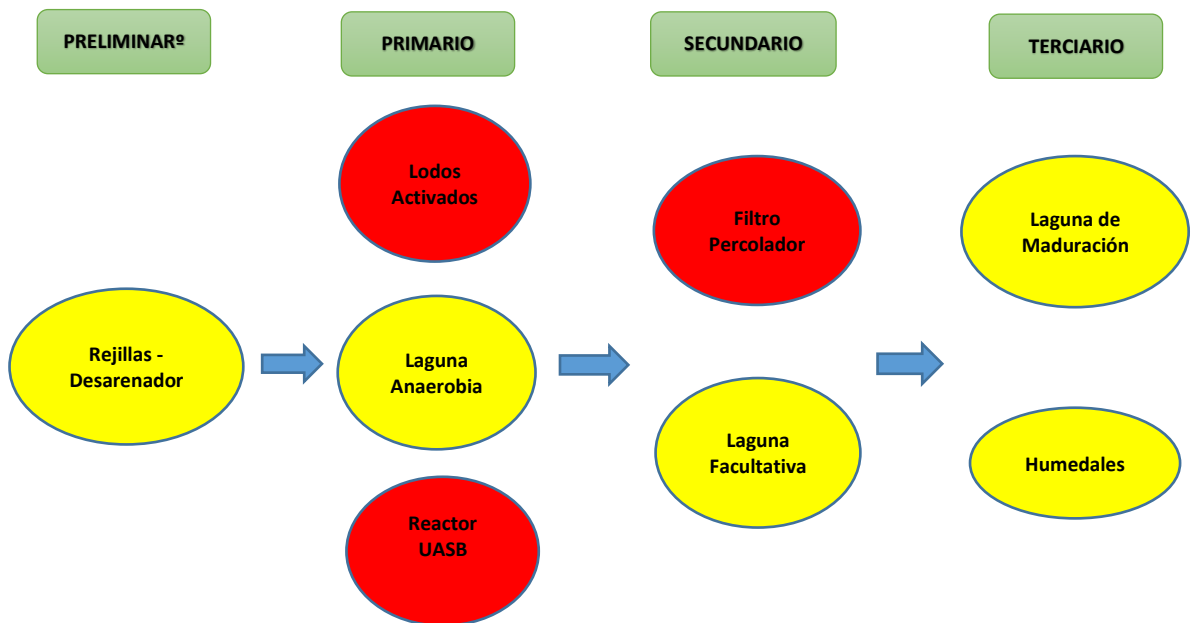
Área total m <sup>2</sup>		Relación	Puntuación
tren 1	109455.20	12.56	1
tren 2	49207.28	5.64	1
tren 3	173102.15	19.86	1
tren 4	147887.97	16.96	1
tren 5	114123.76	13.09	1
tren 6	53875.84	6.18	1
tren 7	177337.15	20.34	1
tren 8	152122.97	17.45	1
tren 9	107759.53	12.36	1
tren 10	47511.61	5.45	1
tren 11	171189.71	19.64	1
tren 12	145975.52	16.74	1

La puntuación da 1 ya que ningún tratamiento cabe en el área del lote el cual tiene un tamaño de 8718 metros cuadrados.

## 2. Requerimiento de energía

Para determinar esta variable se buscó información de cada tecnología y en tutorías con el director del proyecto se elaboró la figura 13 en la cual se muestra el nivel de requerimiento de energía para cada una de ellas:

**Figura 13.** Esquema de requerimiento de energía para cada tecnología



El color amarillo significa que no requiere energía, el color rojo significa que requiere energía, si requiere energía se le dio un valor de 1 y si no requiere energía se le dio un valor de 5 punto

**Tabla 14.** Valores obtenidos en la variable requerimiento de energía.

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 1	3	ALTO
Tren 2	3	ALTO
Tren 3	2	MEDIO
Tren 4	2	MEDIO

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 5	2	MEDIO
Tren 6	2	MEDIO
Tren 7	1	BAJO
Tren 8	1	BAJO
Tren 9	3	ALTO
Tren 10	3	ALTO
Tren 11	2	MEDIO
Tren 12	2	MEDIO

### 3. Eficiencia de las tecnologías

En esta variable se determinó la remoción de DBO y de SST de cada uno de los trenes de selección:

El DBO total del agua residual es igual a 217 mg/l

**Tabla 15.** Eficiencia de remoción de DBO de cada tecnología.

Tecnología	Porcentaje de remoción
Lodos activados	80
Lagunas anaerobias	65
Reactor UASB	70
Filtro percolador	80
Laguna facultativa	80
Laguna de maduración	60
Humedal	80

Fuente: RAS - 2000

**Tabla 16.** Remoción de DBO que cada tren de tratamiento.

Trenes	Preliminar		Primario		Secundario		Terciario		% De Remoción
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	
1	217	217	217	43.4	43.4	8.68	8.68	3.472	98.264
2	217	217	217	43.4	43.4	8.68	8.68	3.472	98.264
3	217	217	217	43.4	43.4	8.68	8.68	1.736	99.132
4	217	217	217	43.4	43.4	8.68	8.68	1.736	99.132
5	217	217	217	75.95	75.95	15.19	15.19	6.076	96.962
6	217	217	217	75.95	75.95	15.19	15.19	6.076	96.962
7	217	217	217	75.95	75.95	15.19	15.19	3.038	98.481
8	217	217	217	75.95	75.95	15.19	15.19	3.038	98.481
9	217	217	217	65.1	65.1	13.02	13.02	5.208	97.396
10	217	217	217	65.1	65.1	13.02	13.02	5.208	97.396
11	217	217	217	65.1	65.1	13.02	13.02	2.604	98.698
12	217	217	217	65.1	65.1	13.02	13.02	2.604	98.698

Todos los trenes obtienen una remoción superior al 80% por lo cual cumple el decreto 1594.

En cuanto a los SST, los datos obtenidos son los que se muestran en la tabla 17.

Los SST total del agua residual es igual a 200 mg/l.

**Tabla 17.** Eficiencia de remoción de SST de cada tecnología.

<b>Tecnología</b>	<b>Porcentaje de remoción</b>
Lodos activados	90
Lagunas anaerobias	45
Reactor UASB	70
Filtro percolador	85
Laguna facultativa	63
Laguna de maduración	85
Humedal	70

Fuente: RAS - 2000

**Tabla 18.** Remoción de SST que cada tren de tratamiento.

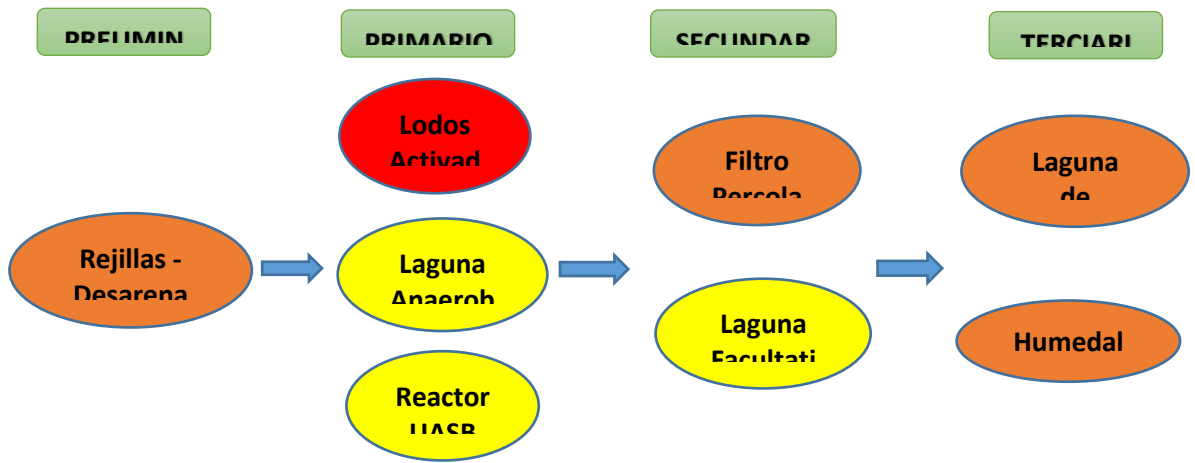
Trenes	Preliminar		Primario		Secundario		Terciario		% De Remoción
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	
1	200	200	200	20	20	3	3	0.45	99.775
2	200	200	200	20	20	3	3	0.45	99.775
3	200	200	200	20	20	7.4	7.4	2.22	98.89
4	200	200	200	20	20	7.4	7.4	2.22	98.89
5	200	200	200	110	110	16.5	16.5	2.475	98.7625
6	200	200	200	110	110	16.5	16.5	2.475	98.7625
7	200	200	200	110	110	40.7	40.7	12.21	93.895
8	200	200	200	110	110	40.7	40.7	12.21	93.895
9	200	200	200	60	60	9	9	1.35	99.325
10	200	200	200	60	60	9	9	1.35	99.325
11	200	200	200	60	60	22.2	22.2	6.66	96.67
12	200	200	200	60	60	22.2	22.2	6.66	96.67

También todos los trenes cumplen con el 80% de remoción estipulado por el decreto 1594.

#### **4. Generación de subproductos sólidos**

Para determinar esta variable se buscó información de cada tecnología y tutorías con el director del proyecto obteniendo el esquema de la figura 14.

**Figura 14.** Esquema de generación de subproductos sólidos para cada tecnología



En el cual el rojo es la tecnología que más produce lodos a la cual se le dio un valor de 5, amarillo un valor de 3 y café un valor de 1

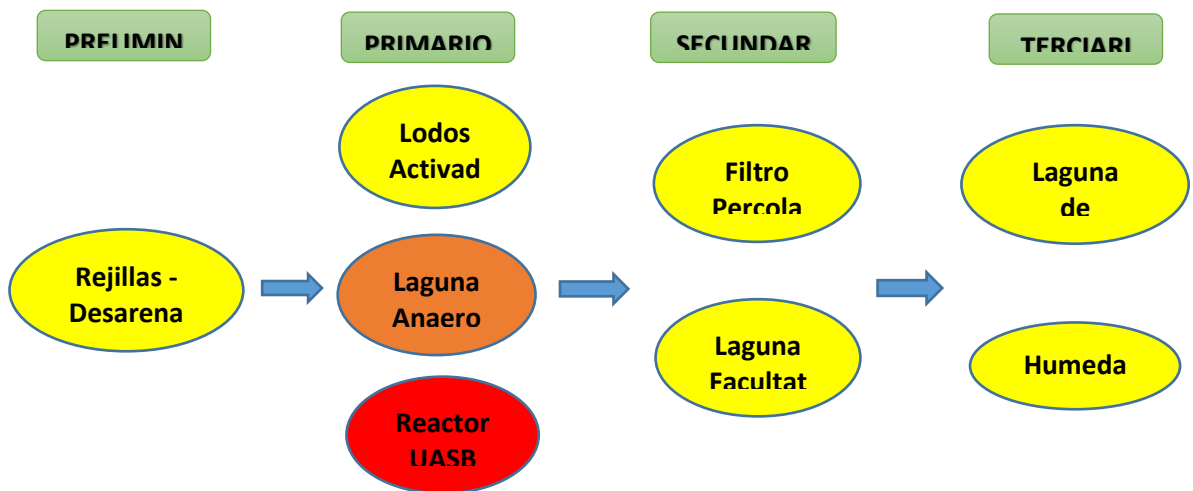
**Tabla 19.** Valores obtenidos en la variable subproductos sólidos.

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 1	2	MEDIO
Tren 2	2	MEDIO
Tren 3	2.5	ALTO
Tren 4	2.5	ALTO
Tren 5	1.5	BAJO
Tren 6	1.5	BAJO
Tren 7	2	MEDIO
Tren 8	2	MEDIO
Tren 9	1.5	BAJO
Tren 10	1.5	BAJO
Tren 11	2	MEDIO
Tren 12	2	MEDIO

## 5. Generación de subproductos gaseosos

Para determinar esta variable se buscó información de cada tecnología y tutorías con el director del proyecto, obteniendo el esquema de la figura 15.

**Figura 15.** Esquema de generación de subproductos gaseosos para cada tecnología



En el cual el rojo es la tecnología que más produce lodos a la cual se le dio un valor de 5, café un valor de 3 y amarillo un valor de 1

**Tabla 20.** Valores obtenidos en la variable subproductos gaseosos.

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 1	1	BAJO
Tren 2	1	BAJO
Tren 3	1	BAJO
Tren 4	1	BAJO
Tren 5	1.5	MEDIO
Tren 6	1.5	MEDIO
Tren 7	1.5	MEDIO
Tren 8	1.5	MEDIO
Tren 9	2	ALTO

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 10	2	ALTO
Tren 11	2	ALTO
Tren 12	2	ALTO

## 6. Impacto visual

Para determinar esta variable se buscaron diversas imágenes de las diferentes tecnologías empleadas en los trenes de tratamiento, para de esta forma a criterio de los autores determinar cualitativamente el impacto visual generado por cada tecnología.

**Figura 16.** Desarenado



Fuente: UNAD. Lección 9. Desarenador [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion\\_9\\_desarenador.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_9_desarenador.html) [Citado 1 de Septiembre de 2016].

**Figura 17. Lodos activados**



Fuente: ENGINEERING FUNDAMENTALS Fundamentos [en línea] disponible en: <http://www.engineeringfundamentals.net/LodosActivados/fundamentos.htm> [Citado 1 de Septiembre de 2016].

**Figura 18. Laguna anaerobia**



Fuente: Monografias Diseño de tratamiento secundario. [en línea] disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos81/disenio-tratamiento-secundario/disenio-tratamiento-secundario.shtml> [Citado 2 de Septiembre de 2016].

**Figura 19.** Reactor UASB



Fuente: EOI Syafrina Sharif. [en línea] disponible en: <http://www.eoi.es/blogs/syafrinasharif/> [Citado 5 de Septiembre de 2016].

**Figura 20.** Filtros percoladores



Fuente: Filtros biológicos percoladores. [en línea] disponible en: <http://www.aqualimpia.com/Biofiltros.htm> [Citado 5 de Septiembre de 2016].

**Figura 21.** Laguna facultativa



Fuente: Tratamiento de agua. [en línea] disponible en: <http://www.tratamientodelagua.com.mx/laguna-facultativa/> [Citado 5 de Septiembre de 2016]

**Figura 22.** Laguna de maduración



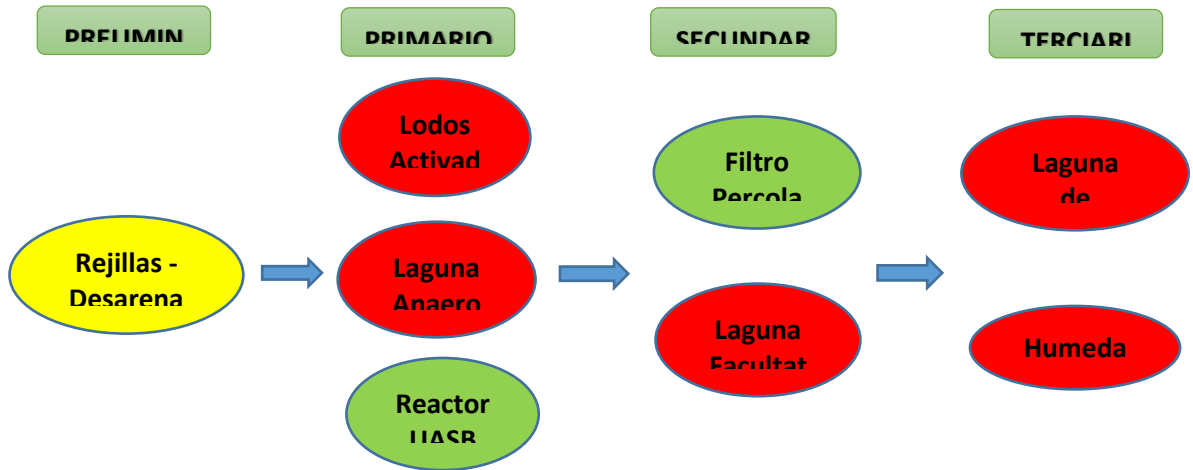
Fuente: MONOGRAFIAS diseño de tratamiento secundario. [en línea] disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos81/disenio-tratamiento-secundario/disenio-tratamiento-secundario2.shtml> [Citado 6 de Septiembre de 2016].

**Figura 23.** Humedales



Fuente: Humedales artificiales. Una alternativa de tratamiento de aguas residuales. [en línea] disponible en: [http://www.aguamarket.com/sql/temas-interes/tema\\_interes.asp?id\\_tema\\_interes=2562](http://www.aguamarket.com/sql/temas-interes/tema_interes.asp?id_tema_interes=2562) [Citado 10 de Septiembre de 2016].

**Figura 24.** Esquema de generación de impacto visual para cada tecnología



Se le dio un valor a cada color verde 5, amarillo 3 y rojo 1, se sumó la calificación de cada tecnología según su valor asignado y se dividió en el número de tecnologías por tren. Obteniendo la tabla 21.

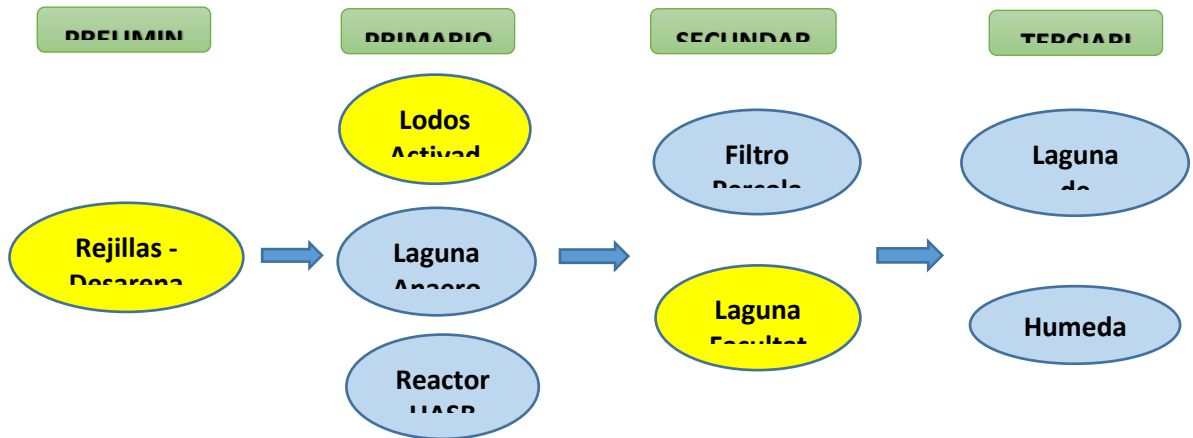
**Tabla 21.** Valores obtenidos en la variable impacto visual.

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 1	3.5	MEDIO
Tren 2	3.5	MEDIO
Tren 3	4.5	ALTO
Tren 4	4.5	ALTO
Tren 5	3.5	MEDIO
Tren 6	3.5	MEDIO
Tren 7	4.5	ALTO
Tren 8	4.5	ALTO
Tren 9	2.5	BAJO
Tren 10	2.5	BAJO
Tren 11	3.5	MEDIO
Tren 12	3.5	MEDIO

## 7. Generación de olores

Para determinar esta variable se buscó información de cada tecnología y tutorías con el director del proyecto, obteniendo el esquema de la figura 25.

**Figura 25.** Esquema de generación de olores para cada tecnología



Se le dio un valor a cada color azul 5 y amarillo 1, se sumó la calificación de cada tecnología según su valor asignado y se dividió en el número de tecnologías por tren. Obteniendo la tabla 22.

**Tabla 22.** Valores obtenidos en la variable generación de olores.

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 1	2	MEDIO
Tren 2	2	MEDIO
Tren 3	1.5	BAJO
Tren 4	1.5	BAJO
Tren 5	4	ALTO
Tren 6	4	ALTO
Tren 7	3	MEDIO
Tren 8	3	MEDIO
Tren 9	4	ALTO
Tren 10	4	ALTO

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 11	3	MEDIO
Tren 12	3	MEDIO

## 8. Costo de inversión

Para el desarrollo de esta variable se utilizó un estudio de la Universidad Tecnológica de Pereira, el cual mostraba los precios de algunas tecnologías de tratamiento empleadas en Colombia. El resultado se muestra en la tabla 23.

Los precios vienen dados en función de la población entonces para una población de 56686 habitantes estos son los costos de las diferentes tecnologías:

**Tabla 23.** Costo de cada una de las tecnologías

TEGNOLIGIAS	COSTO POR HABITANTE EN PESOS	VALOR DE LA TECNOLOGIA EN PESOS
PRELIMINAR	44000	2494184000
LODOS ACTIVADOS	88000	4988368000
LAGUNA ANAEROBIA	24000	1360464000
REACTOR UASB	44000	2494184000
FILTRO PERCOLADOR	66000	3741276000
LAGUNA FACULTATIVA	60000	3401160000
LAGUNA DE MADURACION	45000	2550870000
HUMEDALES	11000	623546000

Valor de cada tren de tratamiento

**Tabla 24.** Costo de cada uno de los trenes de tratamiento.

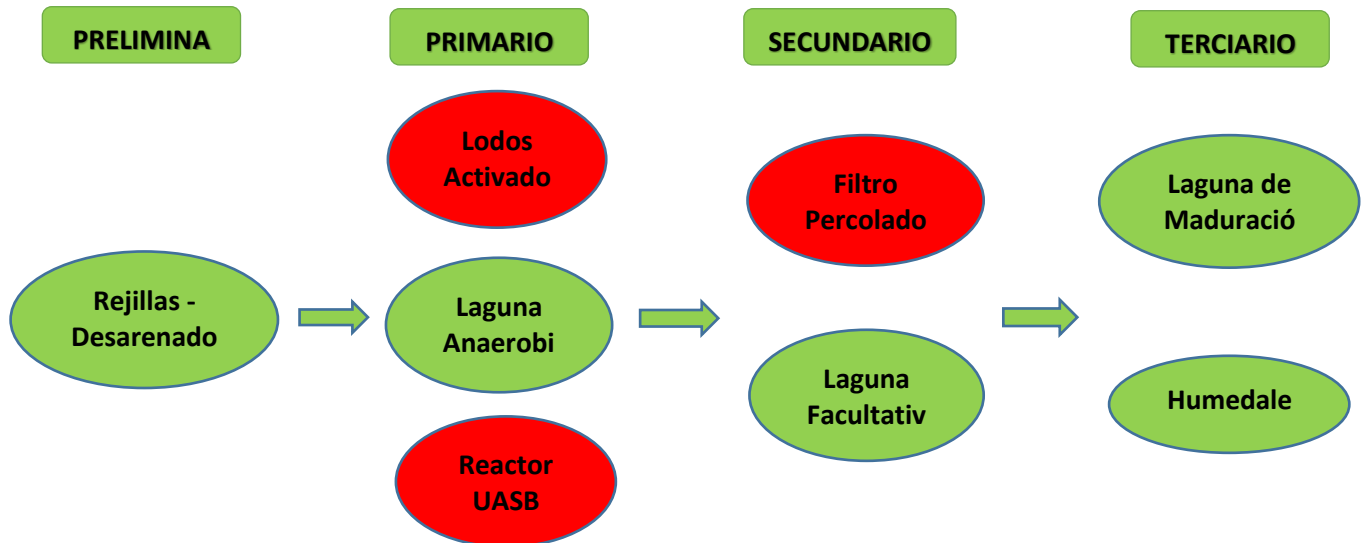
NUMERO DE TRENES	TECNOLOGÍAS					VALOR EN PESOS	CALIFICACION
	PRELIMINAR	PRIMARIO	SECUNDARIO	TERCIARIO			
1	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Filtros Percolador	Laguna de Maduración		11280514000	1
2	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Filtros Percolador	Humedales		9353190000	0.829145729
3	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Laguna Facultativa	Laguna de Maduración		10940398000	0.969849246
4	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Laguna Facultativa	Humedales		9013074000	0.798994975
5	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Filtros Percolador	Laguna de Maduración		7652610000	0.67839196
6	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Filtros Percolador	Humedales		5725286000	0.507537688
7	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	Laguna de Maduración		7312494000	0.648241206
8	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	Humedales		5385170000	0.477386935
9	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Filtros Percolador	Laguna de Maduración		8786330000	0.778894472
10	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Filtros Percolador	Humedales		6859006000	0.608040201

NUMERO DE TRENES	TECNOLOGÍAS					
	PRELIMINAR	PRIMARIO	SECUNDARIO	TERCIARIO	VALOR EN PESOS	CALIFICACION
11	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Laguna Facultativa	Laguna de Maduración	8446214000	0.748743719
12	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Laguna Facultativa	Humedales	6518890000	0.577889447

Modelo de costo para el tratamiento de las aguas residuales en la región. [en línea] disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4191/2099> [Citato 10 de Septiembre de 2016].

## 9. Requerimiento de personal

Para determinar esta variable se buscó información de cada tecnología y tutorías con el director del proyecto obteniendo el siguiente esquema:



**Figura 26.** Esquema de requerimiento de personal para cada tecnología

Se le dio un valor a cada color rojo 5 y verde 1, se sumó la calificación de cada tecnología según su valor asignado y se dividió en el número de tecnologías por tren. Obteniendo la siguiente tabla:

**Tabla 25.** Valores obtenidos en la variable requerimiento de personal.

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 1	3	ALTO
Tren 2	3	ALTO
Tren 3	2	MEDIO
Tren 4	2	MEDIO
Tren 5	1	BAJO
Tren 6	1	BAJO

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 7	3	ALTO
Tren 8	3	ALTO
Tren 9	2	MEDIO
Tren 10	2	MEDIO

Matrices de calificación

**Tabla 7.** Valores estimados para los 12 trenes

		30				40				20	10
		AREA	ENERGIA	EFICIENCIA		SOLIDOS	GASES	VISUAL	OLORES	INVERCION	PERSONAL
		40	30	15	15	35	25	25	15	100	100
Variable N° de trenes	1	2	3		4	5	6	7	8	9	
			DBO <sub>5</sub>	SST							
1	12.56	A	0.40	0.04	M	B	M	M	1.00	A	
2	5.64	A	0.40	0.04	M	B	M	M	0.83	A	
3	19.86	M	0.11	0.13	A	B	A	B	0.97	M	
4	16.96	M	0.11	0.13	A	B	A	B	0.80	M	
5	13.09	M	1.00	0.30	B	M	M	A	0.68	M	
6	6.18	M	1.00	0.30	B	M	M	M	0.51	B	
7	20.34	B	0.29	1.00	M	M	A	M	0.65	B	
8	17.45	B	0.29	1.00	M	M	A	M	0.48	B	
9	12.36	A	0.70	0.11	B	A	B	A	0.78	A	
10	5.45	A	0.70	0.11	B	A	B	A	0.61	A	
11	19.64	M	0.20	0.38	M	A	M	M	0.75	M	
12	16.74	M	0.20	0.38	M	A	M	M	0.58	M	

**Tabla 26.** Calificaciones estimadas para un tren por cada variable con los 12 trenes

	30				40				20	10
	AREA	ENERGIA	EFICIENCIA		SOLIDOS	GASES	VISUAL	OLORES	INVERCION	PERSONAL
	40	30	15	15	35	25	25	15	100	100
Variable N° de trenes	1	2	3		4	5	6	7	8	9
			DBO <sub>5</sub>	SST						
1	1	1	3.00	5.00	3	1	3	3	1	1
2	1	1	3.00	5.00	3	1	3	3	1	1
3	1	3	5.00	5.00	1	1	1	5	1	3
4	1	3	5.00	5.00	1	1	1	5	2	3
5	1	3	1.00	4.00	5	3	3	1	2	3
6	1	3	1.00	4.00	5	3	3	3	3	5
7	1	5	4.00	1.00	3	3	1	3	2	5
8	1	5	4.00	1.00	3	3	1	3	3	5
9	1	1	2.00	5.00	5	5	5	1	2	1
10	1	1	2.00	5.00	5	5	5	1	2	1
11	1	3	4.00	4.00	3	5	3	3	2	3
12	1	3	4.00	4.00	3	5	3	3	3	3

**Tabla 27.** Matriz final usada para la selección de tecnología con los 12 trenes

		30			40				20	10			
		AREA	ENERGIA	EFICIENCIA		SOLIDOS	GASES	VISUAL	OLORES	INVERCION	PERSONAL		
		40	30	15	15	35	25	25	15	100	100		
Variable N° de trenes	1	2	3		4	5	6	7	8	9	Calificación final		
			DBO <sub>5</sub>	SST									
	1	0.12	0.09	0.14	0.23	0.42	0.1	0.3	0.18	0.2	0.1	1.87	
	2	0.12	0.09	0.14	0.23	0.42	0.1	0.3	0.18	0.2	0.1	1.87	
	3	0.12	0.27	0.23	0.23	0.14	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	1.98	
	4	0.12	0.27	0.23	0.23	0.14	0.1	0.1	0.3	0.4	0.3	2.18	
	5	0.12	0.27	0.05	0.18	0.7	0.3	0.3	0.06	0.4	0.3	2.675	
	6	0.12	0.27	0.05	0.18	0.7	0.3	0.3	0.18	0.6	0.5	3.195	
	7	0.12	0.45	0.18	0.05	0.42	0.3	0.1	0.18	0.4	0.5	2.695	
	8	0.12	0.45	0.18	0.05	0.42	0.3	0.1	0.18	0.6	0.5	2.895	
	9	0.12	0.09	0.09	0.23	0.7	0.5	0.5	0.06	0.4	0.1	2.785	
	10	0.12	0.09	0.09	0.23	0.7	0.5	0.5	0.06	0.4	0.1	2.785	
	11	0.12	0.27	0.18	0.18	0.42	0.5	0.3	0.18	0.4	0.3	2.85	
	12	0.12	0.27	0.18	0.18	0.42	0.5	0.3	0.18	0.6	0.3	3.05	

Como los trenes no caben en el lote se realizó los mismos procedimientos quitando el tratamiento terciario

## Anexo C. Valores para cada una de las variables de los 6 nuevos trenes con tecnología primarias y secundarias

### 1. Área

Para determinar esta variable se realizó un pre diseño de cada una de las tecnologías con potencial para nuestra PTAR

#### ▪ Lodos activados

$$V = \frac{TRC * Y * Q * (S_o - S)}{X * [1 + (k_d * TRC)]}$$

Donde:

V: Volumen del reactor ( $m^3$ )

TRC: Tiempo de retención celular (d)

Y: Coeficiente de crecimiento bacteriano (oscila entre 0.4 y 0.8)

Q: Caudal de aguas residuales ( $\frac{m^3}{d}$ )

$S_o$ : DQO inicial en el afluente ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

S: DQO final en el afluente ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

X: Solidos suspendidos de licor de mezcla (SSLM) en el tranque ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

$k_d$ : Coeficiente de eliminación de bacterias (oscila entre 0.04 y 0.075)

Condiciones de diseño:

$$\bullet \quad Q = 370 \frac{L}{seg} * \frac{86400 seg}{dia} * \frac{m^3}{1000 L} \quad Q = 31968 \frac{m^3}{dia}$$

$$\bullet \quad S_o = 0.428 \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$\bullet \quad S = 0.428 - (0.428 * 0.8) \quad S = 0.0856 \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$$

- Y se tomó un valor de 0.5
- X se tomó un valor de  $3\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$
- $k_d = 0.05$
- $TRC = 8 \text{ dias}$
- Profundidad = 4 m

$$V = \frac{8 * 0,5 * 31968 * (0.428 - 0.0856)}{3 * [1 + (0.05 * 8)]}$$

$$Volumen = 10424.613 \text{ m}^3$$

$$Area = \frac{Volumen}{Profundidad} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Area = \frac{10424.613}{4} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Area = 2606.153 \text{ (m}^2\text{)}$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

- **Laguna anaerobia**

Condiciones de diseño:

- $Q = 31968 \frac{m^3}{dia}$
- $DQO = 428 \frac{mg}{l}$
- Carga volumétrica se asumió un valor de  $400 \frac{g \text{ DBO}}{m^3-dia}$
- Profundidad = 5m

$$Area = \frac{DQO * Q}{\text{Carga volumetrica}} (m^2)$$

$$Area = \frac{428 * 31968}{400} (m^2)$$

$$Area = 6841.152 (m^2)$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

▪ **Reactor UASB**

Condiciones de diseño:

- $Q = 31968 \frac{m^3}{dia}$
- $DBO = 217 \frac{mg}{l}$
- Carga volumétrica entre 1 y 2
- Profundidad 5 m

$$CO = \frac{DBO * Q}{1000} \quad CO = \frac{217 * 31968}{1000} \quad CO = 6937.056$$

$$Volumen = \frac{CO}{CV} (m^3) \quad Volumen = \frac{6937.056}{2} (m^3)$$

$$Volumen = 3468.528 (m^3)$$

$$Area = \frac{volumen}{profundidad} (m^2) \quad Area = \frac{3468.528}{5} (m^2)$$

$$Area = 693.7056 (m^2)$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

#### ▪ Filtro percolador

Condiciones de diseño:

- Se asumió una carga orgánica de 1.2
- $Q = 31968 \frac{m^3}{dia}$
- Profundidad 4 m
- Para hallar la carga másica se necesita el DBO de entrada a la tecnología para lo cual se miró cada tren y se puso el DBO de cada tren:

$$CM = \frac{DBO}{1000} * Q$$

Para los trenes 1,2,3 y 4:  $CM=1387.414$

Para los trenes 5,6,7 y 8:  $CM=3468.528$

Para los trenes 9,10,11 y 12:  $CM=2427.97$

$$Volumen = \frac{CM}{CO} m^3$$

$$Volumen_{tren\ 1,2,3\ y\ 4} = \frac{1387.414}{1.2} m^3$$

$$Volumen_{tren\ 1,2,3\ y\ 4} = 1156,176 m^3$$

$$Volumen_{tren\ 5,6,7\ y\ 8} = \frac{3468.528}{1.2} m^3$$

$$Volumen_{tren\ 5,6,7\ y\ 8} = 2890.44 m^3$$

$$Volumen_{tren\ 9,10,11\ y\ 12} = \frac{2427.97}{1.2} m^3$$

$$Volumen_{tren\ 9,10,11\ y\ 12} = 2023.308\ m^3$$

$$Area = \frac{Volumen}{Profundidad}\ m^2$$

$$Area_{tren\ 1,2,3\ y\ 4} = \frac{1156.176}{4}\ m^2$$

$$Area_{tren\ 1,2,3\ y\ 4} = 289.044\ m^2$$

$$Area_{tren\ 5,6,7\ y\ 8} = \frac{2890.44}{4}\ m^2$$

$$Area_{tren\ 5,6,7\ y\ 8} = 722.61\ m^2$$

$$Area_{tren\ 9,10,11\ y\ 12} = \frac{2023.308}{4}\ m^2$$

$$Area_{tren\ 9,10,11\ y\ 12} = 505.827\ m^2$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

#### ▪ Laguna Facultativa

Condiciones de diseño:

- Profundidad 2.5 m
- Tiempo de retención horario (TRH) de 5 a 30 días se tomaron 5 días
- $Q = 31968\ \frac{m^3}{dia}$

$$Area = \frac{Q * TRH}{Profundidad}\ m^2$$

$$Area = \frac{31968*5}{2.5} m^2 \quad Area = 63936 m^2$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

el área total es el área del tren más un 20% por tratamiento preliminar y oficinas

**Tabla 28.** Área total de los 6 trenes finales

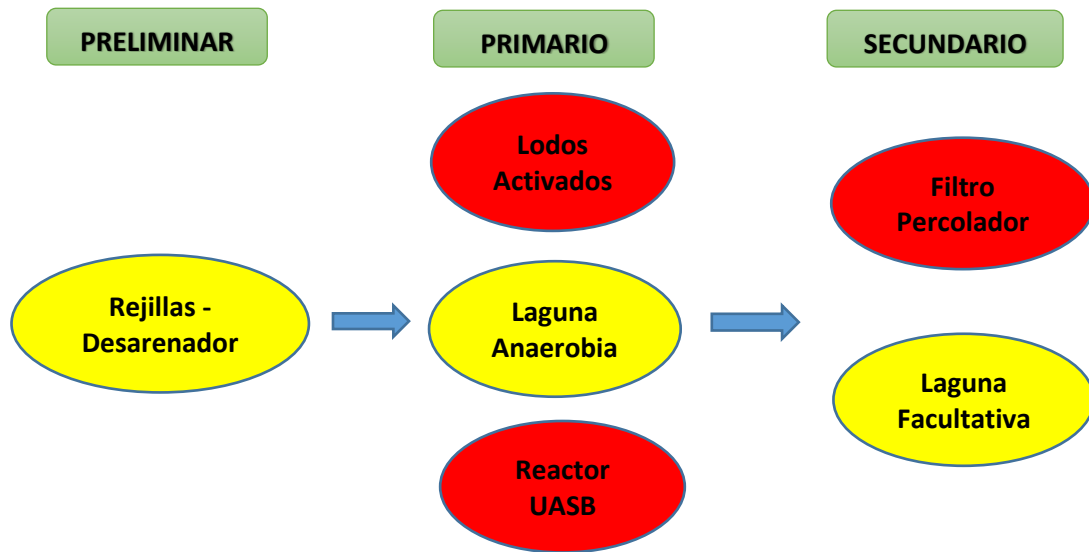
	<b>Área</b>	<b>Área Total</b>	<b>Relación</b>	<b>Puntuación</b>
tren 1	2837.388	3333.93	0.38	4
tren 2	66542.153	78187.03	8.97	1
tren 3	7419.24	8717.61	0.99	1
tren 4	70777.152	83163.15	9.54	1
tren 5	1098.3672	1290.58	0.148	5
tren 6	64629.7056	75939.90	8.71	1

Aun de esta forma hay tres trenes que no cumplen con el área los cuales son el tren 2, 4 y 6

## 2. Requerimiento de energía

Para determinar esta variable se buscó información de cada tecnología y tutorías con el director del proyecto obteniendo la figura 27.

**Figura 27.** Esquema de requerimiento de energía para cada tecnología de los 6 trenes finales



En el cual amarillo es no requiere energía, y rojo requiere energía, si requiere energía se le dio un valor de 5 y si no requiere energía se le dio un valor de 1 punto

**Tabla 29.** Valores obtenidos en la variable requerimiento de energía para los 6 trenes finales.

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 1	4	ALTO
Tren 2	2	MEDIO
Tren 3	3	MEDIO
Tren 4	1	BAJO
Tren 5	5	ALTO
Tren 6	3	MEDIO

### 3. Eficiencia de tecnología

En esta variable se determinó la remisión de DBO y de SST de cada uno de los trenes de selección:

El DBO total del agua residual es igual a 217 mg/l

**Tabla 30.** Eficiencia de remoción de DBO de cada una de las tecnologías finales.

tecnología	Porcentaje de remoción
Lodos activados	90
Lagunas anaerobias	50
Reactor UASB	75
Filtro percolador	80
Laguna facultativa	90

Fuente: RAS - 2000.

**Tabla 31.** Remoción de DBO para cada uno de los trenes de tratamiento finales.

Trenes	Preliminar		Primario		Secundario		% De Remoción
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	
1	217	217	217	21.7	21.7	4.34	97.83
2	217	217	217	21.7	21.7	2.17	98.915
3	217	217	217	108.5	108.5	21.7	89.15
4	217	217	217	108.5	108.5	10.85	94.575
5	217	217	217	54.25	54.25	10.85	94.575
6	217	217	217	54.25	54.25	5.425	97.2875

Todos los trenes obtienen una remoción superior al 80% por lo cual cumple el decreto 1594.

En cuanto a los SST los datos obtenidos son los siguientes

Los SST total del agua residual es igual a 200 mg/l

**Tabla 32.** Eficiencia de remoción de SST de cada una de las tecnologías finales.

Tecnología	Porcentaje de remoción
Lodos activados	80
Lagunas anaerobias	30
Reactor UASB	70
Filtro percolador	85
Laguna facultativa	75

Fuente: RAS - 2000.

**Tabla 33.** Remoción de SST de cada tren de tratamiento final.

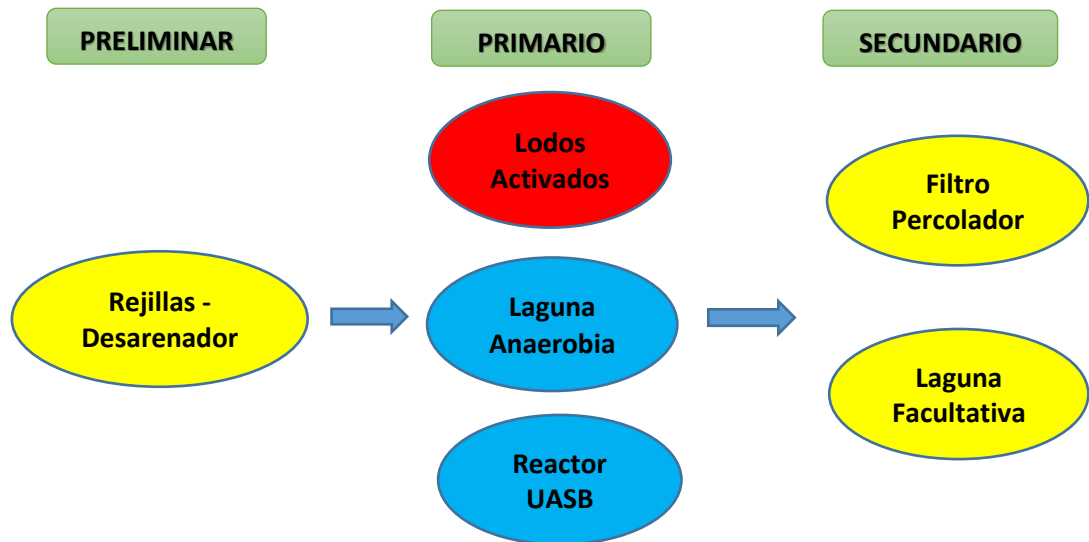
Trenes	Preliminar		Primario		Secundario		% De Remoción
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	
1	200	200	200	40	40	6	97
2	200	200	200	40	40	10	95
3	200	200	200	140	140	21	89.5
4	200	200	200	140	140	35	82.5
5	200	200	200	60	60	9	95.5
6	200	200	200	60	60	15	92.5

También todos los trenes cumplen con el 80% de remoción.

#### **4. Generación de subproductos solidos**

Para determinar esta variable se buscó información de cada tecnología y tutorías con el director del proyecto obteniendo la figura 28.

**Figura 28.** Esquema de generación de subproductos sólidos para cada tecnología final.



En el cual el rojo es la tecnología que más produce lodos a la cual se le dio un valor de 5, azul un valor de 3 y amarillo un valor de 1

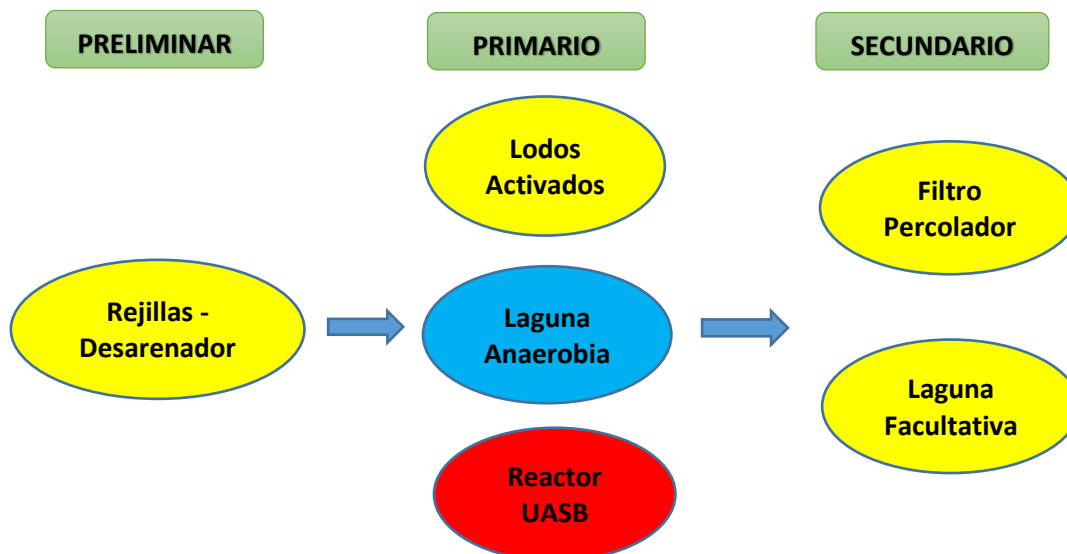
**Tabla 34.** Valores obtenidos en la variable subproductos sólidos para los trenes finales.

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 1	3	MEDIO
Tren 2	3	MEDIO
Tren 3	2	BAJO
Tren 4	2	BAJO
Tren 5	2	BAJO
Tren 6	2	BAJO

## 5. Generación de subproductos gaseosos

Para determinar esta variable se buscó información de cada tecnología y tutorías con el director del proyecto obteniendo la figura 29.

**Figura 29.** Esquema de generación de subproductos gaseosos para cada tecnología final.



En el cual el rojo es la tecnología que más produce subproductos gaseosos a la cual se le dio un valor de 5, azul un valor de 3 y amarillo un valor de 1

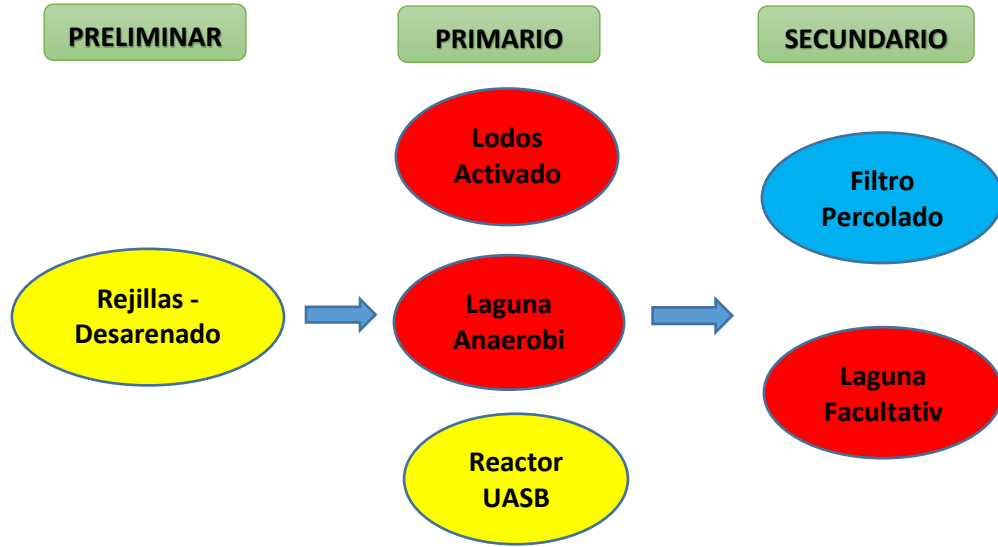
**Tabla 35.** Valores obtenidos en la variable subproductos gaseosos para los trenes finales.

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 1	1	BAJO
Tren 2	1	BAJO
Tren 3	2	MEDIO
Tren 4	2	MEDIO
Tren 5	3	ALTO
Tren 6	3	ALTO

## 6. Impacto visual

Para esta variable se utilizaron las mismas variables del impacto visual con 6 trenes de tratamiento el resultado obtenido la figura 30.

**Figura 30.** Esquema de generación de impacto visual para cada tecnología final.



Se le dio un valor a cada color rojo 5, azul 3 y amarillo 1, se sumó la calificación de cada tecnología según su valor asignado y se dividió en el número de tecnologías por tren. Obteniendo la tabla 36.

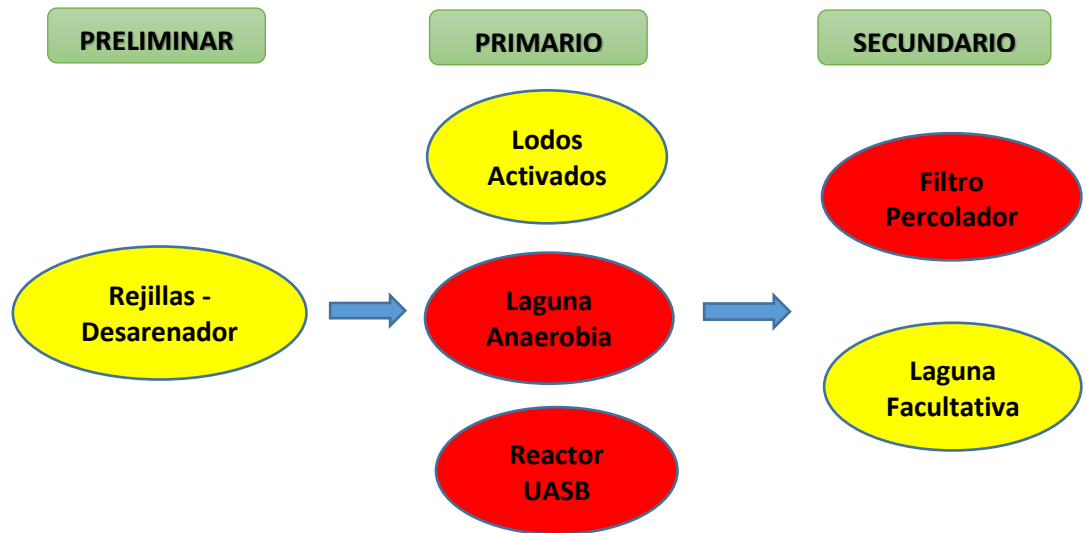
**Tabla 36.** Valores obtenidos en la variable impacto visual para los trenes finales

tren	nota	calificación
Tren 1	4	MEDIO
Tren 2	5	ALTO
Tren 3	4	MEDIO
Tren 4	5	ALTO
Tren 5	2	BAJO
Tren 6	3	MEDIO

## 7. Generación de olores

Para determinar esta variable se buscó información de cada tecnología y tutorías con el director del proyecto obteniendo el siguiente esquema:

**Figura 31.** Esquema de generación de olores para cada tecnología final



Se le dio un valor a cada color rojo 5, azul 3 y amarillo 1, se sumó la calificación de cada tecnología según su valor asignado y se dividió en el número de tecnologías por tren. Obteniendo la siguiente tabla:

**Tabla 37.** Valores obtenidos en la variable generación de olores para los trenes finales.

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 1	3	MEDIO
Tren 2	1	BAJO
Tren 3	5	ALTO
Tren 4	3	MEDIO
Tren 5	5	ALTO
Tren 6	3	MEDIO

## 8. Costo de inversión

Para el desarrollo de esta variable se utilizó un estudio de la universidad tecnológica de Pereira el cual nos mostraba los precios de algunas tecnologías de tratamiento empleadas en Colombia este fue el resultado:

Los precios vienen dados en función de la población entonces para una población de 56686 habitantes estos son los costos de las diferentes tecnologías:

**Tabla 38.** Costo de cada una de las tecnologías finales

TEGNOLIGIAS	COSTO POR HABITANTE EN PESOS	VALOR DE LA TECNOLOGIA EN PESOS
PRELIMINAR	44000	2494184000
LODOS ACTIVADOS	150000	4988368000
LAGUNA ANAEROBIA	24000	1360464000
REACTOR UASB	44000	2494184000
FILTRO PERCOLADOR	66000	3741276000
LAGUNA FACULTATIVA	45000	3401160000

Valor de cada tren de tratamiento

**Tabla 39.** Costo de cada uno de los trenes de tratamiento finales

NUMERO DE TRENES	TECNOLOGÍAS			VALOR DEL TRATAMIENTO	CALIFICACION
	PRELIMINAR	PRIMARIO	SECUNDARIO		
1	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Filtros Percolador	12244176000	1
2	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Laguna Facultativa	11053770000	0.90277778
3	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Filtros Percolador	5101740000	0.41666667
4	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	3911334000	0.31944444
5	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Filtros Percolador	6235460000	0.50925926
6	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Laguna Facultativa	5045054000	0.41203704

Fuente: Modelo de costo para el tratamiento de las aguas residuales en la región.

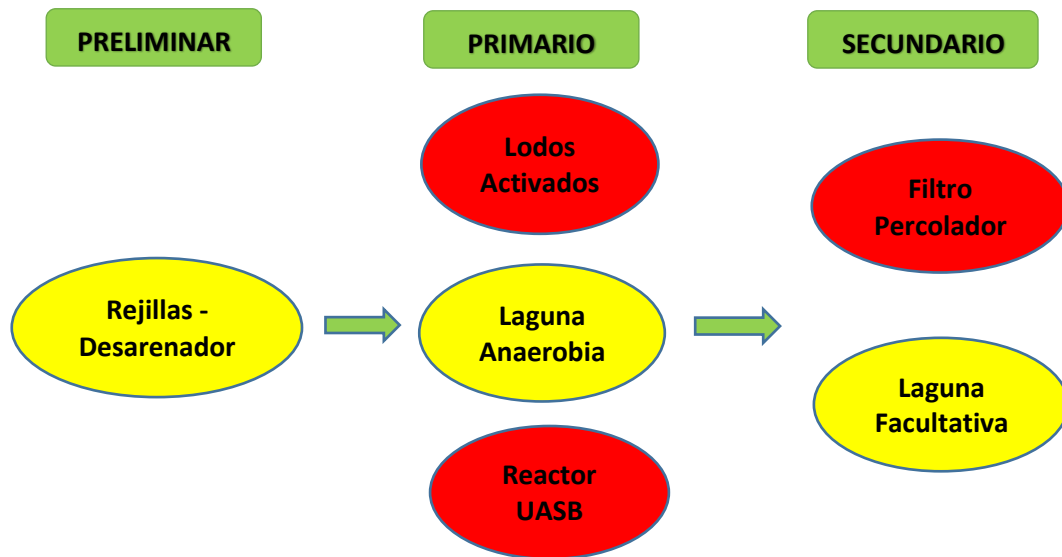
[en línea] disponible en:

<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/4191/2099> [Citato 10 de Septiembre de 2016].

## 9. Requerimiento de personal

Para determinar esta variable se buscó información de cada tecnología y tutorías con el director del proyecto obteniendo la figura 32.

**Figura 32.** Esquema de requerimiento de personal para cada tecnología final



Se le dio un valor a cada color rojo 5, azul 3 y amarillo 1, se sumó la calificación de cada tecnología según su valor asignado y se dividió en el número de tecnologías por tren. Obteniendo la siguiente tabla:

**Tabla 40.** Valores obtenidos en la variable requerimiento de personal final.

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 1	5	ALTO
Tren 2	3	MEDIO
Tren 3	3	MEDIO
Tren 4	1	BAJO

TREN	NOTA	CALIFICACIÓN
Tren 5	4	MEDIO
Tren 6	3	MEDIO

Se llena la matriz de selección con los valores encontrados obteniendo lo siguiente

**Tabla 9.** Valores estimados para los nuevos trenes

		30			40				20	10	
		AREA	ENERGIA	EFICIENCIA		SOLIDOS	GASES	VISUAL	OLORES	INVERCION	PERSONAL
		40	30	15	15	35	25	25	15	100	100
Variable N° de trenes	1	2	3		4	5	6	7	8	9	
			DBO <sub>5</sub>	SST							
1	0.40	A	0.20	0.17	M	B	M	A	1.00	A	
2	9.16	M	0.10	0.29	M	B	A	M	0.90	M	
3	1.04	M	1.00	0.60	B	M	M	M	0.42	M	
4	9.74	B	0.50	1.00	B	M	A	B	0.32	B	
5	0.17	A	0.50	0.26	B	A	B	M	0.51	A	
6	8.90	M	0.25	0.43	B	A	M	M	0.41	M	

**Tabla 10.** Calificaciones estimadas para un tren por cada variable de los nuevos trenes

		30				40				20	10
		AREA	ENERGIA	EFICIENCIA		SOLIDOS	GASES	VISUAL	OLORES	INVERCION	PERSONAL
		40	30	15	15	35	25	25	15	100	100
Variable N° de trenes	1	2	3		4	5	6	7	8	9	
			DBO <sub>5</sub>	SST							
1	4	1	4.00	5.00	3	1	3	1	1	1	
2	1	3	5.00	4.00	3	1	1	3	1	3	
3	1	3	1.00	2.00	5	3	3	3	3	3	
4	1	5	3.00	1.00	5	3	1	5	4	5	
5	5	1	3.00	4.00	5	5	5	3	3	1	
6	1	3	4.00	3.00	5	5	3	3	3	3	

**Tabla 11.** Matriz final usada para la selección de tecnología de los nuevos trenes

		30				40				20	10	
		AREA	ENERGIA	EFICIENCIA		SOLIDOS	GASES	VISUAL	OLORES	INVERCION	PERSONAL	
		40	30	15	15	35	25	25	15	100	100	
Variable N° de trenes	1	2	3		4	5	6	7	8	9	Calificación total	
			DBO <sub>5</sub>	SST								
1	0.48	0.09	0.18	0.23	0.42	0.1	0.3	0.06	0.2	0.1	2.155	
2	0.12	0.27	0.23	0.18	0.42	0.1	0.1	0.18	0.2	0.3	2.095	
3	0.12	0.27	0.05	0.09	0.7	0.3	0.3	0.18	0.6	0.3	2.905	
4	0.12	0.45	0.14	0.05	0.7	0.3	0.1	0.3	0.8	0.5	3.45	
5	0.6	0.09	0.14	0.18	0.7	0.5	0.5	0.18	0.6	0.1	3.585	
6	0.12	0.27	0.18	0.14	0.7	0.5	0.3	0.18	0.6	0.3	3.285	

Se obtuvo la siguiente calificación

**Tabla 41.** Calificación final de cada uno de los 6 trenes finales.

NUMERO DE TRENES	TECNOLOGÍAS			CALIFICACION
	PRELIMINAR	PRIMARIO	SECUNDARIO	
1	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Filtros Percolador	2.155
2	Rejillas - Desarenador	Lodos Activados	Laguna Facultativa	1.995
3	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Filtros Percolador	2.905
4	Rejillas - Desarenador	Laguna Anaerobia	Laguna Facultativa	3.4
5	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Filtros Percolador	3.685
6	Rejillas - Desarenador	Reactor UASB	Laguna Facultativa	3.285

Por lo cual el tren a diseñar es el numero 5 ya que es el que obtuvo la mejor calificación

## Anexo D. Diseño de el tren seleccionado para la cabecera municipal de San Gil Santander.

### 1. Canal de entrada cuadrado

Parámetros de diseño:

- Se asume una velocidad de entrada de 0,6 m/s
- Caudal de 370 l/s
- Coeficiente de rugosidad de maning de 0,014

$$Area = \frac{\frac{Q}{1000}}{velocidad} \quad Area = \frac{\frac{370}{1000}}{0.6} \quad Area = 0.62 \text{ m}^2$$

$$Lado = \sqrt{Area} \quad Lado = \sqrt{0,62} \quad Lado = 0.79 \text{ m}$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

### 2. Rejilla gruesa

Parámetros de diseño:

- Espaciamiento mayor a 5 cm
- Velocidad entre rejillas de 0.6 a 1.4 m/s
- Diámetro de la barra 12 mm #4
- Ancho de canal de la rejilla 1 m
- Caudal 370 l/s

$$\text{Area rejilla} = \text{ancho canal de la rejilla} * \frac{\text{espaciamiento}}{\text{espaciamiento} + \frac{\text{diametro de la barra}}{1000}}$$

$$* \left(1 - \frac{30}{100}\right)$$

$$\text{Area rejilla} = 1 * \frac{50}{50 + \frac{12}{1000}} * \left(1 - \frac{30}{100}\right)$$

$$\text{Area rejilla} = 0.7\text{m}^2$$

*profundidad*

$$= \frac{\text{Caudal}}{1000} * \left( \frac{\frac{\text{diametro de la barra}}{1000} + \frac{\text{espaciamiento}}{1000}}{\left(1 - \frac{30}{100}\right) * \text{velocidad en rejillas} * \frac{\text{espaciamiento}}{1000} * \text{ancho del canal}} \right)$$

$$\text{profundidad} = \frac{370}{1000} * \left( \frac{\frac{12}{1000} + \frac{50}{1000}}{\left(1 - \frac{30}{100}\right) * 0.6 * \frac{50}{1000} * 1} \right) \quad \text{profundidad} = 1.1 \text{ m}$$

$$\text{perdida de carga en la rejilla} = \frac{\text{velocidad entre rejillas}^2}{9.1} * 100$$

$$\text{perdida de carga en la rejilla} = \frac{0.6^2}{9.1} * 100$$

$$\text{perdida de carga en la rejilla} = 3.96 \text{ cm}$$

$$\text{numero de barras} = \text{ancho del canal} - \frac{\frac{\text{espaciamiento}}{1000}}{\frac{\text{diametro de la barra}}{1000} + \frac{\text{espaciamiento}}{1000}}$$

$$\text{numero de barras} = 1 - \frac{\frac{50}{1000}}{\frac{12}{1000} + \frac{50}{1000}} \quad \text{numero de barras} = 16$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

### 3. Rejilla fina

Parámetros de diseño:

- Espaciamiento entre 15 y 50 mm
- Velocidad entre rejillas de 0.6 a 1.4 m/s
- Diámetro de la barra 6 mm #2
- Ancho de canal de la rejilla 1 m
- Caudal 370 l/s

$$Area\ rejilla = ancho\ canal\ de\ la\ rejilla * \frac{espaciamiento}{espaciamiento + \frac{diametro\ de\ la\ barra}{1000}} * \left(1 - \frac{30}{100}\right)$$

$$Area\ rejilla = 1 * \frac{15}{15 + \frac{6}{1000}} * \left(1 - \frac{30}{100}\right)$$

$$Area\ rejilla = 0.7m^2$$

*profundidad*

$$= \frac{Caudal}{1000} * \left( \frac{\frac{diametro\ de\ la\ barra}{1000} + \frac{espaciamiento}{1000}}{\left(1 - \frac{30}{100}\right) * velocidad\ en\ rejillas * \frac{espaciamiento}{1000} * ancho\ del\ canal} \right)$$

$$profundidad = \frac{370}{1000} * \left( \frac{\frac{6}{1000} + \frac{15}{1000}}{\left(1 - \frac{30}{100}\right) * 0.6 * \frac{15}{1000} * 1} \right) \quad profundidad = 1.23\ m$$

$$\text{perdida de carga en la rejilla} = \frac{\text{velocidad entre rejillas}^2}{9.1} * 100$$

$$\text{perdida de carga en la rejilla} = \frac{0.6^2}{9.1} * 100$$

$$\text{perdida de carga en la rejilla} = 3,96 \text{ cm}$$

$$\text{numero de barras} = \frac{\text{ancho del canal} - \frac{\text{espaciamiento}}{1000}}{\frac{\text{diametro de la barra}}{1000} + \frac{\text{espaciamiento}}{1000}}$$

$$\text{numero de barras} = 1 - \frac{\frac{15}{1000}}{\frac{6}{1000} + \frac{15}{1000}} \qquad \text{numero de barras} = 47$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

#### 4. Diseño desarenador a dos canales

Parámetros de diseño:

- Caudal 370 l/s (Q)
- Carga superficial de 40 m/s (Cs)
- Profundidad entre 1 y 2,5 m (P)
- Velocidad horizontal de 0,2 a 0,4 m/s (Vh)

$$\text{Area superficial (As)} = \frac{\frac{Q}{2} * 3600}{Cs}$$

$$As = \frac{\frac{370}{2} * 3600}{40}$$

$$As = 16.65 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen} = \frac{As}{P} \quad \text{Volumen} = \frac{16.65}{1.5} \quad \text{Volumen} = 24.98 \text{ m}^3$$

$$\text{Tiempo de Retencion Horaria (TRH)} = \frac{\text{Volumen}}{\frac{Q}{1000}} \quad \text{TRH} = \frac{24.98}{\frac{370}{1000}}$$

$$\text{TRH} = 67.5 \text{ segundos}$$

$$\text{Area Transversal (AT)} = \frac{\frac{Q}{1000}}{Vh} \quad \text{AT} = \frac{\frac{370}{1000}}{0.3}$$

$$\text{AT} = 1.23 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancho del canal (B)} = \frac{AT}{P} \quad B = \frac{1.23}{1.5} \quad B = 0.83 \text{ m}$$

$$\text{Largo del Canal (L)} = \frac{As}{B} \quad L = \frac{16.65}{0.83} \quad L = 20.25 \text{ m}$$

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].

## 5. Diseño del reactor UASB

Parámetros de diseño:

- Caudal 370 l/s
- Temperatura 24°C
- Altura útil 4.6 m
- Carga orgánica volumétrica 1.8 Kg DQO/ m<sup>3</sup>-día
- DQO 428 mg/l
- Velocidad de flujo ascendente 0.6 m/h

$$COV = \frac{DQO * Q}{Volumen} \quad Volumen = \frac{428 * 370 * 86.4}{1.8 * 1000}$$

$$Volumen = 7601.28 \text{ m}^3$$

Como el tamaño máximo de cada reactor es de 1500 m<sup>3</sup> entonces se tienen que hacer 6 reactores cada uno con un volumen de 1266.88 m<sup>3</sup>.

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad TRH = \frac{7601.28}{31968} \quad TRH = 5.7 \text{ horas}$$

$$Area = \frac{Q}{Velocidad} \quad Area = \frac{31968}{0.9 * 24} \quad Area = 1480 \text{ m}^2$$

Por lo cual serán 6 reactores cuadrados de 38,5 m por cada lado.

Sistema de dispersión:

La distribución al UASB se hará mediante un múltiple difusor, el cual consiste en una tubería principal de la cual se derivan tuberías laterales que poseen perforaciones en toda su longitud, este tipo de sistema permite una distribución uniforme del flujo. Orificios de ½ pulgada

$$Q_{orificio} = Velocidad * A \quad Q_{orificio} = 0.9 * 0.785 * \left(\frac{0.0254}{2}\right)^2$$

$$Q_{orificio} = 0.000115 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{total} = \frac{Q}{N^{\circ} \text{ distribuciones}} \quad Q_{total} = \frac{0.37}{24}$$

$$Q_{total} = 0.00257 \frac{m^3}{s}$$

$$N^{\circ} \text{ orificios} = \frac{Q_{total}}{Q_{orificio}} \quad N^{\circ} \text{ orificios} = \frac{0.00257}{0.000115} \quad N^{\circ} \text{ orificios} = 23$$

(Diseño Reactor UASB)

## 6. Diseño filtro percolador

Parámetros de diseño:

- Caudal 31968 m<sup>3</sup>/d o Caudal 370 l/s (Q)
- DBO<sub>5</sub> total del agua residual afluyente al filtro (Si) 54.25 mg/l
- DBO<sub>5</sub> total del efluente del filtro descartado (Se) 10.85 mg/l
- Profundidad 8 m
- Numero de brazos 2
- Constante de tratabilidad correspondiente a una determinada profundidad del medio filtrante a 20 grados centígrados (K<sub>20</sub>/D<sub>20</sub>) 8.68 l/m<sup>2</sup>\*h<sup>0,5</sup>.

$$\frac{k_{20}}{D_{24}} = \frac{k_{20}}{D_{20}} * \sqrt{\frac{6}{profundidad}} \quad \frac{k_{20}}{D_{24}} = 8.68 * \sqrt{\frac{6}{8}}$$

$$\frac{k_{20}}{D_{24}} = 7.46 \frac{l}{m^2 * h^{0,5}} \quad \frac{k_{20}}{D_{24}} = 0.12 \frac{l}{m^2 * s^{0.5}}$$

$$Area = Q * \left( \frac{-Ln\left(\frac{Se}{Si}\right)}{\frac{k_{20}}{D_{24}} * profundidad} \right)^2 \quad Area = 370 * \left( \frac{-Ln\left(\frac{10.85}{54.25}\right)}{0.12 * 8} \right)^2$$

$$Area = 967.38 \text{ m}^2$$

$$Ch = \frac{Q}{24 \cdot Area} \quad Ch = \frac{31968}{24 \cdot Area} \quad Ch = 1.38 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

$$Co = \frac{Q \cdot \frac{Si}{1000}}{Area \cdot \text{profundidad}} \quad Co = \frac{31968 \cdot \frac{54.25}{1000}}{967,38 \cdot 8}$$

$$Co = 0.22 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}$$

*dosificacion = 73  $\frac{\text{mm}}{\text{paso}}$  por que la carga organica dio menor a 0.4*

$$Velocidad \ de \ giro = \frac{1.66 \cdot Ch}{\#brazos \cdot dosificacion}$$

$$Velocidad \ de \ giro = \frac{1.66 \cdot 1.38}{2 \cdot 10 \cdot 73} \quad Velocidad \ de \ giro = 0.0016 \text{ rpm}$$

Teniendo en cuenta que el filtro percolador sale muy grande se decidió hacer 4 filtros percoladores.

UNAD. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales [en línea] disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo\\_verson\\_julio\\_2013.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/Modulo_verson_julio_2013.pdf) [Citado 30 de Agosto de 2016].