

**ANALISIS DE CICLO DE VIDA COMPARATIVO DE UNA MUESTRA DE  
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN EL  
DEPARTAMENTO DE SANTANDER.**

**GIOVANI GUALTEROS AGUILLÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2015**

**ANALISIS DE CICLO DE VIDA COMPARATIVO DE UNA MUESTRA DE  
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN EL  
DEPARTAMENTO DE SANTANDER.**

**GIOVANI GUALTEROS AGUILLÓN**

**Trabajo De Aplicación Para Optar Por El Titulo De Magister En Ingeniería  
Ambiental**

**Director:**

**CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA**

**Msc. Ingeniería Química**

**Co-Director:**

**ALEXANDER MENESES JÁCOME**

**Msc. Ingeniería Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BUCARAMANGA**

**2015**

## DEDICATORIA

A Dios la persona más importante en mi vida, gracias por tu infinito amor, por tu gracia y bondad, por acompañarme cada día en la consecución de mis metas, todo te lo debo a ti.

A mi Madre Alicia que está en el cielo. Te dedico de manera especial el cumplimiento de esta meta, porque continuamente conté con tu apoyo y en los momentos difíciles de mi vida me infundiste aliento, siempre el cumplimiento de mis sueños fueron tus más grandes alegrías. Hoy te cumplo mi promesa porque deseaste esto tanto como yo, gracias por hacer de mí el hombre que soy, siempre te amaré y nunca te olvidaré.

A mi Padre Rodrigo que me enseñó a ser un hombre esforzado y responsable, disfruta tu descanso en el cielo, gracias por todo el amor que me diste, te recuerdo y te recordaré todos los días de mi vida, te amo Papá.

A mis hermanos Ludwing, Libia, Milton, Wilson, Alexander, Lida, Maritza y Rodrigo.

A mis sobrinos, que este logro sea de inspiración para la consecución de sus metas.

A Shirley mi amada, juntos seguiremos construyendo nuestros sueños y los haremos realidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Alexander Meneses Jácome por su dirección y constante apoyo durante el desarrollo de este proyecto, su conocimiento fue determinante en la ejecución del proyecto.

A las secretarías de planeación de los municipios de San Joaquín, Carmen de Chucurí y Chipatá, por la disponibilidad y entrega de información para desarrollar este proyecto.

A los funcionarios de la Corporación Autónoma Regional de Santander - CAS y a la Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB por el tiempo y la información brindada.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	15
1. CONTEXTO DEL ESTUDIO .....	17
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	17
1.2 ESTADO DEL ARTE .....	18
1.3. OBJETIVO GENERAL .....	21
1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS:.....	22
1.5. MARCO TEÓRICO .....	22
2. METODOLOGÍA .....	28
2.1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO:.....	28
2.2. LÍMITES DEL SISTEMA .....	29
2.3. RECOLECCIÓN DE DATOS .....	30
2.3.1 PTAR de San Joaquín .....	30
2.3.1.1 Localización .....	30
2.3.1.2 Componentes de la PTAR de San Joaquín .....	31
2.3.2 PTAR del Carmen de Chucurí .....	38
2.3.2.1 Localización. ....	38
2.3.2.2 Componentes de la PTAR del Carmen de Chucurí .....	38
2.3.3 PTAR Municipio De Chipatá .....	49
2.3.3.1 Localización .....	49
2.3.3.2 Componentes de la PTAR de Chipata .....	49
2.3.3.3 Quemador de Gases:.....	55
2.4 ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL .....	60
2.4.1 Producción y Suministro de Materiales. ....	60
2.4.2 Etapa de Construcción.....	60
2.4.3 Operación. ....	60

2.4.4 Mantenimiento. ....	60
2.4.5 Utilización del Equipo.....	60
2.4.6 Producción de Energía.....	61
2.4.7 Emisiones Directas. ....	61
2.4.8 Eliminación de Lodos.....	61
2.4.9 Final de la Vida. ....	61
3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	63
3.1 COMPARACIÓN DE IMPACTOS DE LAS TRES PTAR ANALIZADAS .....	63
3.2 APORTE DE LAS ETAPAS DEL CICLO DE VIDA EN CADA CATEGORÍA DE IMPACTO .....	65
3.3 ANÁLISIS DE CONTRIBUCIÓN .....	68
3.3.1 Análisis Comparativo de los Sistemas Primarios de las Tres PTAR.....	69
3.3.2 Análisis Comparativo de los Sistemas Principales de las Tres PTAR. ....	70
4. ANALISIS DE SENSIBILIDAD .....	73
4.1. MODIFICACIÓN DE LA DBO .....	73
4.2. MODIFICACIÓN LONGITUD DE COLECTORES Y TUBERÍA DE DESCARGA .....	74
5. PROFUNDIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	79
5.1. CALCULO DE EMISIONES DE N <sub>2</sub> O Y CH <sub>4</sub> EN LOS HUMEDALES DE LAS PTAR .....	79
5.2 COMPARACIÓN DE IMPACTOS DE LAS TRES PTAR INCLUYENDO LA GENERACIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO (CH <sub>4</sub> Y N <sub>2</sub> O) DE LOS HUMEDALES.....	81
6. CONCLUSIONES .....	85
7. RECOMENDACIONES.....	87
ANEXOS	

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estudios Realizados de ACV Comparativos para PTAR.....	24
Tabla 2. Asignación del Nivel de Complejidad .....	28
Tabla 3. Dotación Neta Máxima por Nivel de Complejidad del Sistema .....	29
Tabla 4. Datos de la PTAR del Municipio de San Joaquín .....	35
Tabla 5. Datos de la PTAR del Municipio del Carmen de Chucurí .....	45
Tabla 6. Datos de la PTAR del Municipio de Chipatá .....	56
Tabla 7. PTAR con Mayor Impacto por Cada Categoría de Impacto .....	64
Tabla 8. PTAR con Menor Impacto por Cada Categoría de Impacto .....	64
Tabla 9. Aporte Realizado por las Etapas del Ciclo de Vida en Cada Categoría de Impacto En la PTAR de San Joaquín .....	65
Tabla 10. Aporte realizado por las etapas del ciclo de vida en cada categoría de impacto En la PTAR del Carmen de Chucurí.....	66
Tabla 11. Aporte Realizado por las Etapas del Ciclo de Vida en Cada Categoría de Impacto En la PTAR de Chipatá .....	67
Tabla 12. Sistemas Primarios con Mayor Impacto por Cada Categoría .....	69
Tabla 13. Sistemas Primarios con Menor Impacto por Cada Categoría .....	70
Tabla 14. Tratamientos Principales de las PTAR, Con Mayor Impacto por Cada Categoría.....	71
Tabla 15. Tratamientos Principales Con Menor Impacto Por Cada Categoría .....	71
Tabla 16. Resultados de Emisiones de N <sub>2</sub> O en los humedales .....	80
Tabla 17. Resultados de Emisiones de CH <sub>4</sub> en los humedales .....	80
Tabla 18. PTAR con mayor impacto por cada categoría de impacto .....	82
Tabla 19. PTAR con Menor Impacto por Cada Categoría de Impacto Incluyendo Generación de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O Debido a la Operación de los Humedales .....	83
Tabla 20. PTAR con Mayor Impacto por Cada Categoría de Impacto Incluyendo Generación de CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O Debido a la Operación de los Humedales .....	84

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Localización del Municipio de San Joaquín .....	31
Figura 2. Vista en Planta de la PTAR de San Joaquin.....	31
Figura 3. Vista en Planta y Perfil del Tratamiento Preliminar - PTAR San Joaquín .....	32
Figura 4. Vista en Planta y Perfil del Tanque Regulador - PTAR San Joaquín.....	33
Figura 5. Vista en Perfil del Filtro Anaeróbico - PTAR San Joaquín .....	34
Figura 6. Vista en Perfil de los Lechos De Secado - PTAR San Joaquín .....	35
Figura 7. Localización del Municipio del Carmen de Chucurí .....	38
Figura 8. Vista en Planta de la PTAR del Carmen de Chucurí .....	39
Figura 9. Vista en Planta y Perfil del Tratamiento Preliminar - PTAR Carmen de Chucurí .....	40
Figura 10. Vista en Planta y Perfil del Bioreactor SITARFA - PTAR Carmen de Chucurí .....	43
Figura 11. Vista en Perfil Humedal - PTAR Carmen de Chucurí.....	44
Figura 12. Vista en Planta - Perfil de los Lechos de Secado - PTAR Carmen de Chucurí .....	44
Figura 13. Localización municipio de Chipatá.....	49
Figura 14. Vista en Perspectiva PTAR Chipatá .....	50
Figura 15. Vista en Planta y Perfil del Tratamiento Preliminar - PTAR Chipatá.....	51
Figura 16. Ubicación de las Cuatro Cámaras Dentro del Reactor de Flujo Pistón.	53
Figura 17. Vista en Perfil del Filtro Verde PTAR Chipatá.....	54
Figura 18. Vista en planta - perfil de los lechos de secado - PTAR Chipatá.....	55

## LISTA DE GRAFICAS

Pág.

Grafica 1. Comparación de Impactos de las Tres PTAR analizadas .....	64
Grafica 2. Importancia de las Etapas del Ciclo de Vida en los Impactos Globales de la PTAR de San Joaquín .....	66
Grafica 3. Importancia de las Etapas del Ciclo de Vida en los Impactos Globales de la PTAR del Carmen de Chucurí.....	67
Grafica 4. Importancia de las Etapas del Ciclo de Vida en los Impactos Globales de la PTAR de Chipatá .....	68
Grafica 5. Comparación de Impactos de los Tres Sistemas Primarios de las Tres PTAR .....	69
Grafica 6. Análisis de Impactos de los tratamientos principales de las tres PTAR	71
Grafica 7. Comparación de Impactos de las Tres PTAR con el Mismo Valor de DBO.....	73
Grafica 8. Comparación de Impactos de las Tres PTAR Sin Incluir las Longitudes de Tubería en Colectores y Descarga. ....	75
Grafica 9. Comparación de Impactos de las Tres PTAR Aumentando la Longitud de Colectores.....	77
Grafica 10. Comparación de impactos de las tres PTAR incluyendo la generación de gases efecto invernadero (CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O) de los humedales.....	81
Grafica 11. Resultados del análisis de impactos incluyendo la generación de gases efecto invernadero (CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O) de los humedales .....	82

## LISTA DE ANEXOS

**Pág.**

Anexo A. Información Digital Con Los Diseños, Planos, Especificaciones Técnicas, Memorias De Cálculo De Los Datos De Entrada De Las Tres Ptar Para El Uso De La Herramienta West Y Resultados Comparativos Del Software West Para Las Tres Ptar .....	91
Anexo B. Calculo De Producción De Oxido Nitroso (N <sub>2</sub> O) Y Metano (CH <sub>4</sub> ) En Los Humedales De Las Ptar .....	92

## RESUMEN

TITULO: Análisis De Ciclo De Vida Comparativo De Una Muestra De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales Municipales En El Departamento De Santander

AUTOR: Giovani Gualteros Aguillón \*\*

PALABRA CLAVE: ACV comparativo, Aguas residuales municipales, pequeñas PTAR municipales, Aplicaciones de WWEST

DESCRIPCIÓN: Se realizó un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) comparativo de puerta a puerta a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de los municipios de San Joaquín, Carmen de Chucurí y Chipatá, en el departamento de Santander (Colombia), cada una con diferentes unidades y tipo de tratamiento. Se evaluó el impacto ambiental potencial global utilizando como herramienta principal el software de uso libre Water Energy Sustainability Tool - WEST, que tiene en cuenta todas las etapas del ciclo de vida de las PTAR como la producción y suministro de materiales, construcción, operación, mantenimiento, y el fin de la vida útil. Se comparó el desempeño ambiental de las PTAR y de los sistemas que las componen, en las categorías de impacto de mayor relevancia, determinando de esta manera la PTAR con mejor desempeño ambiental global, recomendando medidas de optimización que deben tenerse en cuenta en la futura implementación de las tipologías de PTAR analizadas, de manera que permita mitigar su impacto ambiental potencial global. El análisis de resultados evidenció que los impactos ambientales potenciales generados por la red de conducción y descarga de las PTAR no pueden despreciarse, por el contrario deben ser considerados en la etapa de diseños y para la ubicación de la PTAR. Por otra parte, la PTAR con unidades preliminares menos sofisticados y con tratamiento biológico mejorado parece ser más compatible con el medio ambiente y las necesidades locales. La utilización de los humedales también fue evaluado en este estudio siguiendo las nuevas directrices del IPCC para este tipo de tecnología con el fin de obtener la contribución de efecto invernadero (GEI) para aquellos PTAR mediante humedales artificiales como el tratamiento final dentro de su esquema de procesos. Los resultados revelan que las emisiones de GEI son significativas en las dos PTAR que utilizan humedales.

---

\* Trabajo de grado

\*\*Facultad de Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Maestría en Ingeniería Ambiental.  
Director: Crisóstomo Barajas Ferreira. Co-Director: Alexander Meneses Jácome

## ABSTRACT

**TITLE:** Analysis Comparative Life Cycle of a sample of Municipal Wastewater Treatment Plants in the Department of Santander

**AUTHOR:** Giovani Gualteros Aguillón\*\*

**KEYWORDS:** Comparative ACV, municipal wastewater, small-municipal WWTP, Tool WEST

**DESCRIPTION:** It was applied the Life Cycle Assessment (LCA) Methodology from a comparative and gate-to-gate perspectives to the wastewater treatment plants (WWTP) currently operating in three small municipalities located in the State of Santander (Colombia). Each WWTP in this study has different treatment units and process schema and serves a population lower than 2500 inhabitants. It was evaluated the overall potential environmental impact by using as unit function the population equivalent index of  $100 \text{ L}\cdot\text{cap}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ , in agreement with the local technical standard (RAS-2000). The free-use software "Water Energy Sustainability Tool–WEST", which includes construction, operation, maintenance and "end-of-life" aspects, was used to analyze the environmental inventory. The three WWTP were compared by using relevant impact categories in order to identify the wastewater technology with the best environmental performance in this Region and to elucidate some guidelines allowing mitigating the environmental impact during WWTP projects implementation. The LCA results showed that the potential environmental impacts generated by the main sewer system and the WWTP discharge cannot be neglected. On the contrary, they should be considered during the early design stages though the proper selection of the site where the WWTP will be installed. Furthermore, the WWTP with preliminary units less sophisticated and with improved biological treatment seems to be more compatible with the local environment and needs. The utilization of wetlands was also evaluated in this study following the new IPCC guidelines for this type of technology in order to obtain the greenhouse (GHG) contribution for those WWTP using constructed wetlands as the end treatment inside their processes schema. Results unveils significant GHG emissions in two WWTP using wetlands.

---

\* Degree work

Faculty of Physical and Chemical. School of Chemical Engineering. Master of Environmental Engineering. Director: Barajas Chrysostom Ferreira. Co-director: Alejandro Meneses Jacome

## INTRODUCCIÓN

En Colombia solo 33% de los municipios (356 municipios) posee una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y solo 8,33% del total (equivalente a 84 municipios) tiene una PTAR óptima<sup>1</sup> para mitigar el impacto de las aguas residuales en el ambiente, la mayor parte de ellos correspondiente a centros urbanos principales.

En los últimos años se han visto reflejado algunos esfuerzos por parte de las entidades gubernamentales para mejorar las coberturas en saneamiento básico, incluyendo la construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR, sin embargo su diseño y construcción se ha realizado con

análisis de corto enfoque como es el cumplimiento de los porcentaje de remoción de contaminantes exigido por la norma vigente, seleccionando combinaciones de tecnologías con ese único fin, sin tener en cuenta los impactos generados por cada una de las etapas del ciclo de vida de las PTAR.

Teniendo en cuenta que en Europa se han realizado estudios para evaluar diferentes alternativas de pequeñas PTAR con el fin de establecer cuál es la más adecuada en términos de impacto medioambiental mínimo, expresando los resultados de la evaluación del impacto ambiental en términos de diversas categorías de impacto, de igual manera se pueden aplicar análisis de ciclo de vida en nuestro país (Colombia), de tal manera que sea tenido en cuenta en el análisis global de impactos la importancia de la ubicación de la PTAR por la longitud de tubería utilizada desde el casco urbano a la PTAR y la longitud de tubería de

---

1 De acuerdo a la norma de vertimiento colombiana (Artículo 72 del Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984)

descarga al cuerpo de agua receptor, al igual que se deben tener en cuenta la etapa de Construcción, Operación y Fin de la Vida Útil de la misma.

Se requiere en el diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales hacer un análisis de ciclo de vida comparativo de las diferentes opciones tecnológicas de tal manera que se seleccionen aquellas combinaciones que generen un menor impacto en el medio ambiente y que de igual manera alcancen los porcentajes de remoción deseados.

En este proyecto utilizando la herramienta Water Energy Sustainability Tool - WEST desarrollada por la Universidad de Berkeley, se compararon tres (3) plantas de tratamiento de aguas residuales municipales de pequeñas poblaciones en el Departamento de Santander - Colombia, cada una con sistemas de tratamiento diferentes, con el fin de evaluar los impactos potenciales de cada una de ellas, permitiendo realizar un análisis comparativo de los impactos globales las tres PTAR, los impactos globales de sus sistemas primarios y sus sistemas principales, definiendo la PTAR más amigable con el medio ambiente y las posibles mejoras a cada una de las PTAR analizadas.

Este proyecto demuestra que se puede utilizar el análisis de ciclo de vida para comparar diferentes opciones de PTAR construidas, pero que también puede utilizarse para la comparación ambiental de diferentes tecnologías a ser tenidas en cuenta en el diseño de una PTAR.

## **1. CONTEXTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En Colombia el diseño de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR, se orienta única y exclusivamente a mitigar el impacto sobre el medio ambiente de acuerdo a las exigencias de las regulaciones ambientales nacionales. De esta manera, su objetivo se centra en cumplir las normas de las concentraciones de ciertos parámetros de contaminación en los efluentes (ej. DBO, DQO, SST, etc.), pero no se tiene en cuenta el impacto en otras fases del ciclo de vida de una PTAR, el cual en general es prolongado, pero que tiene etapas decisivas como su localización, construcción, operación y fin de la vida útil, que pueden ser determinantes en materia de un mayor o menor impacto ambiental global.

Hasta ahora, diseñadores y planificadores en Colombia, no han evaluado los efectos ambientales del ciclo de vida integral de estas unidades y de todo el sistema utilizando ACV, por lo que no se han incluido criterios derivados de un enfoque ambiental más amplio y completo en la toma de decisiones, con respecto a aspectos tales como a la localización, materiales de construcción y tecnología a utilizar.

La producción y suministro de materiales para la construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura de una PTAR, así como el uso de energía para la operación, entre otros también contribuyen al impacto sobre el medio ambiente (Jennifer R Stokes and Arpad Horvath., 2010). Por lo tanto, se trata de una situación susceptible de ser analizada bajo la perspectiva de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), para evaluar y comparar el desempeño

ambiental global de una muestra de las infraestructuras de saneamiento ambiental utilizadas en Santander, incluso desde el inicio mismo del proyecto constructivo.

Si la minimización de los impactos ambientales es una de las principales funciones de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, entonces deberían ser diseñados de manera que su impacto total sobre el medio ambiente sea reducido, por lo tanto todo el ciclo de vida del sistema debe ser considerado en una forma más integral (Dixon et al., 2003).

## **1.2 ESTADO DEL ARTE**

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es un método de investigación de los impactos ambientales de un producto o sistema a través de su ciclo de vida, que incluye la extracción de materias primas, el procesamiento, la fabricación, uso y fin de vida dentro de su ámbito de aplicación (ISO14040).

Un ACV se suele definir de tipo “desde la cuna hasta la tumba” o bien sea de tipo “de puerta a puerta”. En el primer caso el estudio analiza el ciclo de vida completo del sistema, desde el origen hasta el final, mientras que en el segundo caso el ACV no tiene en cuenta su disposición final.

La mayoría de los estudios de ACV que se han realizado son de “Puerta a Puerta” esto debido a lo difícil y extenso que puede llegar a ser encontrar los datos necesarios para realizar un ACV “desde la cuna hasta la tumba”. Para realizar un ACV “Puerta a Puerta” hay que establecer fronteras al sistema a estudiar.

En una PTAR los procesos más importantes en el ACV son el consumo de productos químicos, de electricidad, la producción de lodos y su utilización como compostaje, igualmente la gestión del biogás y el control de las distintas emisiones

al medio producidas por el propio funcionamiento de la PTAR, pero en muchos casos (la mayoría) se descartan aspectos que tienen un impacto ambiental substancial, como es el caso del proceso constructivo o el rol del alcantarillado para llevar el efluente hasta la unidad de tratamiento.

De acuerdo con las normas ISO 14040 que regulan las pautas de un ACV, se debe establecer una unidad funcional apropiada para tener un referente de evaluación del impacto ambiental potencial. En el caso de las PTAR municipales, se recomienda utilizar como unidad funcional el "Equivalente-Habitante (EH)", parámetro imprescindible para comparar diferentes PTAR (Dixon et al., 2003).

El Análisis de Ciclo de Vida ha sido utilizado para estudiar la sostenibilidad de los sistemas de aguas residuales desde mediados de los años 90's (Emmerson et al., 1995; Dennison et al, 1998;. Tillman et al, 1998., Ashley et al., 1999; Mels et al., 1999; Brix, 1999; Balkema et al., 2001).

Emmerson et al. (1995) recomienda que el ACV deben ser más ampliamente utilizado en el "sector agua" como una ayuda a la decisión en materia de política ambiental y en actividades de mejora del medio ambiente. Brix (1999) destacó el carácter cuantitativo del ACV y su deficiencia en la apreciación de los valores cualitativos como consideraciones estéticas, el hábitat, el impacto social, etc.

Brix (1999) también llevó a cabo un análisis preliminar de ciclo de vida de las llamadas alternativas ecológicas al tratamiento convencional de aguas residuales y descubrió que era incapaz de juzgar lo "verde" de las diferentes opciones en función únicamente de los requerimientos de energía y el reciclaje de nutrientes.

Gaterell y Lester (2000) sugieren que la mayoría de las cargas ambientales asociadas a un rango de escenarios de tratamiento de aguas residuales se deben

a un número limitado de entradas y salidas, tales como el uso de energía en la operación de sistemas.

Según (Dixon et al., 2003), el ACV para sistemas de agua tienen las siguientes características:

- Los resultados del ACV son a veces inesperados o difíciles de anticipar.
- ACV no requiere de grandes volúmenes de datos, sino que requieren una gran cantidad de datos de alta calidad.
- Las condiciones de contorno de un ACV deben ser definidos con cuidado ya que pueden tener un efecto significativo en los resultados del ACV.
- Son de gran importancia los límites espaciales, escala de tiempo durante el cual se hace la comparación del ciclo de vida, la escala a la que se hace la comparación y el nivel de detalle al que se hace el estudio.

El ACV también es una herramienta que permite comparar diferentes procesos o productos que tengan la misma función, y así evaluar la alternativa que conlleve una mejora en el medio ambiente. Un enfoque que ha sido predominante es la aplicación de la metodología al campo del saneamiento básico, distinguiéndose dos enfoques claramente diferenciados, los ACV comparativos de PTARs centralizadas para grandes centros urbanos y aquellos específicos para comparar PTARs de pequeñas poblaciones.

Así por ejemplo, se han registrado distintas referencias de ACV para PTARs de pequeños centros urbanos. En Suecia, Tillman et al. (1998) y Lundin et al. (2000) aplicaron un ACV para la evaluación de los tratamientos de aguas residuales tradicionales y de sus posibles alternativas para ciudades pequeñas (entre 200 y 12.600 e-h). En ambos casos, la unidad funcional seleccionada fue el tratamiento de aguas residuales asociada a una (1) persona equivalente/año. Ambos estudios llegaron a la conclusión de que el impacto asociado por la construcción fue menor,

en relación a la operación asociada. Cuando se compararon las diferentes tecnologías, sólo una de las alternativas propuestas fue ambientalmente más segura en todas las categorías de impacto consideradas.

Gallego et al. (2008) aplicaron un ACV para analizar el impacto ambiental de las diferentes tecnologías de tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones españolas. El objetivo del estudio fue evaluar diferentes alternativas de pequeñas PTAR con el fin de establecer cuál es la más adecuada en términos de impacto medioambiental mínimo. En este estudio, 13 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de menos de 20.000 EH ubicados en Galicia (noroeste de España). Los resultados de la evaluación del impacto ambiental se expresaron en términos de diversas categorías de impacto, como la eutrofización, DQO en el efluente tratado y la ecotoxicidad terrestre debida al contenido de metales pesados en el lodo, que fueron encontradas ser las categorías más importantes para todas las PTAR consideradas en este estudio. El uso de electricidad jugó un papel importante en cinco de siete categorías de impacto y presentó la mayor importancia en cuatro de los casos evaluados.<sup>2</sup>

### **1.3. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el impacto ambiental potencial de una muestra de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en el Departamento de Santander mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida comparativo.

---

<sup>2</sup> GALLEGO et al. Environmental performance of wastewater treatment plants for small population. University of Santiago de Compostella , Spain. 2008.

#### **1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Determinar la importancia de la ubicación, construcción, operación y fin de la vida útil en el impacto ambiental global de cada una de las PTAR estudiadas.
- Comparar los impactos potenciales de las PTAR analizadas, identificando el sistema más amigable con el medio ambiente,
- Proponer posibles mejoras en las PTAR analizadas, para la mitigación su impacto potencial global.

#### **1.5. MARCO TEÓRICO**

El tratamiento de aguas residuales es un proceso que se emplea para eliminar la carga contaminante de aguas residuales urbanas mediante procesos biológicos que imitan a la naturaleza o mediante procesos físicos o químicos que aceleran su eliminación. Desde este proceso se obtienen como residuos lodos que se utilizan generalmente en jardinería o agricultura, residuos sólidos arrastrados por las aguas que se llevan al vertedero y biogás que se emplea en la generación de electricidad y calor para uso de las instalaciones.

El enfoque ambiental de las Plantas de Tratamiento de Aguas residuales ha estado influenciado en nuestro país, única y exclusivamente al cumplimiento normativo de la remoción de contaminantes de las aguas tratadas, esto debido a la falta de aplicación de análisis y estudios mucho más profundos conocidos y utilizados en países europeos como es la implementación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) o Life Cycle Assessment (LCA, en inglés) es una técnica de evaluación de los aspectos y potenciales impactos ambientales asociados a un producto, un proceso productivo o una actividad a lo largo del ciclo

de vida de los mismos, es decir que considera un producto desde su origen como materia prima hasta su final como residuo, teniendo en cuenta las fases intermedias como el transporte, manufactura, distribución, etc.

El ACV es una metodología que permite identificar la distribución de las cargas medio ambientales en los productos generados a lo largo de la vida útil de un producto o proceso, identificando y cuantificando el uso de materia, energía y los vertimientos al entorno para determinar el impacto que el uso de recursos y los vertimientos producen en el medio ambiente, y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. Entendiendo por carga medio ambiental como la cantidad de contaminante que llega al medio o la cantidad de recursos extraídos del mismo.

Las aplicaciones más importantes de la herramienta son:

- El análisis de contribución de las etapas de producción, uso y vertimientos a lo largo del ciclo de vida de un producto o proceso a la carga medio ambiental de un producto.
- La comparación de un producto con la misma función.
- La comparación de diferentes opciones para un proceso.

Debido a su complejidad la metodología de ACV se aplica según un protocolo establecido en la normativa elaborada por la “International Standards Organization” (ISO). A continuación se mencionan las normas ISO que regulan el desarrollo de un análisis de ciclo de vida:

- ISO 14040:1997. Proporciona los principios generales de trabajo y requerimientos metodológicos para los ACV de productos y servicios.
- ISO 14040:1997. Establece los principios generales de trabajo y requerimientos metodológicos para los ACV de productos y servicios.

- ISO 14042:2000 Provee la guía metodológica para el desarrollo en la fase de evaluación de impactos en el ciclo de vida dentro de un estudio de ACV.
- ISO 14043:2000 Suministra la guía metodológica para la interpretación de los resultados desde el estudio de un ACV.
- ISO14048:2002 Proporciona la información a considerar en la formación de datos de soporte del ACV.
- ISO/TR14049/14047 Aporta ejemplos ilustrados de cómo se puede aplicar las guías metodológicas en ISO 14041 e ISO 14042.
- ISO 150041 Análisis de Ciclo de Vida Simplificado.

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta que nos permite determinar en qué etapa de un proceso se produce una mayor contribución al impacto ambiental y por tanto nos ayuda a analizar posibles alternativas para disminuirlo. En la producción de un producto o en caso de sistemas de producción en funcionamiento, permite la identificación de alternativas en aquellas instalaciones con mayor impacto ambiental.

Para el caso particular de análisis de ciclo de vida comparativo de PTAR, algunos autores han realizado estudios en el tema, siendo posiblemente dos de los más importantes, los que se correlacionan en la Tabla 1

**Tabla 1. Estudios Realizados de ACV Comparativos para PTAR**

<b>ESTUDIOS DE ACV COMPARATIVOS PARA PTAR</b>		
	<b>ESTUDIO No. 1</b>	<b>ESTUDIO No.2</b>
<b>AUTORES</b>	Alejandro Gallego *, Almudena Hospido, Maria Teresa Moreira, Gumersindo Feijoo	Almudena Hospido*, M <sup>a</sup> Teresa Moreira and Gumersindo Feijoo
<b>AÑO</b>	2008	2007
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Desempeño Ambiental De Las Plantas De Tratamiento	Comparación de cuatro (04)

<b>ESTUDIOS DE ACV COMPARATIVOS PARA PTAR</b>		
	<b>ESTUDIO No. 1</b>	<b>ESTUDIO No.2</b>
	De Aguas Residuales Para Pequeñas Poblaciones.	plantas de tratamiento de aguas residuales municipales de grandes centros de población en Galicia (España).
<b>OBJETIVO</b>	Evaluar diferentes alternativas de pequeñas PTAR con el fin de establecer cuál es la más adecuada en términos de impacto mínimo al medio ambiente.	Evaluación ambiental de las PTAR más comunes para el tratamiento de las aguas residuales urbanas.  Identificación de los principales contribuyentes del impacto ambiental global de un grupo de plantas en particular.  Comparación de varias unidades de tratamiento de agua y lodos.
<b>SISTEMAS ANALIZADOS</b>	13 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de menos de 20.000 habitantes equivalentes (he) ubicados en Galicia (noroeste de España).	4 Plantas de tratamiento de aguas residuales con más de 50.000 habitantes.
<b>TIPOLOGIA DEL ACV</b>	ACV de tipo comparativo.	ACV de tipo comparativo.
<b>CATEGORÍAS DE IMPACTO</b>	Agotamiento Abiótico, La Oxidación Fotoquímica, El Cambio Climático, Acidificación, La Eutrofización, Ecotoxicidad Terrestre.	La eutrofización, Agotamiento del ozono, El calentamiento global, Acidificación, Agotamiento de recursos abióticos.
<b>UNIDAD FUNCIONAL</b>	La unidad funcional se definió en términos habitante equivalente (he), tal como se ha desarrollado en otros trabajos de investigación de este tipo.	Se estableció el tratamiento de las aguas residuales generadas de un habitante equivalente (he) aquí ya que este parámetro ayuda a la comparación entre las

<b>ESTUDIOS DE ACV COMPARATIVOS PARA PTAR</b>		
	<b>ESTUDIO No. 1</b>	<b>ESTUDIO No.2</b>
		diferentes plantas depuradoras (Tillman et al. 1998).
<b>LÍMITES</b>	<p>Se supuso que el impacto asociado con la fase de construcción de las PTAR es mucho menor que la correspondiente a la fase de operación y por lo tanto se desprecia.</p> <p>No se consideró el impacto ocasionado por el bombeo o transporte de las aguas residuales a las plantas de tratamiento, ya que estas acciones no afectan la operación de la PTAR.</p> <p>El afluente que entra en el PTAR se consideró como el punto de partida del sistema.</p>	<p>No se tiene en cuenta dentro del estudio el impacto de la tubería de conducción del alcantarillado a la PTAR.</p> <p>El análisis se limita a la fase de funcionamiento de la PTAR y ninguna consideración se da a la fase de construcción.</p>
<b>EVALUACIÓN DE IMPACTO</b>	<p>SOFTWARE SIMAPRO 6.0, Se utilizó CML 2 base 2000 desarrollado por la Universidad de Leiden (Guinee 'et al, 2001.)</p>	<p>LCA fue la herramienta utilizada para la evaluación del desempeño ambiental de los sistemas bajo estudio. En particular, se consideró el Centro de Ciencias Ambientales (CML) de la metodología de la Universidad de Leiden.</p>
<b>CONCLUSIONES PRINCIPALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La Eutrofización, y en la Ecotoxicidad Terrestre fueron identificados como las principales categorías de impacto en las PTARs analizadas.</li> <li>• El consumo de electricidad,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En las instalaciones que contaban con el tratamiento secundario para el agua (uso de electricidad), hubo un mayor impacto en las la mayoría de las categorías, sin embargo se recomienda su uso debido a que se obtienen</li> </ul>

## ESTUDIOS DE ACV COMPARATIVOS PARA PTAR

ESTUDIO No. 1	ESTUDIO No.2
<p>los vertimientos de nutrientes al agua y aplicación de lodos para uso agrícola fueron identificados como los principales contribuyentes al impacto global de todas las instalaciones estudiadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En cuanto a la comparación de las tecnologías aeróbicas y los tratamientos anaeróbicos, se encontró que eran las últimas las opciones menos perjudiciales para el tratamiento secundario, ya que alcanzan mayores eficiencias de eliminación de Nitrógenos fósforos.</li> <li>• En La comparación de las diferentes unidades de deshidratación de lodos (banda de filtro y centrifugadoras) no se encontró diferencias relevantes desde el punto de vista de impacto ambiental.</li> </ul>	<p>mejores resultados para eutrofización, ya que la descarga al medio ambiente de amonio y fósforo sin tratamiento fue identificado como el principal contribuyente de impacto.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La digestión de lodos tiene varias ventajas como que el lodo es parcialmente estabilizado y el volumen se reduce significativamente. Además, el biogás que produce puede ser recuperado para generar energía</li> <li>• El uso de diferentes productos químicos para facilitar la eliminación de contaminantes en el agua, resulta tener una influencia sobre el desempeño ambiental muy grande además del consumo de energía asociado.</li> <li>• La comparación realizada entre las cuatro instalaciones hizo posible la definición de una PTAR más amigable con el medioambiente, donde se debe incluir el tratamiento secundario en la línea de agua, así como el filtro de banda y la digestión anaerobia en la línea de fangos, pero no el uso de compuestos químicos.</li> </ul>

## 2. METODOLOGÍA

Según la norma ISO 14040 un proyecto de ACV tiene cuatro fases:

### 2.1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO:

En esta fase se definió el objetivo y el alcance del estudio y se estableció la unidad funcional que describe la función principal del sistema analizado. La unidad funcional escogida es la cantidad de litros de agua que usa un habitante equivalente (EH) de acuerdo a la guía técnica sugerida en el documento RAS 2000.

El RAS 2000 determina el EH de acuerdo a criterios de “nivel de complejidad” y de “dotación neta” del proyecto o instalación sanitaria. El nivel de complejidad de los proyectos sanitarios en Colombia se tipifica en cuatro niveles: Bajo, Medio, Medio Alto y Alto. Estos niveles de complejidad dependen del número de habitantes en el área de influencia del proyecto y de la capacidad económica de los mismos. Con base en el nivel de complejidad del sistema, el RAS suministra los valores de los parámetros de diseño para cada uno de sus componentes, los cuales se pueden apreciar en la Tabla2.

**Tabla 2. Asignación del Nivel de Complejidad**

<b>Nivel de Complejidad</b>	<b>Población en la zona (habitantes)</b>	<b>Capacidad económica de los usuarios</b>
Bajo	< 2.500	Baja
Medio	2.501 a 12.500	Baja
Medio Alto	12.501 a 60.000	Media
Alto	> 60.000	Alta

Fuente: Tabla A.3.1 RAS-2000

Según la normatividad RAS en su literal B.2.4, la “dotación Neta” corresponde a la cantidad mínima de agua requerida por un habitante para satisfacer las necesidades básicas sin considerar las pérdidas que ocurren en el sistema y su valoración se realiza de acuerdo a la tabla 3.

**Tabla 3. Dotación Neta Máxima por Nivel de Complejidad del Sistema**

<b>Nivel de Complejidad del Sistema</b>	<b>Dotación Neta Máxima (L(hab-día) Clima Frío</b>	<b>Dotación neta máxima (L/hab-día) Clima Cálido</b>
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio Alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Resolución 2320 del 27 de Noviembre de 2009

Dado que las PTAR municipales analizadas en este estudio sirven poblaciones de menos de 2500 habitantes, el nivel de complejidad es bajo y dado que todas operan en climas cálidos, la dotación neta máxima o EH es de 100 Litros / hab.-día, que corresponde a la unidad funcional utilizada en el estudio, la cual es equivalente a 36.500 litros/habitante/ año.

## **2.2. LÍMITES DEL SISTEMA**

Cada uno de los sistemas analizados inicia con los colectores que conducen las aguas residuales desde el último pozo del casco urbano e incluyen cada uno de las unidades de tratamiento incorporadas en las PTAR en estudio y termina con la tubería de descarga al cuerpo de agua receptor.

## **2.3. RECOLECCIÓN DE DATOS**

En esta segunda fase se recolectaron los datos necesarios para el desarrollo del proyecto.

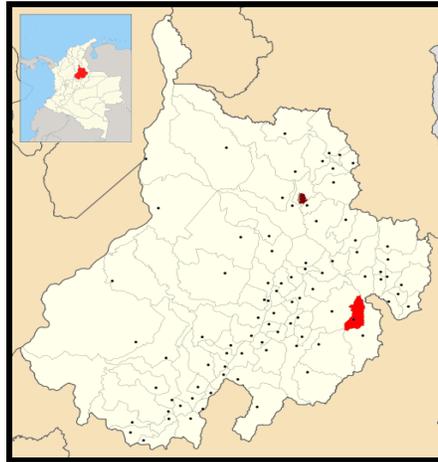
Se acudió a las dos principales autoridades ambientales con jurisdicción en el Departamento de Santander, la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS) y a la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), con el fin de tener acceso a sus archivos y seleccionar las PTAR con la mayor cantidad de información confiable, como planos, análisis de laboratorio del afluente y efluente de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas municipales, memorias de diseño, entre otros.

Se identificaron y seleccionaron tres plantas de tratamiento de aguas residuales municipales del Departamento de Santander con diferentes sistemas de tratamiento, la PTAR del municipio de San Joaquín, la PTAR del municipio del Carmen de Chucurí y la PTAR de Chipatá, cuya población atendida se encuentra dentro de un rango 200 y 5.000 Habitantes.

### **2.3.1 PTAR de San Joaquín**

**2.3.1.1 Localización:** El municipio de San Joaquín está localizado en el Departamento de Santander, limita al oriente con Onzaga, al occidente con Mogotes, al norte con Molagavita y al sur con el municipio de Onzaga nuevamente.

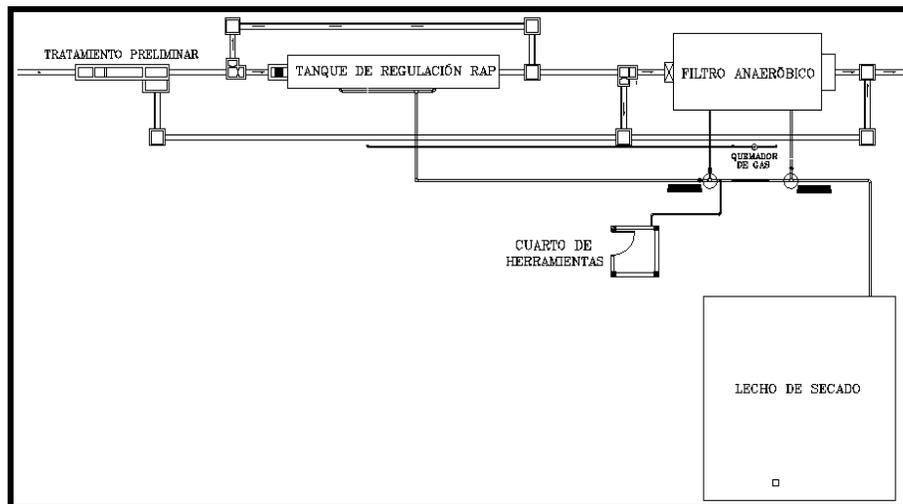
**Figura 1. Localización del Municipio de San Joaquín**



Fuente: Alcaldía de San Joaquín

**2.3.1.2 Componentes de la PTAR de San Joaquín:** La PTAR de San Joaquín está compuesta por un tratamiento primario o preliminar el cual está compuesto de una estructura de cribado y un desarenador, un tratamiento secundario compuesto por un tanque de regulación RAP construido en concreto y un tratamiento principal conformado por un filtro anaeróbico, tal como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2. Vista en Planta de la PTAR de San Joaquín**

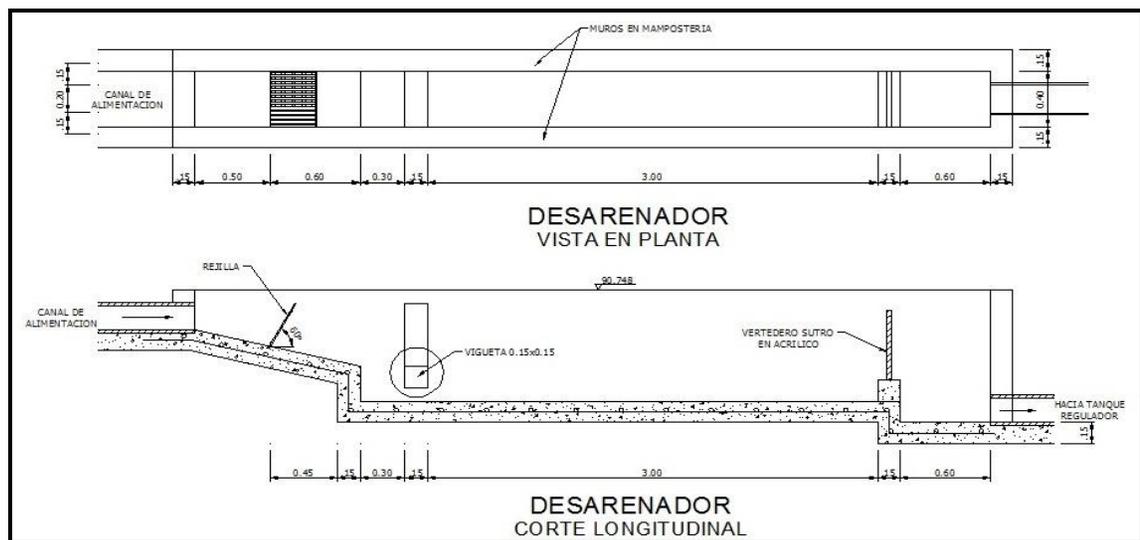


Fuente: Planos PTAR San Joaquín - Alcaldía San Joaquín

Todos los sistemas de tratamiento de la PTAR de San Joaquín fueron construidos en concreto reforzado y se describen a continuación:

**Tratamiento preliminar:** Su función principal es la eliminación de grasas, control de cargas y disminución del contenido de sólidos suspendidos nocivos para los procesos posteriores. Dentro de esta zona se incluyen los procesos de cribado.

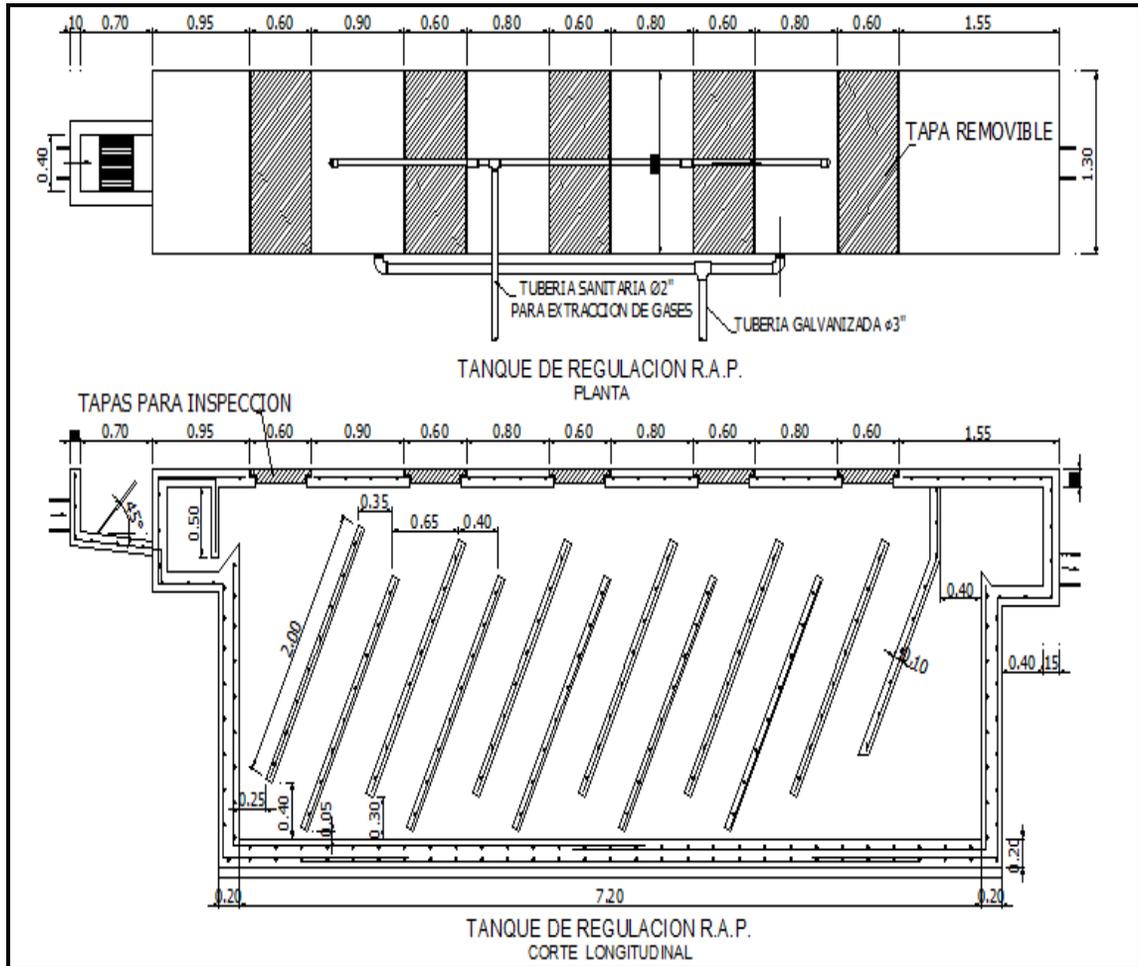
**Figura 3. Vista en Planta y Perfil del Tratamiento Preliminar - PTAR San Joaquín**



Fuente: Planos PTAR San Joaquín - Alcaldía San Joaquín

**Tratamiento Primario:** Se lleva a cabo a través de un tanque regulador RAP (reactor anaerobio de placas), donde se realiza la eliminación más importante de DBO y DQO.

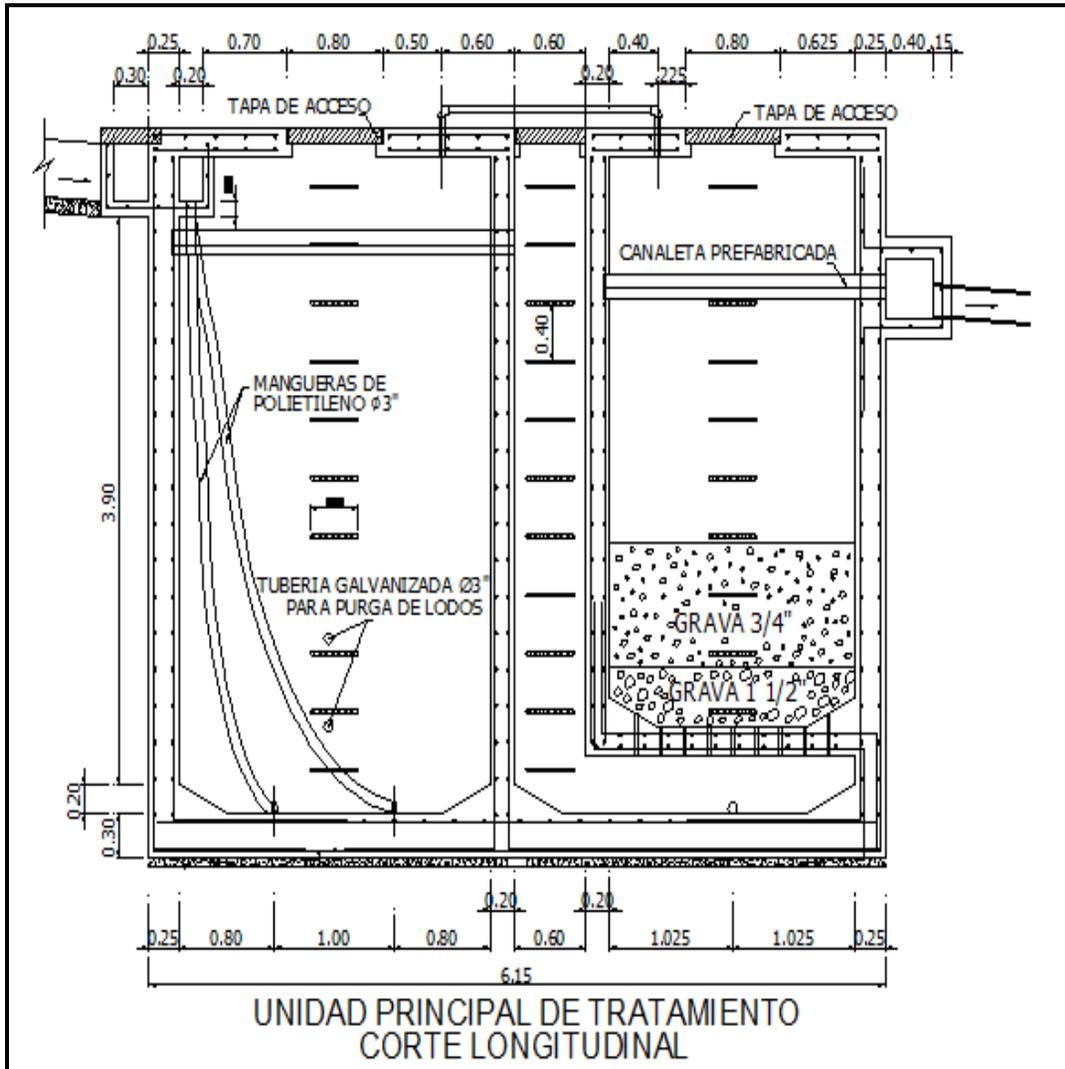
**Figura 4. Vista en Planta y Perfil del Tanque Regulador - PTAR San Joaquín**



Fuente: Planos PTAR San Joaquín - Alcaldía San Joaquín

**Tratamiento Principal:** Se lleva a cabo a través de un Filtro Anaeróbico, que permite no sólo la remoción de DBO soluble, sino la eliminación de partículas importantes que provienen de la unidad primaria. Esta estructura se construyó en concreto reforzada de 3.000 psi. En la Figura 5 se observa el detalle de la estructura en mención.

**Figura 5. Vista en Perfil del Filtro Anaeróbico - PTAR San Joaquín**

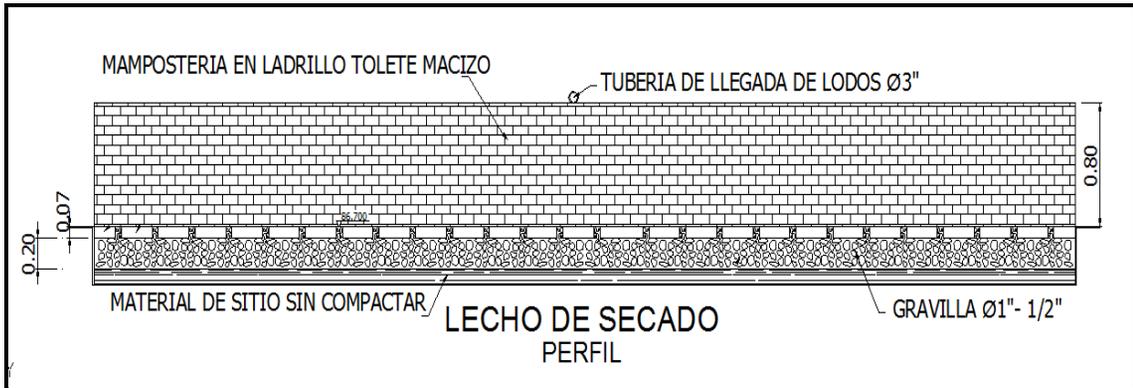


Fuente: Planos PTAR San Joaquín - Alcaldía San Joaquín

Adicionalmente está compuesto de las siguientes unidades para postratamiento de los productos generados:

**Lechos de secado:** Es una estructura diseñada de tal forma que permite la deshidratación de los lodos producidos en las unidades anoxigénicas, los cuales tras una estabilización química del pH, pueden ser utilizados como abonos orgánicos.

**Figura 6. Vista en Perfil de los Lechos De Secado - PTAR San Joaquín**



**Fuente: Planos PTAR San Joaquín - Alcaldía San Joaquín**

**Quemador de Gases:** Permite la eliminación en cierto porcentaje de ciertos gases y sustancias como el metano que generan contaminación al recurso aire. Los datos requeridos para la evaluación de los impactos ambientales potenciales de la PTAR de municipio de San Joaquín se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 4. Datos de la PTAR del Municipio de San Joaquín**

ITEM	DATO DE ENTRADA REQUERIDO	UNIDAD	VALOR
1 (Volumen de Agua)	Producción de Aguas Residuales Anual de la PTAR = 1.8 lps *86400*365	litros	56.764.800, 00
2 (Tubería PVC de 12", 30" y 48" en los colectores)	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 12" <b>en los colectores</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 30" <b>en los colectores</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 48" <b>en los colectores</b>	ml	0,00
3 (Tubería PVC de 12", 30" y 48" en el tratamiento)	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 12" <b>en el tratamiento</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 30" <b>en el tratamiento</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 48" <b>en el tratamiento</b>	ml	0,00
4 (Tubería PVC de 12", 30" y 48" en la descarga)	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 12" <b>en la descarga</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 30" <b>en la descarga</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 48" <b>en la descarga</b>	ml	0,00
5	Tubería metálica equivalente de 12" <b>en los colectores.</b>	ml	0,00

ITEM	DATO DE ENTRADA REQUERIDO	UNIDAD	VALOR
(Tubería Metálica)	Tubería metálica equivalente de 12" <b>en el tratamiento.</b>	ml	7,29
	<b>Tubería metálica equivalente de 12" en la descarga</b>	ml	0,00
6 (Tuberías PVC 12" equivalente)	Tubería plástica 12" equivalente <b>en los colectores.</b>	ml	40,52
	Tubería plástica 12" equivalente <b>en el tratamiento.</b>	ml	30,21
	Tubería plástica 12" equivalentes <b>en la descarga</b>	ml	22,62
7 (Concreto Reforzado)	Metros cúbicos de concreto Reforzado <b>en los colectores</b>	m3	0,42
	Metros cúbicos de concreto Reforzado <b>en el tratamiento</b>	m3	65,82
	Metros cúbicos de concreto Reforzado <b>en la descarga</b>	m3	1,05
8 (Otra Infraestructura)	Valor en dólares del año 2002 de las edificaciones (casetas) y estructuras no incluidas anteriormente <b>en los colectores</b>	\$	147,02
	Valor en dólares del año 2002 de las edificaciones (casetas) y estructuras no incluidas anteriormente <b>en el tratamiento</b>	\$	4.649,23
	Valor en dólares del año 2002 de las edificaciones (casetas) y estructuras no incluidas anteriormente <b>en la descarga</b>	\$	0,00
9 (Equipos utilizados)	Valor en dólares del año 2002 Filtros de grava o arena	\$	149,63
	Valor en dólares del año 2012 Filtros de antracita u otro producto de carbón, membranas	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Bombas	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Sopladores	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 de motores y generadores	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Turbinas	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Tanques Metálicos	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Luces ultravioleta	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Otros elementos de la industria	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Eléctricos	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Controles	\$	0,00
10 (Energía Eléctrica)	Energía eléctrica consumida (Mwh)	Mwh	0,00
	Gas Natural consumido (MMBTU)	MMBTU	0,00
	Gasolina consumida (Litros)	Lts	0,00
	Diésel consumido (Litros)	Lts	0,00
11 (Ajuste de PH)	Ácido clorhídrico		0,00
	Ácido Sulfúrico		0,00
	Cal		0,00
12 (Coagulantes y Floculantes)	Sulfato de Aluminio	kg/año	0,00
	Hidróxido de Aluminio	kg/año	0,00
	Soda caustica	kg/año	0,00
	Cloruro Férrico	kg/año	0,00
	Polímeros	kg/año	0,00
13 (Desinfectantes)	Cloro	kg/año	0,00
	Hipoclorito de calcio	kg/año	0,00
	Ozono	kg/año	0,00
	amoniacaco acuoso	kg/año	0,00
	ácido fluorosilícico	kg/año	0,00
	Otro químico	\$/año	0,00
14 (Emisiones)	Número de personas servidas	#	0,00
	Concentración de DBO del afluente	mg/l	0,00

ITEM	DATO DE ENTRADA REQUERIDO	UNIDAD	VALOR
del proceso)	La concentración de DBO del efluente en lodos	mg / kg	0,00
	Lodos evacuados por año	kg	0,00
	Porcentaje de metano capturado	%	0,00
15 (Tipo de sistema)	Para los procesos del sistema:	N/A	N/A
	PMCAT = tratamiento centralizado aeróbico mal gestionados,		NO
	WMCAT = tratamiento aeróbico centralizado bien gestionada,		NO
	AR = reactor anaeróbico,		SI
	ASL = anaeróbico laguna de poca profundidad,		NO
	ADL = laguna anaeróbica profunda,		NO
	SS = Sistema séptico,		NO
	AD = Digestor anaeróbico.		NO
16 (Gestión de Residuos)	Landfill - Relleno sanitario	N/A	0,00
	Incineración ( Lecho fluidizado con gas natural)		0,00
	Incineración ( Lecho fluidizado con Carbón)		0,00
	Aplicación de tierra		0,00
	Lodo seco utilizado en el cemento portland		0,00
17 (Infraestructura - Válvulas)	Valor en dólares del año 2002 de las válvulas <b>en los colectores</b>	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 de las válvulas <b>en el tratamiento</b>	\$	717,55
	Valor en dólares del año 2002 de las válvulas <b>en la descarga tratamiento</b>	\$	0,00
18 (Población)	Población servida	personas	891
19 (Calidad de agua)	Concentración DBO (mg/l) Afluente	mg/l	284.38
20 (Lodos)	Concentración de DBO en lodos (mg/kg)	mg/kg	20
	Cantidad anual de lodos secos evacuados (Kg)	Kg	6.066
21 (Procesos del sistema)	Reactor Anaeróbico	N/A	AR
22 Metano	Porcentaje de Metano capturado		50%

Fuente: Datos adaptados por el autor a partir de levantamiento de información de campo y cálculo de cantidades de obra

Con esta información se calcularon las cantidades de obra de los materiales que conforman cada una de las unidades de tratamiento de la PTAR, tales como concreto reforzado, tubería pvc, tubería metálica, ladrillo, grava, arena, válvulas, elementos metálicos, etc.

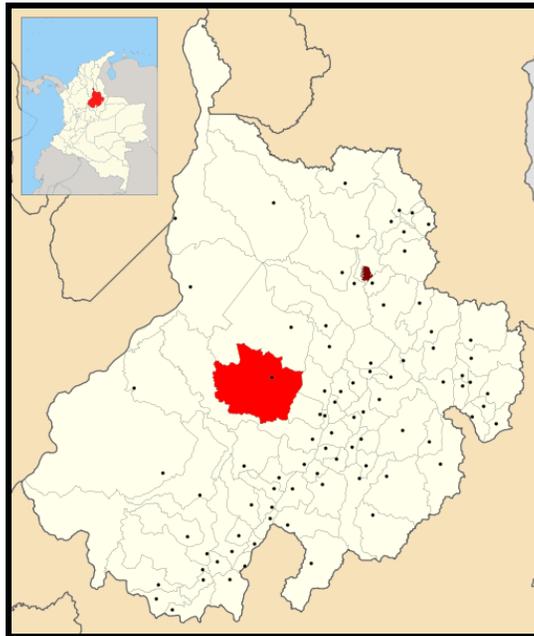
Para los datos de tubería PVC de colectores, en el tratamiento y en la descarga, se realizó el cálculo del área de la sección transversal de cada uno de las tuberías

reales utilizadas de la PTAR y se calculó la tubería equivalente a tubería de 12”, debido a que el Software WEST solo maneja tuberías iguales o superiores a 12”. De la misma manera se procedió con las tuberías metálicas.

### **2.3.2 PTAR del Carmen de Chucurí**

**2.3.2.1 Localización.** El municipio del Carmen de Chucurí está localizado en la provincia de Mares del Departamento de Santander, limita por el norte con el Municipio de San Vicente; por el sur con Simacota, por el oriente con Galán y el Hato, y por el occidente con Simacota.

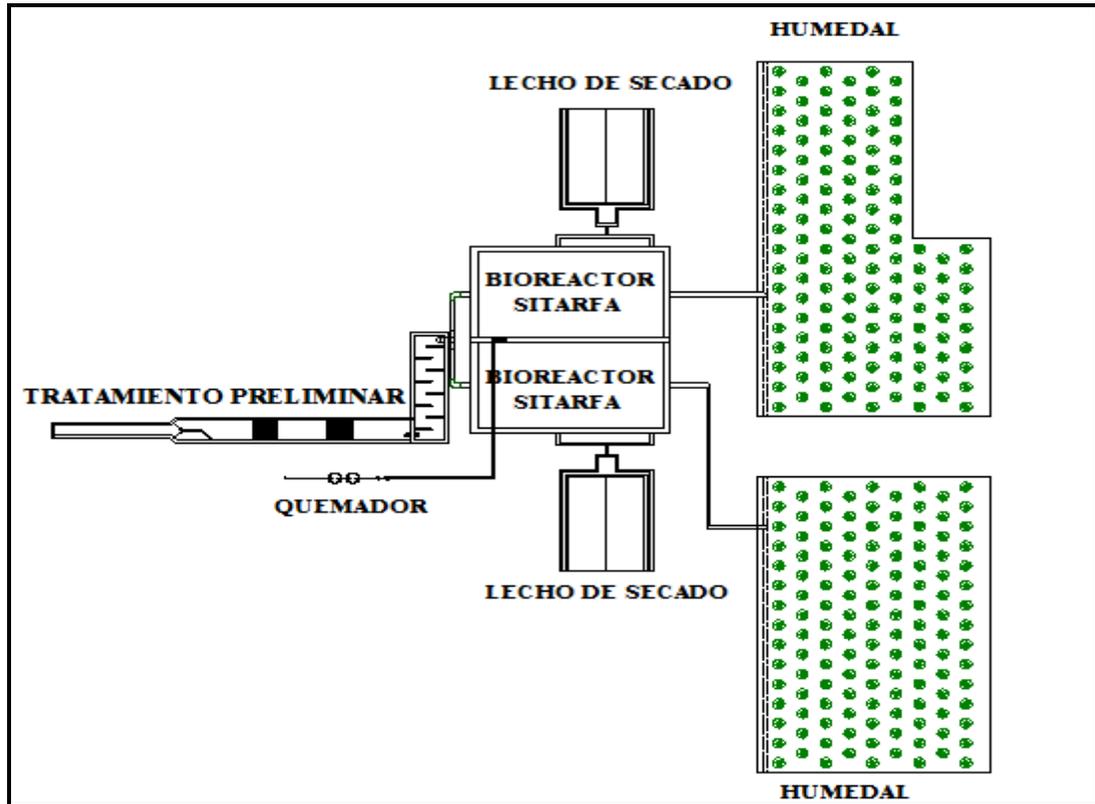
**Figura 7. Localización del Municipio del Carmen de Chucurí**



Fuente: Alcaldía del Carmen de Chucurí

**2.3.2.2 Componentes de la PTAR del Carmen de Chucurí:** La PTAR del Carmen de Chucurí está compuesta por un tratamiento primario, un tratamiento secundario y un tratamiento principal.

Figura 8. Vista en Planta de la PTAR del Carmen de Chucurí

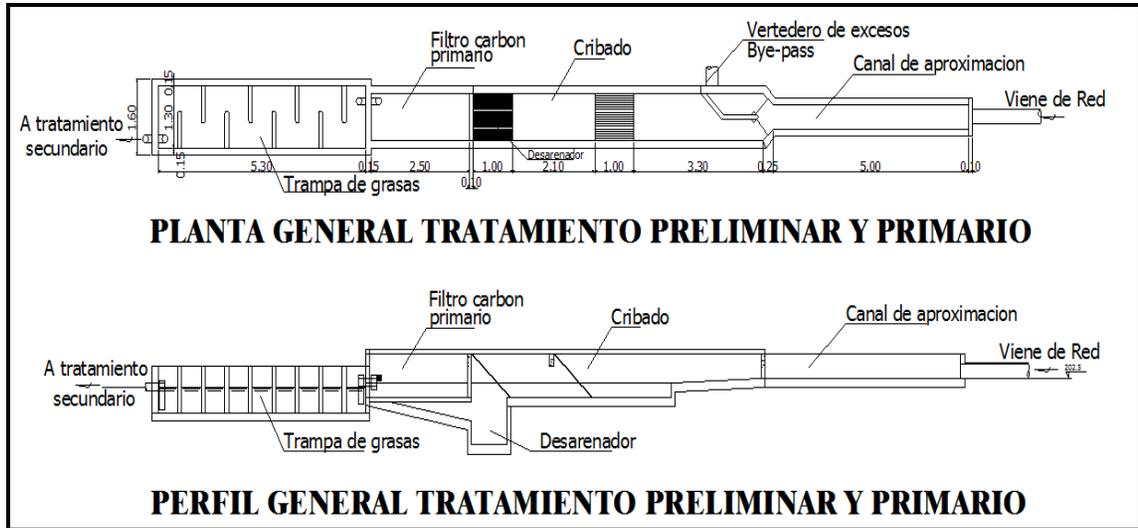


Fuente: Planos PTAR Carmen de Chucurí - Alcaldía Carmen de Chucurí

El sistema de tratamiento preliminar y el principal de la PTAR del Carmen de Chucurí fueron construidos en concreto reforzado y el tratamiento terciario se realiza por medio de un humedal artificial los cuales se describen a continuación:

**Tratamiento preliminar:** Busca separar sólidos gruesos, flotantes, sedimentables y grasas y aceites; estos comprenden un cierto número de operaciones mecánicas, físicas y/o químicas que tienen por objeto separar del agua la mayor cantidad posible de materias que por su naturaleza o tamaño puedan ocasionar problemas en el tratamiento posterior. El tratamiento preliminar cuenta con un canal desarenador, rejillas de cribado, y una trampa de grasas.

**Figura 9. Vista en Planta y Perfil del Tratamiento Preliminar - PTAR Carmen de Chucurí**



Fuente: Planos PTAR San Joaquín - Alcaldía San Joaquín

**Tratamiento principal:** El tratamiento principal se lleva a cabo por medio de un bioreactor de película fija – SITARFA, el cual está compuesto por tres elementos:

**Reactor Anaerobio de Película Fija y Flujo Descendente.** Es un reactor de tipo biológico; Consiste en un tanque rectangular, en donde se obliga en conducción del agua residual proveniente de los sedimentadores, a que mantenga un flujo constante descendente pasando por un Biofiltro empaquetado, en términos generales el proceso que se desarrolla es el siguiente. El agua residual entra por un vertedero de cresta para controlar los caudales, conduciendo las aguas a través de los Biofiltros empaquetados facilitando la digestión de tipo anaerobia.

El flujo del agua es descendente, pasando por el reactor de lecho fijo que consiste en un medio de soporte donde se facilita el crecimiento de la microbiota anaerobia en forma de una biopelícula, que es la forma natural de desarrollo de los microorganismos, las bacterias Anaerobias se asocian en un consorcio microbiano complejo que les permite intercambiar sustancias con el agua residual, donde la

carga orgánica es consumida gracias al metabolismo de las bacterias heterótrofas presentes en la biopelícula (“Organismos que vienen directamente en la composición original del Agua residual”, que para el tratamiento de bioremediación son ayudados por una Microbiota matriz o inóculo que son los mismos microorganismos tratados en laboratorio con procesos de mejoramiento como cultivo y acondicionamiento Bioquímico de los mismos). El sistema desprende cantidades marginales de biosólido que es retenido como un lodo precipitado en un tanque Imhoff Modificado.

**Tanque Imhoff Modificado para Captura de Sólidos.** Es un tanque rectangular, se conoce como tanques de doble acción, están compuestos por tres cámaras o compartimientos:

1. Compartimiento de sedimentación
2. Compartimiento de Biodigestión de lodos.
3. Compartimiento de natas o área de ventilación de gas.

Este tipo de tratamiento es un sistema que trabaja directamente sobre el agua residual.

La modificación consiste básicamente en que el tanque propuesto solo llevará dos cámaras, su ubicación estará directamente relacionada con el sistema de Biodigestión anaerobia, formará parte complementaria de un sistema integral complejo, su geometría está diseñada solo para la recolección de lodos, su función específica será igual a la de un desarenador de tipo primario.

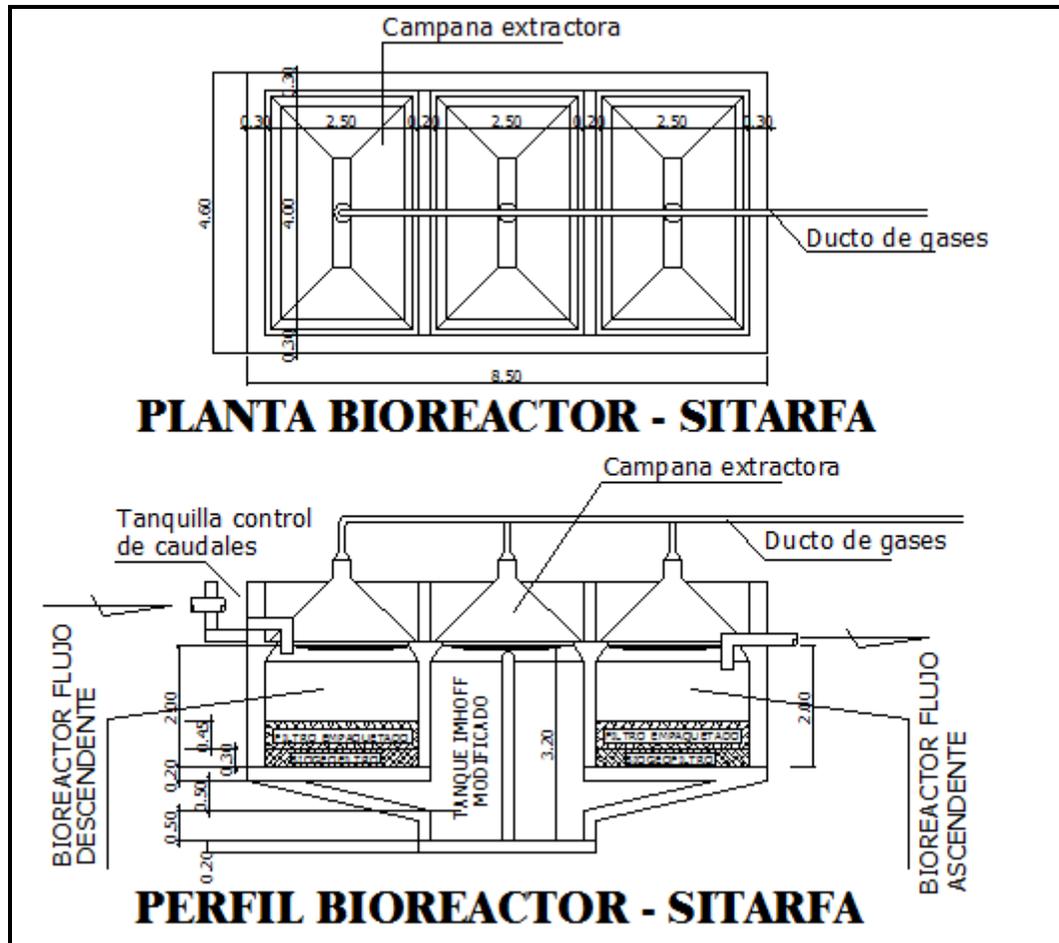
### **Reactor Anaerobio De Película Fija y Flujo Ascendente.**

Es un reactor de tipo biológico; Consiste en un tanque rectangular, en donde se obliga en conducción del agua residual proveniente del paso del tanque Imhoff

Modificado, el Biofiltro funciona de la misma manera citada en el Biofiltro anaerobio de flujo descendente, donde la formación de una BIOPELÍCULA de bacterias heterótrofas Anaerobias consume la carga orgánica del agua residual (“Organismos que vienen directamente en la composición original del Agua residual”, que para el tratamiento de bioremediación son ayudados por una Microbiota matriz o inóculo que son los mismos microorganismos tratados en laboratorio con procesos de mejoramiento como lo es el cultivo y el acondicionamiento Bioquímico). A la vez que se separan las partículas de lodo del agua propiamente dicha, lográndose eficiencias superiores a las que contempla la normativa RAS que son del 80% de remoción en términos de: (DBO<sub>5</sub>, DQO, SST Y G y A), en términos generales el proceso que se desarrolla es el siguiente:

El agua residual entra por el fondo mediante una conducción especialmente diseñada, atraviesa en forma ascendente una serie de biofiltros empacados, ubicados estratégicamente en un estabilizador en donde se forma la biomasa, en la cual los microorganismos empiezan su actividad sobre los diferentes compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales (DBO<sub>5</sub> y DQO).

**Figura 10. Vista en Planta y Perfil del Bioreactor SITARFA - PTAR Carmen de Chucurí**

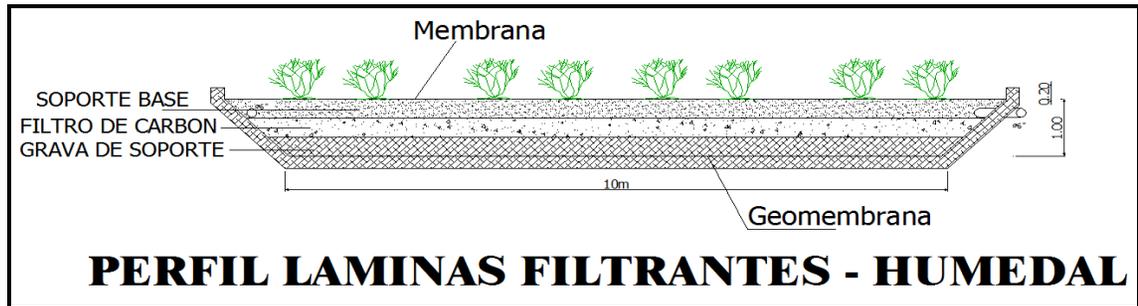


Fuente: Planos PTAR Carmen de Chucurí - Alcaldía Carmen de Chucurí

**Tratamiento terciario:** Se lleva a cabo mediante un humedal subsuperficial artificial de flujo horizontal; el cual se define como un ecosistema combinado entre acuático y terrestre, allí interactúan tres elementos importantes; Agua, Substrato y Plantas macrófitas; que por interacción propia se desarrollan varios procesos fisicoquímicos y biológicos, que permite la remoción de materia orgánica,  $DBO_5$ , nitrificación, remoción de fósforo, azufre y otros compuesto, además facilita la adsorción, precipitación, intercambio iónico, también las plantas macrófitas poseen

la capacidad de adaptarse a condiciones acuáticas y / o de saturación de agua. En la Figura 11 se muestra el esquema del humedal artificial subsuperficial.

**Figura 11. Vista en Perfil Humedal - PTAR Carmen de Chucurí**

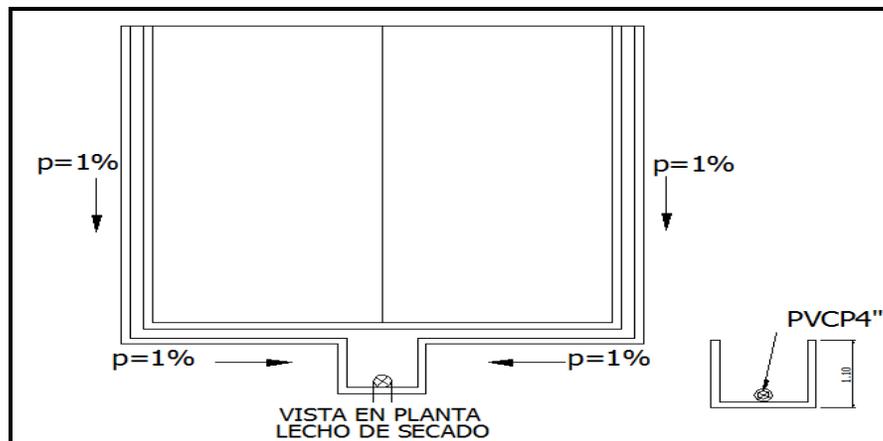


Fuente: Planos PTAR Carme de Chucurí - Alcaldía Carmen de Chucurí

Adicionalmente está compuesto de las siguientes unidades para postratamiento de los productos generados:

**Lecho de Secado:** Es una estructura diseñada de tal forma que permite la deshidratación de los lodos producidos en las unidades anoxigénicas.

**Figura 12. Vista en Planta - Perfil de los Lechos de Secado - PTAR Carmen de Chucurí**



Fuente: Planos PTAR Carmen de Chucurí - Alcaldía Carmen de Chucurí

**Quemador de Gases:** Permite la eliminación en cierto porcentaje de ciertos gases y sustancias como el metano que generan contaminación al recurso aire. Los datos requeridos para la evaluación de los impactos ambientales potenciales de la PTAR de municipio del Carmen de Chucurí se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5. Datos de la PTAR del Municipio del Carmen de Chucurí**

ITEM	DATO DE ENTRADA REQUERIDO	UNIDAD	VALOR
1 (Caudal)	Producción de Aguas Residuales Anual de la PTAR	litros	220.752.000,00
2 (Tubería PVC de 12", 30" y 48" en los colectores)	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 12" <b>en los colectores</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 30" <b>en los colectores</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 48" <b>en los colectores</b>	ml	0,00
3 (Tubería PVC de 12", 30" y 48" en el tratamiento)	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 12" <b>en el tratamiento</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 30" <b>en el tratamiento</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 48" <b>en el tratamiento</b>	ml	0,00
4 (Tubería PVC de 12", 30" y 48" en la descarga)	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 12" <b>en la descarga</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 30" <b>en la descarga</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 48" <b>en la descarga</b>	ml	0,00
5 (Tubería Metálica)	Tubería metálica equivalente de 12" <b>en los colectores.</b>	ml	0,00
	Tubería metálica equivalente de 12" <b>en el tratamiento.</b>	ml	0,00

ITEM	DATO DE ENTRADA REQUERIDO	UNIDAD	VALOR
	<b>Tubería metálica equivalente de 12" en la descarga</b>	ml	0,00
6 (Tuberías PVC 12" equivalente)	Tubería plástica 12" equivalente <b>en los colectores.</b>	ml	294,12
	Tubería plástica 12" equivalente <b>en el tratamiento.</b>	ml	95,13
	Tubería plástica 12" equivalentes <b>en la descarga</b>	ml	36,97
7 (Concreto Reforzado)	Metros cúbicos de concreto Reforzado <b>en los colectores</b>	m3	4,55
	Metros cúbicos de concreto Reforzado <b>en el tratamiento</b>	m3	70,40
	Metros cúbicos de concreto Reforzado <b>en la descarga</b>	m3	2,50
8 (Otra Infraestructura)	Valor en dólares del año 2002 de las edificaciones (casetas) y estructuras no incluidas anteriormente <b>en los colectores</b>	\$	816,27
	Valor en dólares del año 2002 de las edificaciones (casetas) y estructuras no incluidas anteriormente <b>en el tratamiento</b>	\$	42.177,24
	Valor en dólares del año 2002 de las edificaciones (casetas) y estructuras no incluidas anteriormente <b>en la descarga</b>	\$	0,00
9 (Equipos utilizados)	Valor en dólares del año 2002 Filtros de grava o arena	\$	22.499,94
	Valor en dólares del año 2012 Filtros de antracita u otro producto de carbón, membranas	\$	15.570,10
	Valor en dólares del año 2002 Bombas	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Sopladores	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 de motores y generadores	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Turbinas	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Tanques Metálicos	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002	\$	0,00

ITEM	DATO DE ENTRADA REQUERIDO	UNIDAD	VALOR
	Luces ultravioleta		
	Valor en dólares del año 2002 Otros elementos de la industria	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Eléctricos	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Controles	\$	0,00
10 (Energía Eléctrica)	Energía eléctrica consumida (Mwh)	Mwh	0,00
	Gas Natural consumido (MMBTU)	MMBTU	0,00
	Gasolina consumida (Litros)	Lts	0,00
	Diésel consumido (Litros)	Lts	0,00
11 (Ajuste de PH)	Ácido clorhídrico		0,00
	Ácido Sulfúrico		0,00
	Cal		0,00
12 (Coagulantes y Floculantes)	Sulfato de Aluminio	kg/año	0,00
	Hidróxido de Aluminio	kg/año	0,00
	Soda caustica	kg/año	0,00
	Cloruro Férrico	kg/año	0,00
	Polímeros	kg/año	0,00
13 (Desinfectantes)	Cloro	kg/año	0,00
	Hipoclorito de calcio	kg/año	0,00
	Ozono	kg/año	0,00
	amoniac acuoso	kg/año	0,00
	ácido fluorosilícico	kg/año	0,00
	Otro químico	\$/año	0,00
14 (Emisiones del proceso)	Número de personas servidas	#	2.220
	Concentración de DBO del afluente	mg/l	423
	La concentración de DBO del efluente en lodos	mg / kg	22,00
	Lodos evacuados por año	kg	71.744
	Porcentaje de metano capturado	%	1
15 (Tipo de sistema)	Para los procesos del sistema:	N/A	0,00
	PMCAT = tratamiento centralizado aeróbico mal gestionados,		0,00
	WMCAT = tratamiento aeróbico centralizado bien gestionada,		0,00
	AR = reactor anaeróbico,		SI

ITEM	DATO DE ENTRADA REQUERIDO	UNIDAD	VALOR
	ASL = anaeróbico laguna de poca profundidad,		0,00
	ADL = laguna anaeróbica profunda,		0,00
	SS = Sistema séptico,		0,00
	AD = Digestor anaeróbico.		0,00
16 (Gestión de Residuos)	Landfill - Relleno sanitario	N/A	SI
	Incineración ( Lecho fluidizado con gas natural)		0,00
	Incineración ( Lecho fluidizado con Carbón)		0,00
	Aplicación de tierra		0,00
	Lodo seco utilizado en el cemento portland		0,00
17 (Infraestructura - Válvulas)	Valor en dólares del año 2002 de las válvulas <b>en los colectores</b>	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 de las válvulas <b>en el tratamiento</b>	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 de las válvulas <b>en la descarga tratamiento</b>	\$	0,00
18 (Población)	Población servida	personas	2.220
19 (Calidad de agua)	Concentración DBO (mg/l) Afluente	mg/l	423
20 (Lodos)	Concentración de DBO en lodos (mg/kg)	mg/kg	20
	Cantidad anual de lodos secos evacuados (Kg)	Kg	31.992
21 (Procesos del sistema)	Reactor Anaeróbico	N/A	AR
22 Metano	Porcentaje de Metano capturado		52%

Fuente: Datos adaptados por el autor a partir de levantamiento de información de campo y cálculo de cantidades de obra

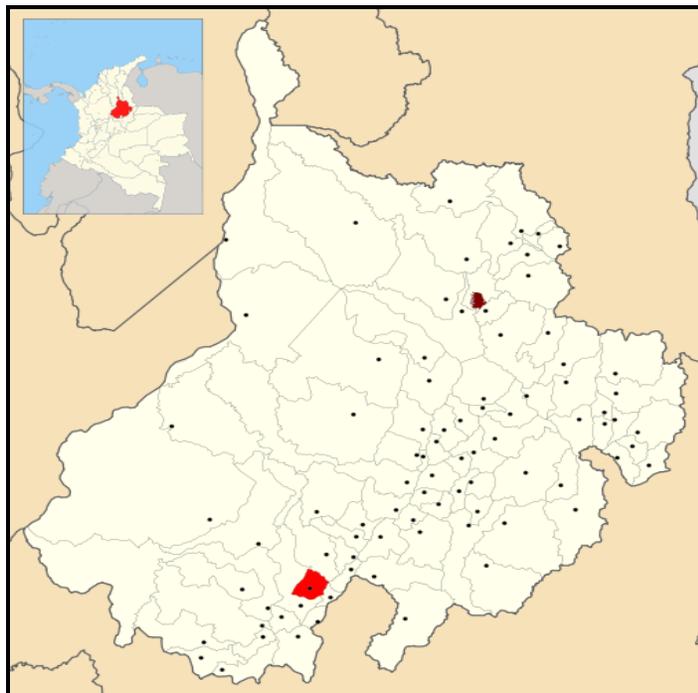
Los cálculos de la tubería equivalente siguen el procedimiento descrito para la PTAR de San Joaquín.

### 2.3.3 PTAR Municipio De Chipatá

**2.3.3.1 Localización:** El municipio de Chipatá limita al sur y occidente por el municipio de Vélez.

Con el municipio de La Paz limita al norte, con los municipios de San Benito, Güepsa y Barbosa limita al oriente, y todos los anteriores incluyendo a Chipatá hacen parte de la Provincia de Vélez.

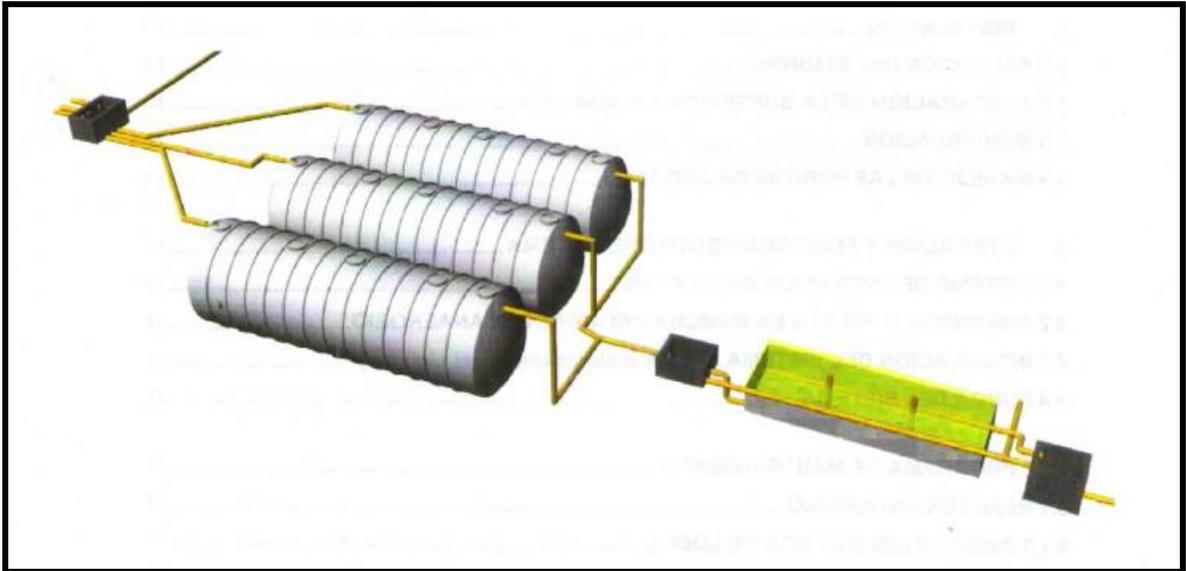
**Figura 13. Localización municipio de Chipatá**



Fuente: Alcaldía de Chipatá

**2.3.3.2 Componentes de la PTAR de Chipata:** La PTAR de Chipatá está compuesta por un tratamiento primario, y un tratamiento tratamiento principal.

**Figura 14. Vista en Perspectiva PTAR Chipatá**

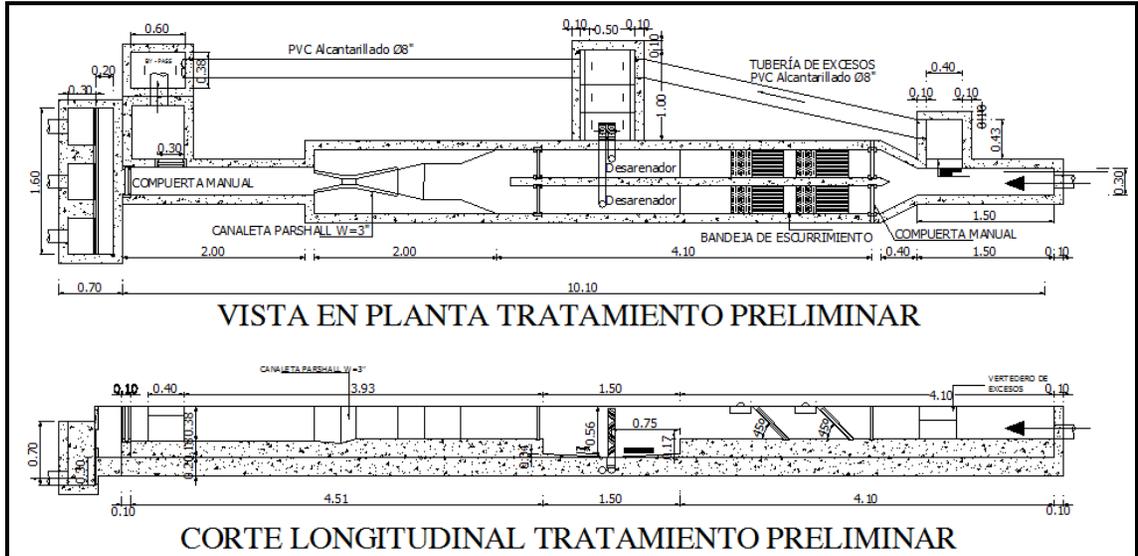


Fuente: Manual de Operación PTAR Chipatá - Alcaldía Chipatá

El sistema de tratamiento preliminar de la PTAR de Chipatá fue construido en concreto reforzado y el tratamiento principal se realiza por medio de tres reactores anaerobios de flujo pistón fabricado en poliéster reforzado con fibra de vidrio:

**Tratamiento Preliminar:** Busca separar sólidos gruesos, flotantes, sedimentables y grasas y aceites; estos comprenden un cierto número de operaciones mecánicas, físicas que tienen por objeto separar del agua la mayor cantidad posible de materias que por su naturaleza o tamaño puedan ocasionar problemas en el tratamiento posterior. El tratamiento preliminar cuenta con un canal de entrada, rejillas de cribado, un desarenador, una canaleta parshall un canal de entrega y finalmente tres cajas de distribución del caudal, en la Figura 15 se muestra la vista en planta del tratamiento preliminar.

**Figura 15. Vista en Planta y Perfil del Tratamiento Preliminar - PTAR Chipatá**



Fuente: Planos PTAR Chipatá - Alcaldía Chipatá

**Tratamiento Principal:** El tratamiento principal se lleva a cabo por medio Reactor Anaerobio de Flujo Pistón de 50.000 Litros en Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio - P.R.F.V (Tres en paralelo). El Reactor Anaerobio de Flujo Pistón está dividido en cuatro (4) cámaras, las cuales se Encuentran configuradas así:

**Reactor a Flujo Pistón (Cámara N° 1).** Se lleva a cabo el proceso de sedimentación. En este primer compartimiento al tener una sección mayor que la tubería de llegada del agua residual, conlleva a una reducción en la velocidad del agua, por lo que ocurre una decantación de las partículas sólidas sedimentables, las cuales van formando un depósito de lodos en la parte inferior del reactor. Complementariamente, se da una separación de las grasas, aceites, espumas y demás material flotante, el cual podría alterar los procesos de tratamiento posteriores sino es retirado oportunamente.

La capa flotante de partículas ligeras que se va formando en la zona superior sufre un proceso de fermentación. El sistema de entrada y salida impide la rotura de la

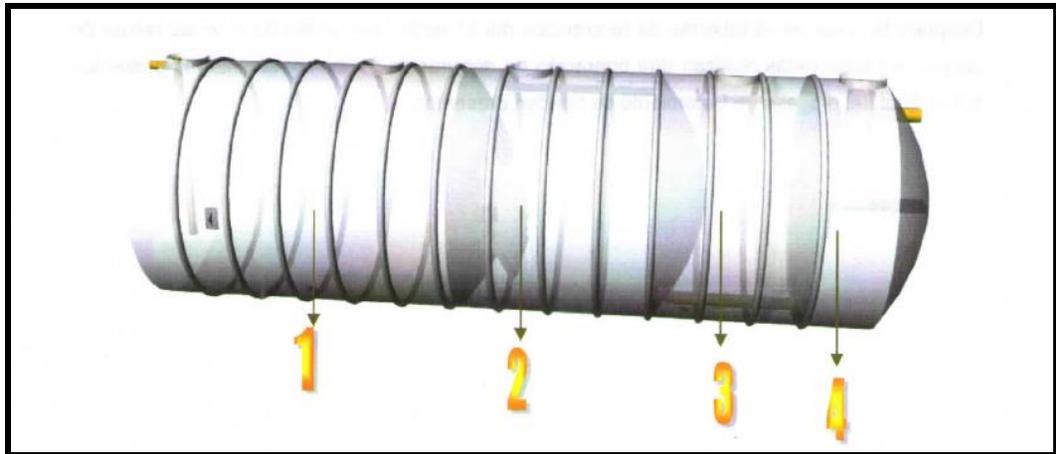
capa flotante, impidiendo el paso de las grasas acumuladas en la superficie y los lodos depositados en la parte inferior del reactor hacia el segundo compartimiento.

**Reactor a Flujo Pistón (Cámara N° 2) – Biodigestión.** En esta cámara se realiza el proceso biológico, en el que se produce la estabilización del sustrato, uno de los procesos es la fermentación, mediante el cual las bacterias anaerobias metabolizan la materia orgánica, disminuyendo la cantidad de lodo generado.

**Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).** Esta cámara incorpora un filtro biológico, con el cual se logra una eliminación, tanto de materia orgánica como sólidos en suspensión. El agua, una vez sale del decantador - digestor, pasa al compartimiento de biofiltración, en el que se esparce en un aglomerado sintético tipo cinta (material de gran superficie específica), que hace de soporte para la biomasa, la cual oxida la materia orgánica que aún se encuentra presente en el agua residual. La capa de biomasa va aumentando al ser degradada la materia orgánica y el oxígeno es consumido, con lo que se establece un medio anaerobio en la superficie del reactor. Al no llegar materia orgánica suficiente, los microorganismos de esa zona pierden su capacidad de adherencia al medio de soporte y finalmente, el agua residual arrastra dicha película y comienza el crecimiento de otra nueva. En la parte inferior del compartimiento de biofiltración existe un drenaje para la evacuación de los sólidos degradados del medio filtrante y del agua.

**Filtro de Cartucho de Pulimento Removible.** Última cámara de tratamiento, cuyo objetivo es complementar y refinar la calidad fisicoquímica, bacteriológica y organoléptica del efluente del sistema de tratamiento. El filtro cartucho de pulimento está compuesto por una mezcla de materiales absorbentes como carbón natural, donde el agua residual ingresa y asciende entre los intersticios del material filtrante y poroso, con características altamente afines a los compuestos nitrogenados, a la materia orgánica y los gases, impidiendo la formación de olores.

**Figura 16. Ubicación de las Cuatro Cámaras Dentro del Reactor de Flujo Pistón**



Fuente: Especificaciones Técnicas PTAR Chipatá - Alcaldía de Chipatá

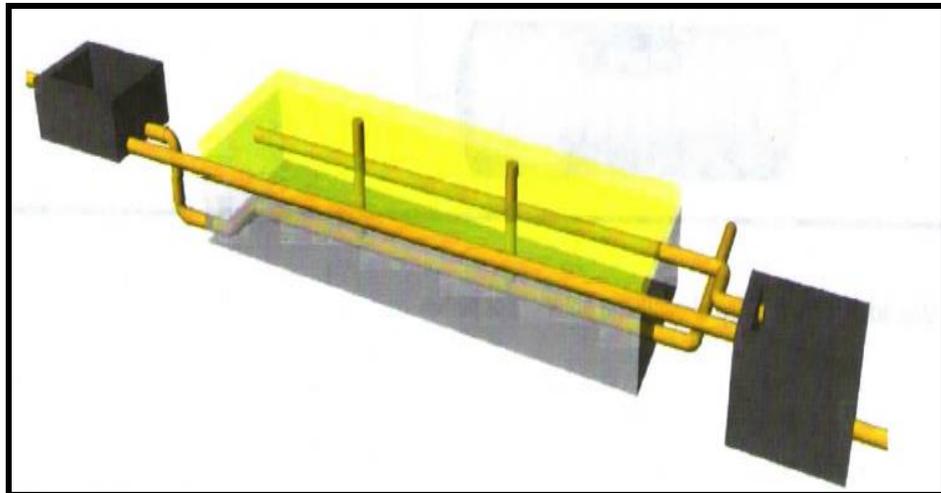
**Tratamiento Terciario:** Se lleva a cabo mediante un humedal artificial de flujo ascendente, denominado también filtro verde que es la combinación de material filtrante y material vegetal que tienen la capacidad de absorber la contaminación orgánica no retenida en los sistemas de tratamientos primarios, a fin de poder verter calidades de aguas más descontaminadas y que no sean perjudiciales para las fuentes de aguas receptoras. El Filtro verde es de  $12 \text{ m}^3$ , sus dimensiones son 1m de profundidad, 6m de largo y 2m de ancho. Con tubería de 6 " pvc sanitaria en la parte inferior y superior, el filtro es de tipo ascendente, cuenta con dos tubería verticales de 6"pvc sanitaria para mantenimiento. Como el efluente de los reactores, podría no poseer la calidad físico - química, bacteriológica y organoléptica adecuada para ser descargada a una corriente superficial, se ha complementado el tratamiento de efluente mediante un filtro biológico anaerobio de flujo ascendente, el cual ofrece una eficiencia en remoción la  $\text{DBO}_5$  entre el 80 % y el 85 %.

El sistema consiste en un recipiente lleno de gravas estratificadas de canto rodado, el cual es alimentado por el fondo a través de tubería perforado que

soporta el medio poroso y a la vez distribuye el flujo uniformemente, para así aprovechar toda el área de filtración disponible. El efluente entra y sube por entre los intersticios dejados por el material poroso, formando una película biológicamente activa, la cual degrada anaeróbicamente una parte importante de la materia orgánica. Luego de hacer este recorrido el agua entra en contacto con material filtrante Zeolita, este material retiene contaminantes y luego de que cumpla su vida útil puede ser retirada y usada como abono orgánico.

Después se dispone de tuberías de recolección del efluente, pero antes de esto las raíces de las plantas sembradas realizan una operación de depuración de los contaminantes presentes que al final del proceso de tratamiento se pueden presentar.

**Figura 17. Vista en Perfil del Filtro Verde PTAR Chipatá**

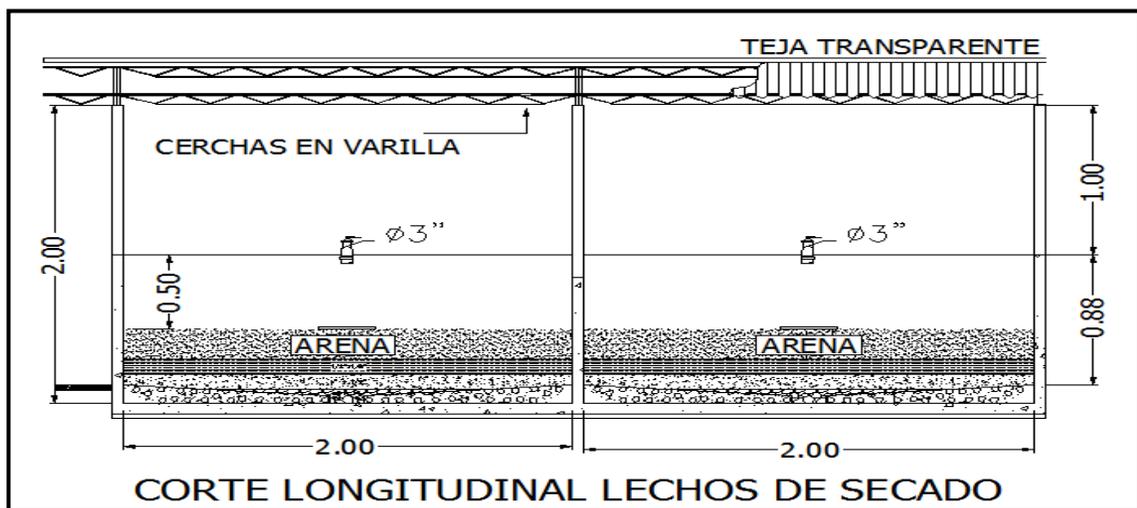
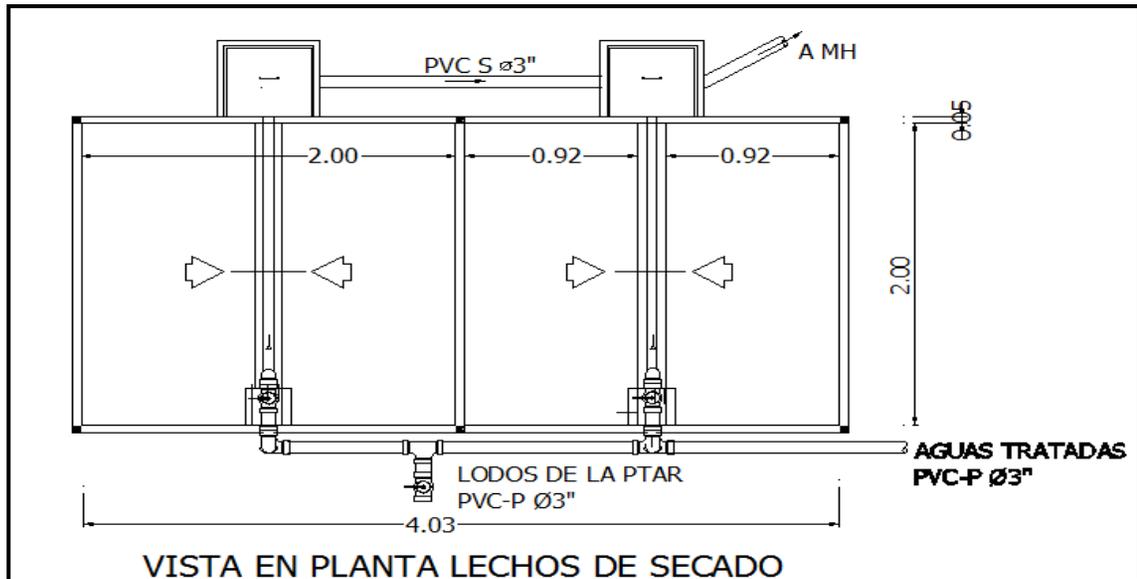


Fuente: Especificaciones Técnicas PTAR Chipatá - Alcaldía Chipatá

Adicionalmente está compuesto de las siguientes unidades para postratamiento de los productos generados:

**Lecho de Secado:** Es una estructura diseñada de tal forma que permite la deshidratación de los lodos producidos en las unidades anoxigénicas.

**Figura 18. Vista en planta - perfil de los lechos de secado - PTAR Chipatá**



Fuente: Planos PTAR Chipatá - Alcaldía Chipatá

**2.3.3.3 Quemador de Gases:** Permite la eliminación en cierto porcentaje de ciertos gases y sustancias como el metano que generan contaminación al recurso aire.

Los datos requeridos para la evaluación de los impactos ambientales potenciales de la PTAR de municipio del Chipatá se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6. Datos de la PTAR del Municipio de Chipatá**

ITEM	DATO DE ENTRADA REQUERIDO	UNIDAD	VALOR
1 (Caudal)	Producción de Aguas Residuales Anual de la PTAR	litros	63.072.000,00
2 (Tubería PVC de 12", 30" y 48" en los colectores)	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 12" <b>en los colectores</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 30" <b>en los colectores</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 48" <b>en los colectores</b>	ml	0,00
3 (Tubería PVC de 12", 30" y 48" en el tratamiento)	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 12" <b>en el tratamiento</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 30" <b>en el tratamiento</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 48" <b>en el tratamiento</b>	ml	0,00
4 (Tubería PVC de 12", 30" y 48" en la descarga)	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 12" <b>en la descarga</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 30" <b>en la descarga</b>	ml	0,00
	Metros lineales de tubería plástica de diámetro de 48" <b>en la descarga</b>	ml	0,00
5 (Tubería Metálica)	Tubería metálica equivalente de 12" <b>en los colectores.</b>	ml	0,00
	Tubería metálica equivalente de 12" <b>en el tratamiento.</b>	ml	0,00
	<b>Tubería metálica equivalente de 12" en la descarga</b>	ml	0,00
6 (Tuberías PVC 12" equivalente)	Tubería plástica 12" equivalente <b>en los colectores.</b>	ml	27,15
	Tubería plástica 12" equivalente <b>en el tratamiento.</b>	ml	102,00
	Tubería plástica 12" equivalentes <b>en la descarga</b>	ml	13,57
7 (Concreto)	Metros cúbicos de concreto Reforzado <b>en los</b>	m3	0,00

ITEM	DATO DE ENTRADA REQUERIDO	UNIDAD	VALOR
Reforzado)	<b>colectores</b>		
	Metros cúbicos de concreto Reforzado <b>en el tratamiento</b>	m3	19,49
	Metros cúbicos de concreto Reforzado <b>en la descarga</b>	m3	2,50
8 (Otra Infraestructura )	Valor en dólares del año 2002 de las edificaciones (casetas) y estructuras no incluidas anteriormente <b>en los colectores</b>	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 de las edificaciones (casetas) y estructuras no incluidas anteriormente <b>en el tratamiento</b>	\$	\$ 50.898
	Valor en dólares del año 2002 de las edificaciones (casetas) y estructuras no incluidas anteriormente <b>en la descarga</b>	\$	0,00
9 (Equipos utilizados)	Valor en dólares del año 2002 Filtros de grava o arena	\$	\$ 2.526
	Valor en dólares del año 2012 Filtros de antracita u otro producto de carbón, membranas	\$	2.179,79
	Valor en dólares del año 2002 Bombas	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Sopladores	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 de motores y generadores	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Turbinas	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Tanques Metálicos	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Luces ultravioleta	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Otros elementos de la industria	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Eléctricos	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 Controles	\$	0,00
10 (Energía Eléctrica)	Energía eléctrica consumida (Mwh)	Mwh	0,00
	Gas Natural consumido (MMBTU)	MMBTU	0,00

ITEM	DATO DE ENTRADA REQUERIDO	UNIDAD	VALOR
	Gasolina consumida (Litros)	Lts	0,00
	Diésel consumido (Litros)	Lts	0,00
11 (Ajuste de PH)	Ácido clorhídrico		0,00
	Ácido Sulfúrico		0,00
	Cal		0,00
12 (Coagulantes y Floculantes)	Sulfato de Aluminio	kg/año	0,00
	Hidróxido de Aluminio	kg/año	0,00
	Soda caustica	kg/año	0,00
	Cloruro Férrico	kg/año	0,00
	Polímeros	kg/año	0,00
13 (Desinfectantes)	Cloro	kg/año	0,00
	Hipoclorito de calcio	kg/año	0,00
	Ozono	kg/año	0,00
	amoniac acuoso	kg/año	0,00
	ácido fluorosilícico	kg/año	0,00
	Otro químico	\$/año	0,00
14 (Emisiones del proceso)	Número de personas servidas	#	0,00
	Concentración de DBO del afluente	mg/l	0,00
	La concentración de DBO del efluente en lodos	mg / kg	0,00
	Lodos evacuados por año	kg	0,00
	Porcentaje de metano capturado	%	0,00
15 (Tipo de sistema)	Para los procesos del sistema:		0,00
	PMCAT = tratamiento centralizado aeróbico mal gestionados,		0,00
	WMCAT = tratamiento aeróbico centralizado bien gestionada,		0,00
	AR = reactor anaeróbico,	N/A	0,00
	ASL = anaeróbico laguna de poca profundidad,		0,00
	ADL = laguna anaeróbica profunda,		0,00
	SS = Sistema séptico,		0,00
	AD = Digestor anaeróbico.		0,00
16 (Gestión de	Landfill - Relleno sanitario	N/A	0,00

ITEM	DATO DE ENTRADA REQUERIDO	UNIDAD	VALOR
Residuos)	Incineración ( Lecho fluidizado con gas natural)		0,00
	Incineración ( Lecho fluidizado con Carbón)		0,00
	Aplicación de tierra		0,00
	Lodo seco utilizado en el cemento portland		0,00
17 (Infraestructura - Válvulas)	Valor en dólares del año 2002 de las válvulas <b>en los colectores</b>	\$	0,00
	Valor en dólares del año 2002 de las válvulas <b>en el tratamiento</b>	\$	\$ 954
	Valor en dólares del año 2002 de las válvulas <b>en la descarga tratamiento</b>	\$	0,00
18 (Población)	Población servida	personas	650
19 (Calidad de agua)	Concentración DBO (mg/l) Afluente	mg/l	264
20 (Lodos)	Concentración de DBO en lodos (mg/kg)	mg/kg	25
	Cantidad anual de lodos secos evacuados (Kg)	Kg	6.391
21 (Procesos del sistema)	Reactor Anaeróbico	N/A	AR
22 Metano	Porcentaje de Metano capturado		0%

Fuente: Datos adaptados por el autor a partir de levantamiento de información de campo y cálculo de cantidades de obra

Se calcularon las cantidades de obra de los materiales que conforman cada uno de los elementos de las PTAR seleccionadas, tales como concreto reforzado, tubería pvc, tubería metálica, ladrillo, grava, arena, válvulas, elementos metálicos, etc.

Los cálculos de la tubería equivalente siguen el procedimiento descrito previamente para la PTAR de San Joaquín.

## **2.4 ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL POTENCIAL**

Se utilizó como herramienta principal el software de uso libre - WWEST (Wastewater Energy Sustainability Tool) - desarrollado por la Universidad de Berkeley, el cual realiza su análisis de impactos teniendo en cuenta las diferentes etapas del ciclo de vida de las PTAR, las cuales se describen a continuación ([west.berkeley.edu](http://west.berkeley.edu)):

**2.4.1 Producción y Suministro de Materiales.** Cuantifica los materiales utilizados en el sistema y los efectos producidos en el medio ambiente debido su fabricación y el suministro. Evalúa la energía utilizada y las emisiones del transporte de materiales en camión, barco o avión, utiliza ACV basado en procesos.

**2.4.2 Etapa de Construcción.** Incluye el uso de energía y las emisiones de la producción de materiales de construcción, equipos de tratamiento, y la energía utilizada en la instalación inicial, incluyendo las cadenas de suministro, el uso de combustible y las emisiones de equipos de construcción y vehículos de reparto.

**2.4.3 Operación.** Incluye la energía y las emisiones propias del tratamiento, el uso de combustible y las emisiones de los vehículos operativos, el uso de energía y las emisiones de la producción de productos químicos y otros materiales utilizados habitualmente (incluyendo las cadenas de suministro).

**2.4.4 Mantenimiento.** Incluye el uso de energía y las emisiones por la producción de piezas de recambio, para los componentes con vidas útiles más cortas que el período de análisis (incluyendo la cadena de suministro), el uso de combustibles y las emisiones de los vehículos de mantenimiento.

**2.4.5 Utilización del Equipo.** Evalúa las emisiones y el consumo de combustible

debido al funcionamiento de equipos de construcción su transporte y vehículos de mantenimiento, utiliza ACV basado en procesos.

**2.4.6 Producción de Energía.** Cuantifica los efectos de la producción de electricidad y la producción de combustibles (por ejemplo, gasolina, diésel) necesarios para operar vehículos.

**2.4.7 Emisiones Directas.** Realiza estimaciones de las emisiones de GEI de los procesos de tratamiento que exceden las inevitables emisiones de CO<sub>2</sub> biogénico.

**2.4.8 Eliminación de Lodos.** Analiza los efectos de transporte y eliminación de los lodos; utiliza ACV basado en procesos, salvo las compensaciones por co-productos.

**2.4.9 Final de la Vida.** Incluye el uso de energía y las emisiones de combustible para el transporte y la eliminación de los lodos, las emisiones a largo plazo, las compensaciones de generación de energía, y las compensaciones por co-productos de desecho (por ejemplo, fertilizantes). El Desmantelamiento de la infraestructura contribuye en menos del 0,01% de los resultados generales, por lo que se desprecian.

WWEST fue creado para el uso de administradores de plantas, empresas de ingeniería, contratistas, y analistas políticos. Se puede utilizar para evaluar los efectos de una variedad de decisiones tomadas en el tratamiento de aguas residuales, incluyendo (Stokes., 2010):

- Diseño de ampliaciones del sistema
- El cambio de las especificaciones del tratamiento
- Evaluación de los procesos de tratamiento alternativos
- Elegir los materiales para mejoras en la infraestructura

- Mejoras de eficiencia energética y prevención de la contaminación, y reducción del uso de los materiales.

Con la herramienta WWEST se llevó a cabo el cálculo de los impactos ambientales potenciales de las tres (3) PTARs seleccionadas (PTAR del municipio de San Joaquín, PTAR del municipio de Carmen de Chucurí y PTAR del municipio de Chipatá) en el Departamento de Santander, con el propósito de estudiar y comparar dichos impactos asociados a este tipo de plantas con diferentes características de tratamiento e identificar posibles mejoras que minimicen los efectos adversos al medio ambiente, teniendo en cuenta que cuando se han analizado varios sistemas, se puede desarrollar una lista completa de las soluciones de diseño sostenible para sistemas de diferentes parámetros (Stokes., 2010). La comparación entre los diferentes sistemas que componen las PTAR dará como resultado el poder definir los sistemas menos perjudiciales para el medio ambiente (Hospido., 2007), aplicable a los municipios del Departamento de Santander con menos de 5.000 habitantes.

### 3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

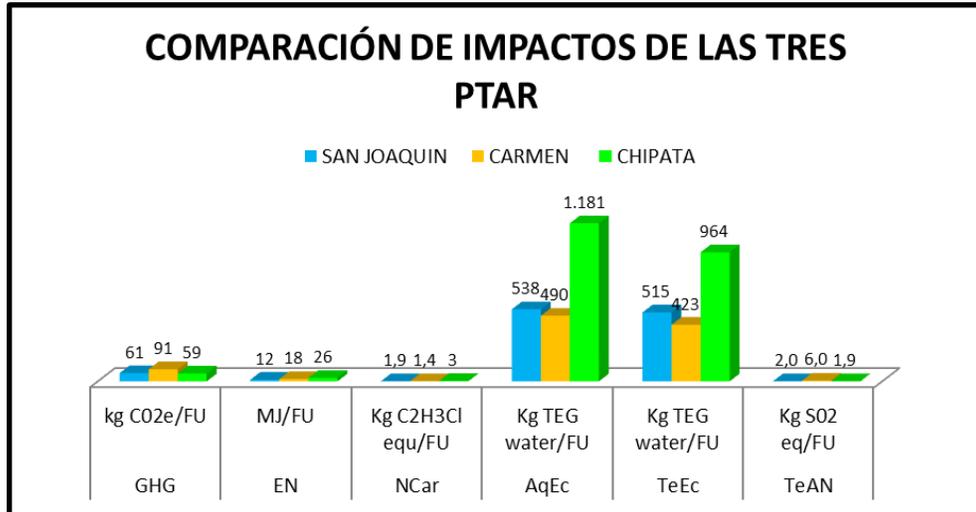
Después de cargar el software Wastewater Energy Sustainability Tool - WEST con los datos obtenidos y calculados de cada una de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual, los resultados obtenidos se proporcionan por unidad funcional, estos incluyen las siguientes categorías de impacto: gases de efecto invernadero (en equivalentes de CO<sub>2</sub>), la energía, los carcinógenos (cloroetileno [C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl] equivalentes), los no carcinógenos (equivalentes C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl), inorgánicos respiratorias (equivalentes PM<sub>2.5</sub>), el agotamiento del ozono (CFC-11 equivalentes), orgánicos respiratorias (etileno [C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>] equivalentes), la ecotoxicidad acuática (trietilenglicol [TEG] agua), ecotoxicidad terrestre (TEG), la acidificación del suelo acuático (equivalentes de SO<sub>2</sub>) y la eutrofización acuática (PO<sub>4</sub>-en un entorno de P-limitado). De estas categorías, el presente estudio analiza las siguientes:

- GHG: Gases efecto Invernadero
- EN: Energía
- NCar: Enfermedades No Carcinógenas
- AqEc: Ecotoxicidad Acuática
- TeEc: Ecotoxicidad Terrestre
- TeAn: Acidificación del Suelo

#### 3.1 COMPARACIÓN DE IMPACTOS DE LAS TRES PTAR ANALIZADAS

En la Ilustración No. 19 se grafican los valores de las categorías de impacto mencionadas de cada una de las PTAR analizadas con el fin de compararlas.

**Grafica 1. Comparación de Impactos de las Tres PTAR analizadas**



Fuente: Autor

**Tabla 7. PTAR con Mayor Impacto por Cada Categoría de Impacto**

CATEGORIA DE IMPACTO	PTAR CON MAYOR IMPACTO
GHG	CARMEN
EN	CHIPATA
NCar	CHIPATA
AqEc	CHIPATA
TeEc	CHIPATA
TeAN	CARMEN

Fuente: Autor

**Tabla 8. PTAR con Menor Impacto por Cada Categoría de Impacto**

CATEGORIA DE IMPACTO	PTAR CON MENOR IMPACTO
GHG	CHIPATA
EN	SAN JOAQUIN
NCar	CARMEN
AqEc	CARMEN
TeEc	CARMEN
TeAN	CHIPATA

Fuente: Autor

Como resultado al comparar los impactos de las tres PTAR, se tiene que la PTAR de San Joaquín presenta en promedio el mejor desempeño ambiental. La PTAR

del Carmen de Chucurí es la que menos impacto produce en las categorías NCar, AqEc y TeEc pero es la que mayor impacto tiene en GHG y TeAN. La PTAR de Chipatá es la que tiene un mayor impacto en la mayoría de las categorías.

### 3.2 APOORTE DE LAS ETAPAS DEL CICLO DE VIDA EN CADA CATEGORÍA DE IMPACTO

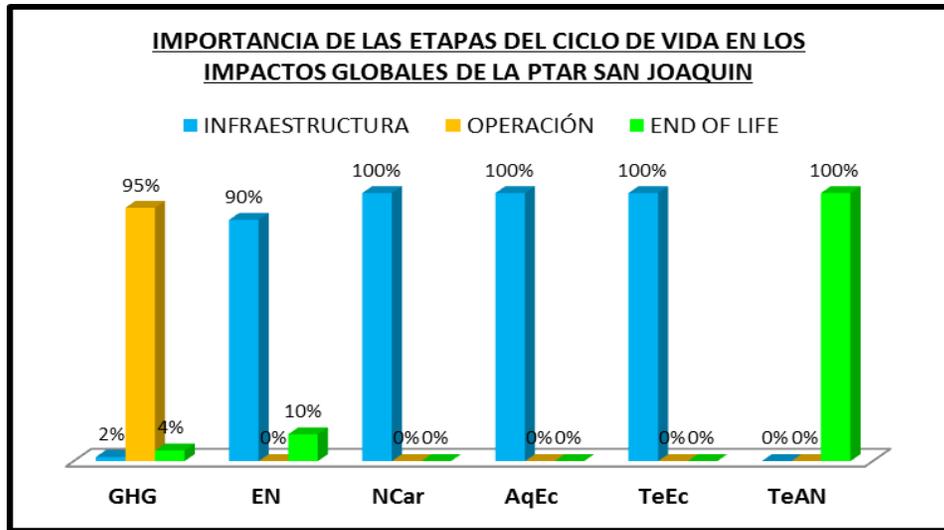
Otro resultado que se obtuvo a partir de este estudio fue el aporte que realiza cada etapa del ciclo de vida en cada una de las categorías de impacto, determinando así la importancia de cada etapa en cada categoría de impacto, en las Tablas 9, 10 y 11 y en las Ilustraciones 20, 21, y 22 se muestran los resultados mencionados.

**Tabla 9. Aporte Realizado por las Etapas del Ciclo de Vida en Cada Categoría de Impacto En la PTAR de San Joaquín**

<b>PTAR SAN JOAQUIN</b>	<b>CATEGORIA DE IMPACTO</b>	<b>INFRAESTRUCTURA</b>	<b>OPERACIÓN</b>	<b>END OF LIFE</b>	<b>TOTAL</b>
	<b>GHG</b> (Kg CO2 eq/FU)	947	57974	2423	61344
	<b>EN</b> (MJ/FU)	9	0	1	10
	<b>NCar</b> (Kg C2H3Cl eq/FU)	1935	0	0	1935
	<b>AqEc</b> (Kg TEG Water/FU)	537	0	0	537
	<b>TeEc</b> (Kg TEG Water/FU)	513	0	0	513
	<b>TeAN</b> (Kg SO2 eq/FU)	131	0	1957352	1957483
<b>PTAR SAN JOAQUIN</b>	<b>CATEGORIA DE IMPACTO</b>	<b>INFRAESTRUCTURA (%)</b>	<b>OPERACIÓN (%)</b>	<b>END OF LIFE (%)</b>	<b>TOTAL (%)</b>
	<b>GHG</b>	2%	95%	4%	100%
	<b>EN</b>	90%	0%	10%	100%
	<b>NCar</b>	100%	0%	0%	100%
	<b>AqEc</b>	100%	0%	0%	100%
	<b>TeEc</b>	100%	0%	0%	100%
	<b>TeAN</b>	0%	0%	100%	100%

Fuente: Autor

**Grafica 2. Importancia de las Etapas del Ciclo de Vida en los Impactos Globales de la PTAR de San Joaquín**



Fuente: Autor

**Tabla 10. Aporte realizado por las etapas del ciclo de vida en cada categoría de impacto En la PTAR del Carmen de Chucurí**

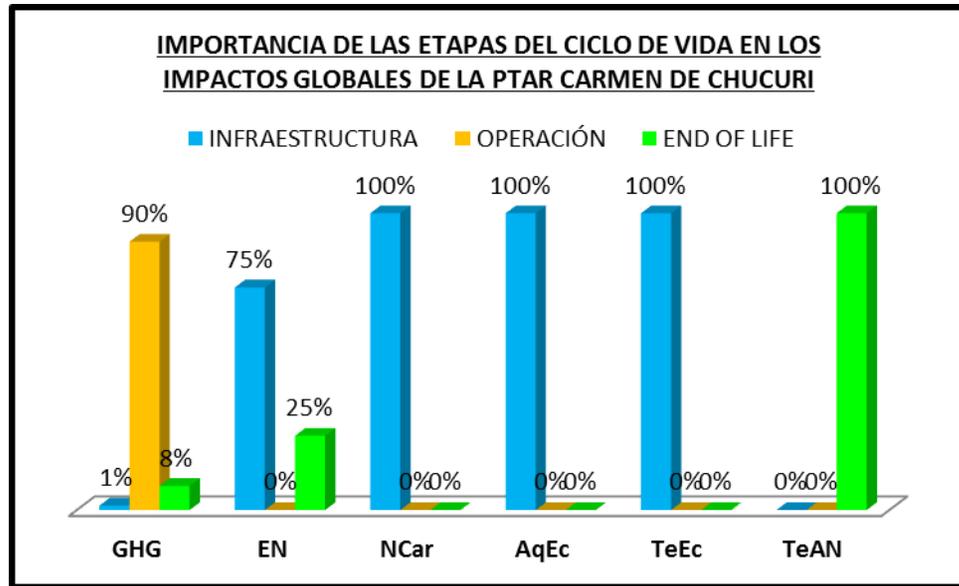
CARMEN DE CHUCURI	CATEGORIA DE IMPACTO	INFRAESTRUCTURA	OPERACIÓN	END OF LIFE	TOTAL
	<b>GHG</b> (Kg CO2 eq/FU)	1352	82250	7370	90972
	<b>EN</b> (MJ/FU)	12	0	4	16
	<b>NCar</b> (Kg C2H3Cl eq/FU)	1440	0	0	1440
	<b>AqEc</b> (Kg TEG Water/FU)	489	0	0	489
	<b>TeEc</b> (Kg TEG Water/FU)	422	0	0	422
	<b>TeAN</b> (Kg SO2 eq/FU)	148	0	5952618	5952766

CARMEN DE CHUCURI	CATEGORIA DE IMPACTO	INFRAESTRUCTURA	OPERACIÓN	END OF LIFE	TOTAL
	GHG	1%	90%	8%	100%
	EN	75%	0%	25%	100%
	NCar	100%	0%	0%	100%
	AqEc	100%	0%	0%	100%
	TeEc	100%	0%	0%	100%
	TeAN	0%	0%	100%	100%

Fuente: Autor

**Grafica 3. Importancia de las Etapas del Ciclo de Vida en los Impactos Globales de la PTAR del Carmen de Chucurí**



Fuente: Autor

**Tabla 11. Aporte Realizado por las Etapas del Ciclo de Vida en Cada Categoría de Impacto En la PTAR de Chipatá**

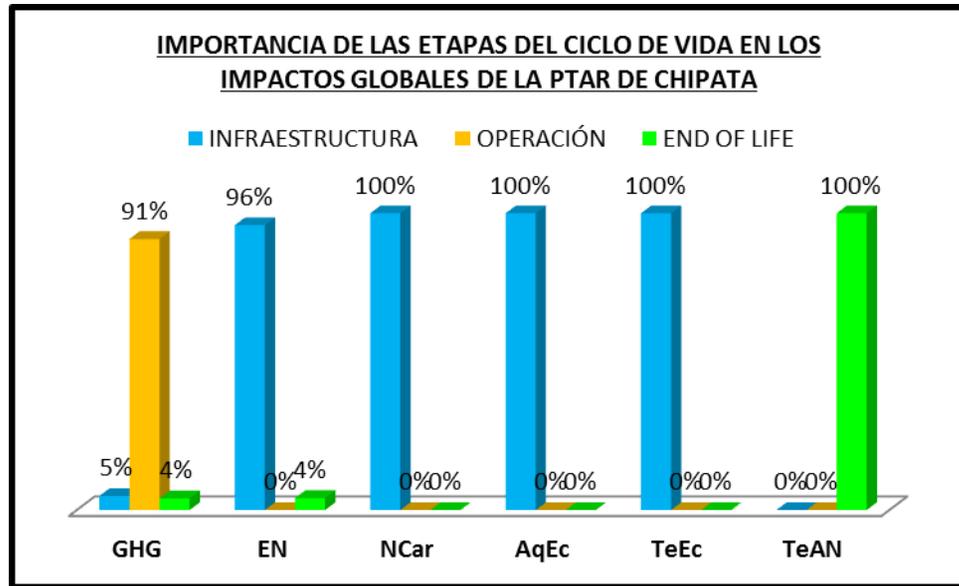
CHIPATÁ	CATEGORIA DE IMPACTO	INFRAESTRUCTURA	OPERACIÓN	END OF LIFE	TOTAL
	GHG	2784	53635	2297	58716
	EN	24	0	1	25
	NCar	3144	0	0	3144
	AqEc	1181	0	0	1181
	TeEc	962	0	0	962
	TeAN	322	0	1855873	1856195

CHIPATÁ	CATEGORIA DE IMPACTO	INFRAESTRUCTURA	OPERACIÓN	END OF LIFE	TOTAL
	GHG	5%	91%	4%	100%
	EN	96%	0%	4%	100%
	NCar	100%	0%	0%	100%
	AqEc	100%	0%	0%	100%
	TeEc	100%	0%	0%	100%
	TeAN	0%	0%	100%	100%

Fuente: Autor

**Grafica 4. Importancia de las Etapas del Ciclo de Vida en los Impactos Globales de la PTAR de Chipatá**



Fuente: Autor

Analizando los resultados obtenidos en las tres PTAR se concluye que:

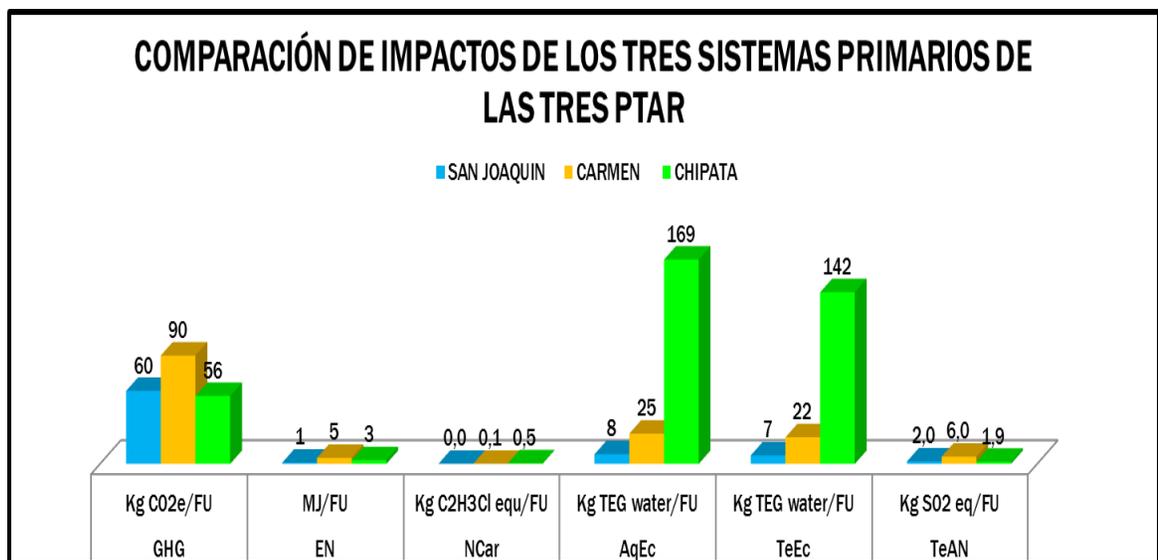
- La infraestructura es la etapa que aporta mayor impacto en 4 de las 6 categorías de impacto.
- La operación es la etapa de mayor aporte de impacto en la categoría de GHG.
- El fin de la vida útil es la etapa que aporta el 100% del impacto en la categoría de Acidificación del Suelo - TeAN en las tres PTAR.

### 3.3 ANÁLISIS DE CONTRIBUCIÓN

Después de comparar y analizar las tres PTAR como un todo, se continuó con la comparación de sistemas entre las diferentes unidades de cada PTAR

**3.3.1 Análisis Comparativo de los Sistemas Primarios de las Tres PTAR.** El análisis comparativo de los impactos de los sistemas primarios o preliminares de las tres PTAR en estudio, se muestra en la Ilustración 23. Los resultados de las PTAR con mayor y menor impacto por categoría se evidencian en la Tabla 12 y 13.

**Grafica 5. Comparación de Impactos de los Tres Sistemas Primarios de las Tres PTAR**



Fuente: Autor

**Tabla 12. Sistemas Primarios con Mayor Impacto por Cada Categoría**

CATEGORIA DE IMPACTO	PTAR CON MAYOR IMPACTO
GHG	CARMEN
EN	CARMEN
NCar	CHIPATA
AqEc	CHIPATA
TeEc	CHIPATA
TeAN	CARMEN

Fuente: Autor

**Tabla 13. Sistemas Primarios con Menor Impacto por Cada Categoría**

CATEGORIA DE IMPACTO	PTAR CON MENOR IMPACTO
GHG	CHIPATA
EN	SAN JOAQUIN
NCar	SAN JOAQUIN
AqEc	SAN JOAQUIN
TeEc	SAN JOAQUIN
TeAN	SAN JOAQUIN

Fuente: Autor

Como se observa en la Tabla 12 y 13 el sistema de tratamiento primario con mejor desempeño ambiental es el de la PTAR de San Joaquín.

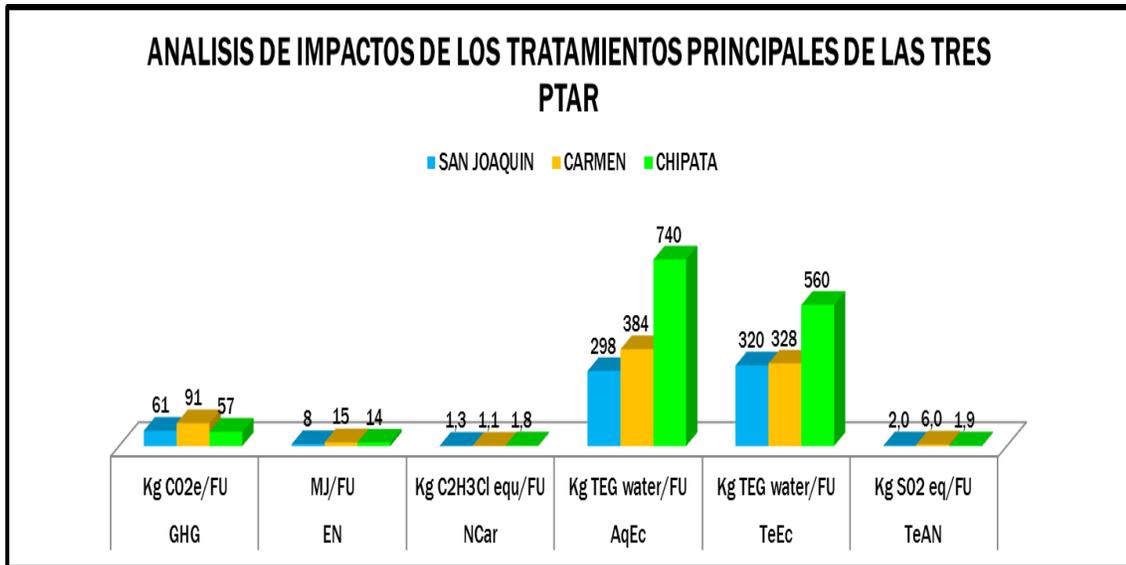
El tratamiento primario de la PTAR de Chipatá, resultó ser el de mayor impacto en tres categorías NCar, AqEc y TeEc, debido al exceso en la cantidad y uso de materiales utilizados en la construcción de su infraestructura. Se utilizó una estructura sobre diseñada para el caudal tratado (2lps) y además se derrocharon materiales de construcción en el tratamiento que ofrece menor remoción. La PTAR de San Joaquín que maneja un caudal de 1,8 lps utilizó una infraestructura mucho más sencilla y efectiva para el tratamiento preliminar y por eso es el tratamiento con mejor comportamiento ambiental.

### **3.3.2 Análisis Comparativo de los Sistemas Principales de las Tres PTAR.**

Después de comparar los tres sistemas preliminares se procedió a comparar los tratamientos principales de las tres PTAR.

El análisis comparativo de los impactos de los sistemas de tratamiento principales de las tres PTAR, se muestra en la Ilustración 24. Los resultados de las PTAR con mayor y menor impacto por categoría se evidencian en la Tabla 14 y 15.

**Grafica 6. Análisis de Impactos de los tratamientos principales de las tres PTAR**



Fuente: Autor

**Tabla 14. Tratamientos Principales de las PTAR, Con Mayor Impacto por Cada Categoría**

CATEGORIA DE IMPACTO	PTAR CON MAYOR IMPACTO
GHG	CARMEN
EN	CARMEN
NCar	CHIPATA
AqEc	CHIPATA
TeEc	CHIPATA
TeAN	CARMEN

Fuente: Autor

**Tabla 15. Tratamientos Principales Con Menor Impacto Por Cada Categoría**

CATEGORIA DE IMPACTO	PTAR CON MENOR IMPACTO
GHG	CHIPATA
EN	SAN JOAQUIN
NCar	CARMEN
AqEc	SAN JOAQUIN
TeEc	SAN JOAQUIN
TeAN	CHIPATA

Fuente: Autor

Como se observa en la tabla 14 y 15 el sistema el sistema de tratamiento principal con mejor desempeño ambiental es el de la PTAR de San Joaquín, ya que no aparece en ninguna de las categorías como la PTAR con mayor impacto, en cambio sí aparece como la PTAR con tratamiento primario que menos impacta en tres categorías (EN, AqEc y TeEc). Según lo mencionado el tanque de regulación combinado con el filtro anaeróbico resulto ser la mejor opción ambiental de los tres tratamientos principales. Las PTAR del Carmen de Chucurí y Chipatá que utilizan humedales resultaron ser las PTAR con mayor impacto en todas las categorías en su tratamiento principal, esto sin contar que la herramienta utilizada, WEST no incluye la predicción de emisiones de gases efecto invernadero en este tipo de sistemas de fitoremediación.

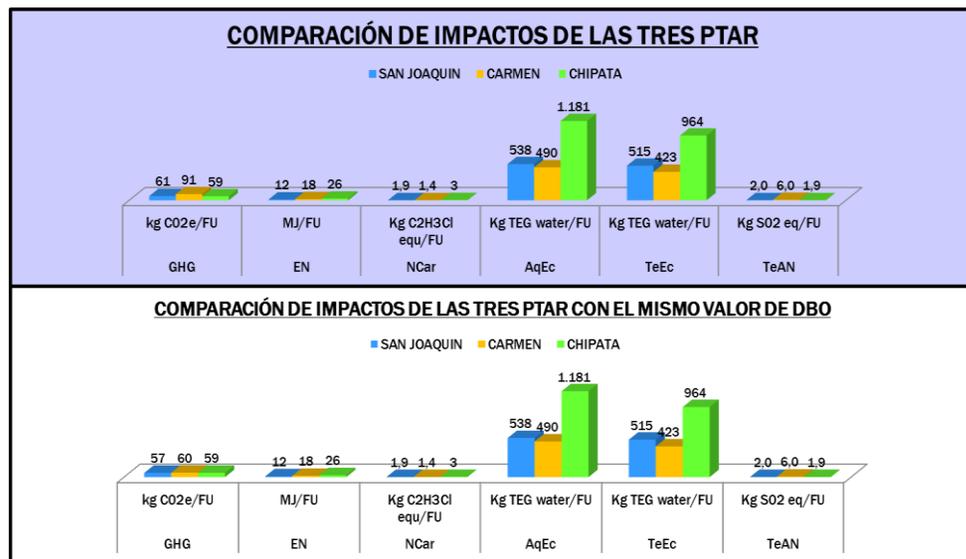
## 4. ANALISIS DE SENSIBILIDAD

Con la finalidad de obtener algunos resultados que permitan analizar las tres PTAR en estudio, se realizaron diferentes modificaciones en los datos de entrada de las PTAR en el Software WEST.

### 4.1. MODIFICACIÓN DE LA DBO

La primera modificación que se realizó fue manejar el mismo valor de DBO para las tres PTAR, la DBO que se utilizó para todas las PTAR fue de 264 mg/l la cual es la DBO real de la PTAR de Chipatá. Los resultados de este cambio realizado se muestran en la gráfica 7.

**Gráfica 7. Comparación de Impactos de las Tres PTAR con el Mismo Valor de DBO.**



Fuente: Autor

La gráfica 7. se encuentra dividida en dos, la parte superior muestra los resultados de la comparación de impactos de las tres PTAR en cada una de las categorías analizadas, sin realizar ningún cambio en los datos reales de las mismas. La parte inferior de la Ilustración 25, muestra los resultados de la comparación de impactos de las tres PTAR en cada una de las categorías analizadas con la misma DBO (264mg/l) para las tres PTAR.

Como se observa en los resultados obtenidos, al igualar el valor de la DBO, la PTAR del Carmen de Chucurí disminuye en gran manera su impacto en la categoría GHG, casi igualándose a las otras dos PTAR, esto debido a que la DBO del afluente de la PTAR del Carmen de Chucurí sobrepasa en una cantidad considerable a las otras dos PTAR analizadas. La DBO de la PTAR del Carmen de Chucurí es de 423 mg/l comparado con 284mg/l de San Joaquín y 264mg/l de Chipata. Se evidencia entonces el efecto directo que tiene la DBO del afluente sobre la categoría de impacto de Gases efecto invernadero GHG.

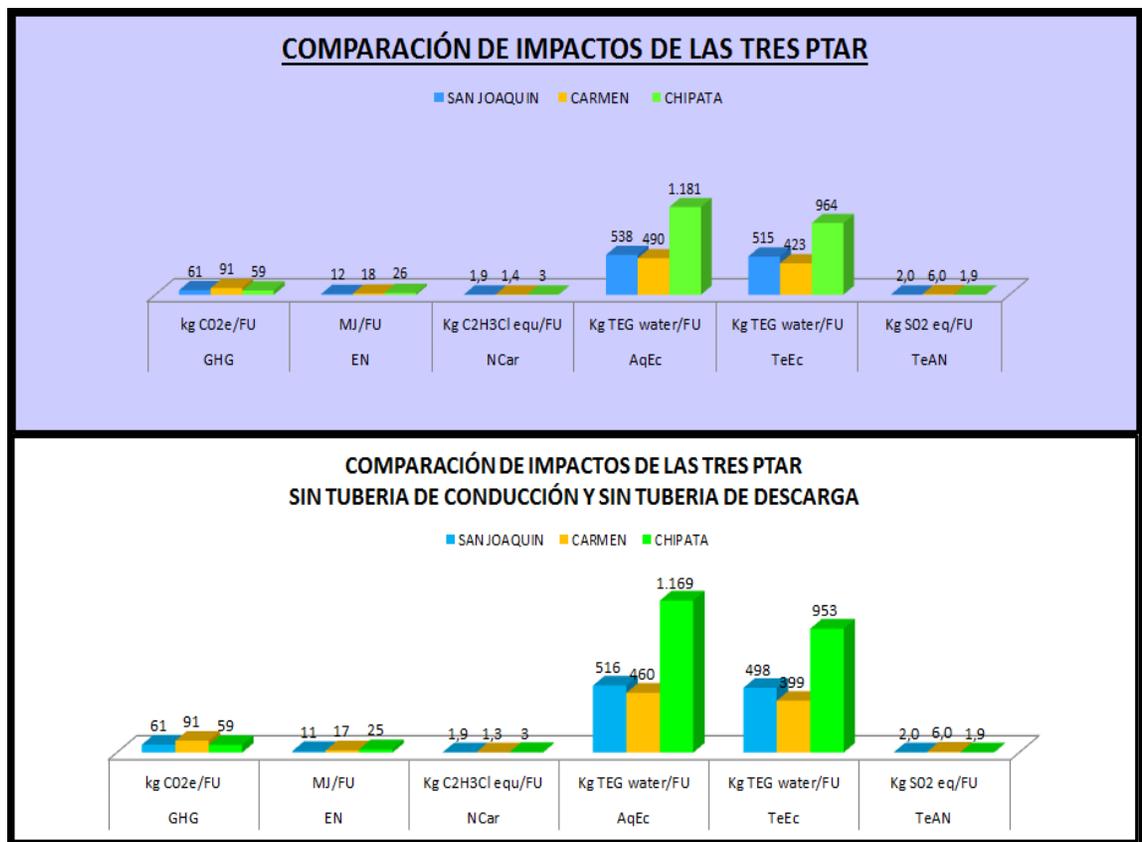
#### **4.2. MODIFICACIÓN LONGITUD DE COLECTORES Y TUBERÍA DE DESCARGA**

Continuando con la variación de datos de entrada para obtener resultados que permitan llevar a cabo análisis y conclusiones de importancia que resuelvan los objetivos planteados en este proyecto, se determinó quitar del análisis los colectores, es decir la tubería desde el último pozo del casco urbano del municipio hasta la entrada del afluente a la PTAR y la tubería de descarga es decir la tubería desde la salida el efluente de la PTAR hasta la entrega al cuerpo de agua.

Los resultados de no incluir en el análisis la longitud de colectores de todas las PTAR y las longitudes de tubería de descarga, se muestran en la gráfica 7..

La distancia de colectores reales de las tres PTAR son 90 metros para la PTAR de San Joaquín, 650 metros para la PTAR del Carmen de Chucurí y 60 metros para la PTAR de Chipatá. Las distancias de descarga de las PTAR son 50 metros para la PTAR de San Joaquín, 81,7 metros para la PTAR del Carmen de Chucurí y 30 metros para la PTAR de Chipatá.

**Grafica 8. Comparación de Impactos de las Tres PTAR Sin Incluir las Longitudes de Tubería en Colectores y Descarga.**



Fuente: Autor

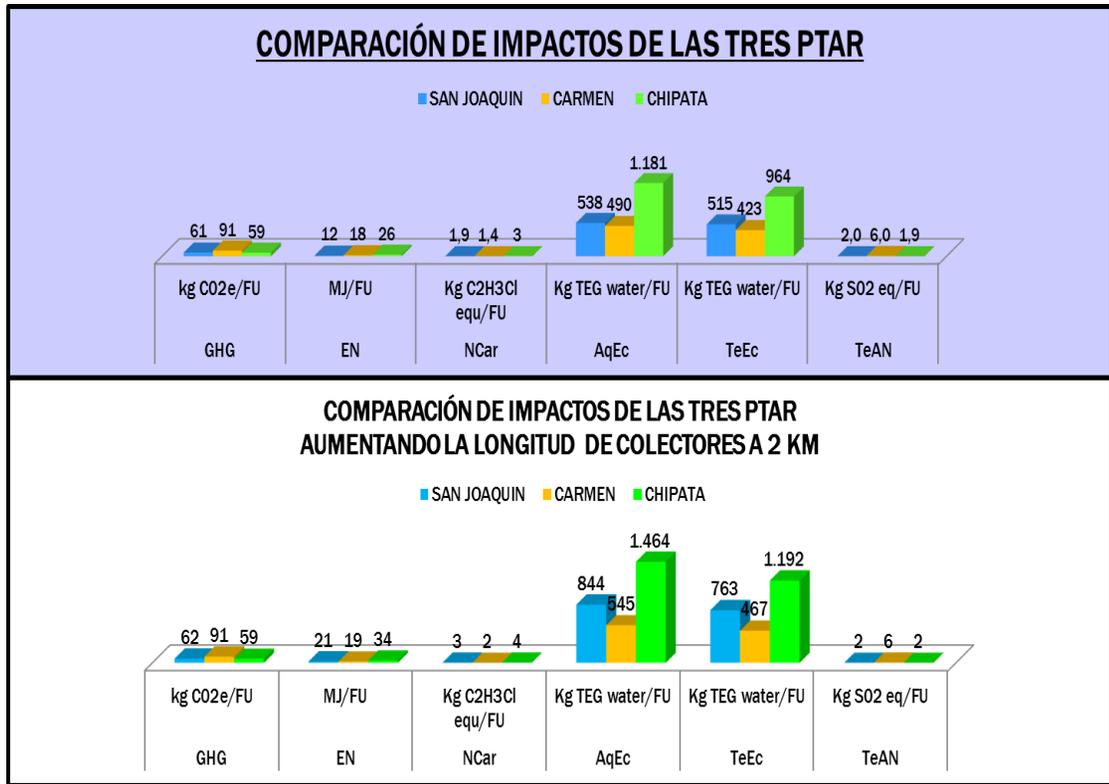
La gráfica 8.se encuentra dividida en dos, la parte superior muestra los resultados de la comparación de impactos de las tres PTAR en cada una de las categorías analizadas, sin realizar ningún cambio en los datos reales de las mismas. La parte inferior de la gráfica 8., muestra los resultados de la comparación de impactos de

las tres PTAR en cada una de las categorías analizadas excluyendo del estudio las tuberías de colectores y descarga.

Como se observa en los resultados obtenidos quitar la tubería de colectores y de descarga, disminuyeron los impactos en la mayoría de las categorías analizadas. Debido a que la longitud de tubería de colectores y descarga en las tres PTAR no son de grandes proporciones, los impactos disminuyen pero no en grandes cantidades, por lo tanto a en el siguiente análisis se debe aumentar la cantidad de tubería en cada una de las PTAR y evaluar su influencia en los impactos en cada categoría. Teniendo en cuenta lo anterior se determinó aumentar a dos kilómetros las longitudes de los colectores, es decir la distancia desde el último pozo del casco urbano del municipio hasta la entrada del afluente a la PTAR y en 100 metros la longitud de descarga es decir la distancia desde la salida el efluente de la PTAR hasta la entrega al cuerpo de agua.

Debido a que la tubería PVC de menor diámetro en el software WEST es de 12" y que la tubería real de las tres PTAR es de PVC de 8" se calculó la tubería equivalente de 12" para cada una de las PTAR en sus colectores y descarga, teniendo en cuenta las áreas de las secciones transversales de la tubería de 8" y las tubería de 12". Los resultados al cambiar la longitud de colectores de todas las PTAR a 2 kilómetros y las longitudes de descarga a 100 metros, se muestran en la gráfica 9.

**Grafica 9. Comparación de Impactos de las Tres PTAR Aumentando la Longitud de Colectores**



Fuente: Autor

La gráfica 9 se encuentra dividida en dos, la parte superior muestra los resultados de la comparación de impactos de las tres PTAR en cada una de las categorías analizadas, sin realizar ningún cambio en los datos reales de las mismas. La parte inferior de la Ilustración 26, muestra los resultados de la comparación de impactos de las tres PTAR en cada una de las categorías analizadas con longitud de colectores de 2 kilómetros y longitud de tubería de descarga de 100 metros en las tres PTAR.

Como se observa en los resultados obtenidos al aumentar la tubería de conducción a 2 km y la tubería de descarga en 100 ml en las tres PTAR, se aumentan considerablemente los impactos en la mayoría de las categorías

analizadas. Se concluye entonces la importancia de la localización de la PTAR en el diseño de la misma debido a que la distancia entre el casco urbano y la PTAR determina el uso de mayor o menor cantidad de tubería, la cual influye en la cuantificación del impacto global.

## **5. PROFUNDIZACIÓN DEL ESTUDIO**

El Software WEST, no estima los impactos producidos por humedales y dentro de sus categorías de impacto no se encuentran la producción de emisiones de Metano (CH<sub>4</sub>) y Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O).

### **5.1. CALCULO DE EMISIONES DE N2O Y CH4 EN LOS HUMEDALES DE LAS PTAR**

Como complemento a este estudio las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O producto de la operación de los humedales, fueron calculadas bajo la metodología definida por el IPCC de emisiones de humedales construidos para plantas de tratamiento de aguas residuales – PTAR. La metodología utilizada se encuentra en el documento denominado “2013 Supplement to the 2016 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Wetlands - Chapter 6”.

En el Anexo B se encuentran los cálculos de las emisiones de Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) y Metano (CH<sub>4</sub>), producidas por los humedales. En la tabla 16 se presentan los resultados del cálculo de las emisiones de óxido nitroso N<sub>2</sub>O en el humedal de la PTAR del Carmen de Chucurí y la PTAR de Chipatá, utilizando la metodología IPCC 2013.

**Tabla 16. Resultados de Emisiones de N2O en los humedales**

HUMEDAL	POBLACIÓN (Personas)	PROTEINA (Kg/Persona/Año)	FNPR (Kg N/ Kg Proteína)	FNO N-CON	FIN D-COM	N (Kg N/Año)	EF (Kg N2O-N/ Kg N)	Emisiones de N2O (Kg N2O / año)	Emisiones de N2O (g N2O / Habitante/año)
PTAR CARMEN DE CHUCURÍ	2220	59,85	0,16	1,1	1,25	29.230,7	0,0013	59,71	26,8
PTAR CHIPATÁ	650	59,85	0,16	1,1	1,25	8.558,5	0,0013	17,48	26,8

Fuente. Autor

En lo referente a la emisión de Óxido Nitroso N2O, la PTAR del Carmen de Chucuri emite a la atmosfera 59,71 Kg de N2O / año y la PTAR de Chipatá emite 17,48 Kg de N2O / año. En la Tabla 17 se presenta los resultados del cálculo de producción Metano (CH4) en los humedales de las PTAR de Carmen De Chucurí y Chipatá utilizando la metodología IPCC 2013.

**Tabla 17. Resultados de Emisiones de CH4 en los humedales**

HUMEDAL	P (Personas)	DBO (gr /Persona /día)	I	TOW (Kg DBO / Año)	BO (Kg CH4 / Kg DBO)	MC F	EF (Kg CH4/ Kg DBO)	EMISION DE CH4 (Kg CH4/año)	EMISIÓN DE CH4 (g CH4/habitante/Año)
PTAR CARMEN DE CHUCURÍ	2.220	40	1.0	32.412	0,6	0,1	0,06	1.944,72	876
PTAR CHIPATÁ	650	40	1.0	9.490	0,6	0,01	0,006	56,94	87,6

Fuente. Autor

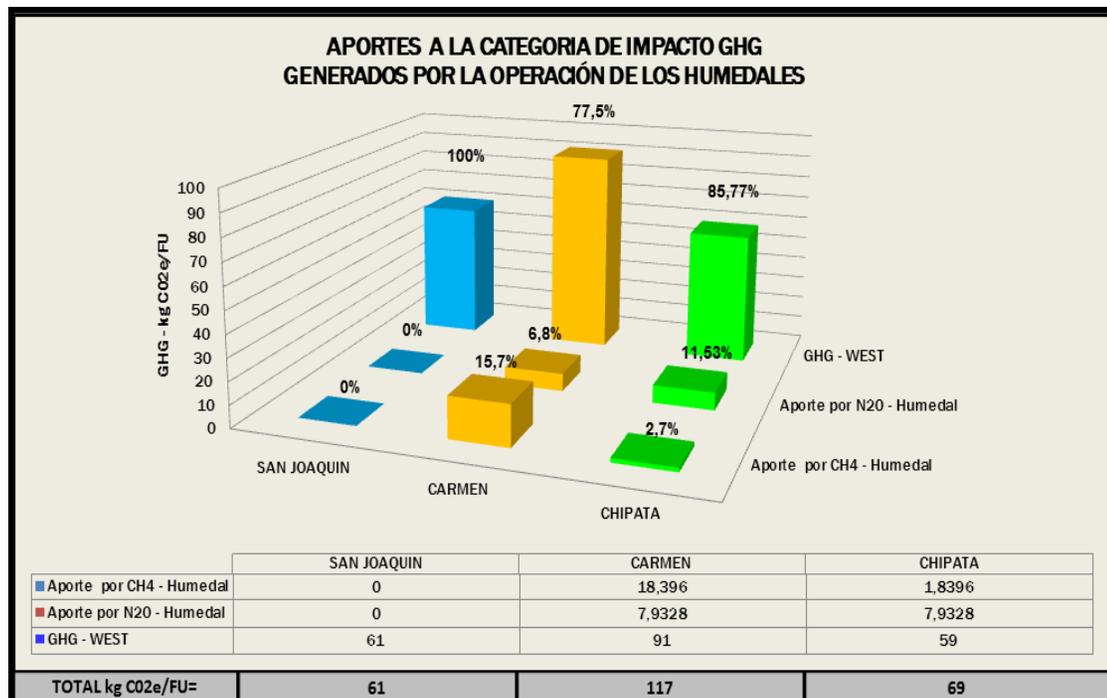
Lo anterior muestra que el humedal de la PTAR del Carmen de Chucurí emite diez veces más metano (CH4) / habitante a la atmosfera que la PTAR de Chipata,

esto se debe al tipo de humedal, ya que el humedal del Carmen de Chucurí es de flujo horizontal y el humedal de Chipatá es de flujo vertical.

## 5.2 COMPARACIÓN DE IMPACTOS DE LAS TRES PTAR INCLUYENDO LA GENERACIÓN DE GASES EFECTO INVERNADERO (CH4 Y N2O) DE LOS HUMEDALES

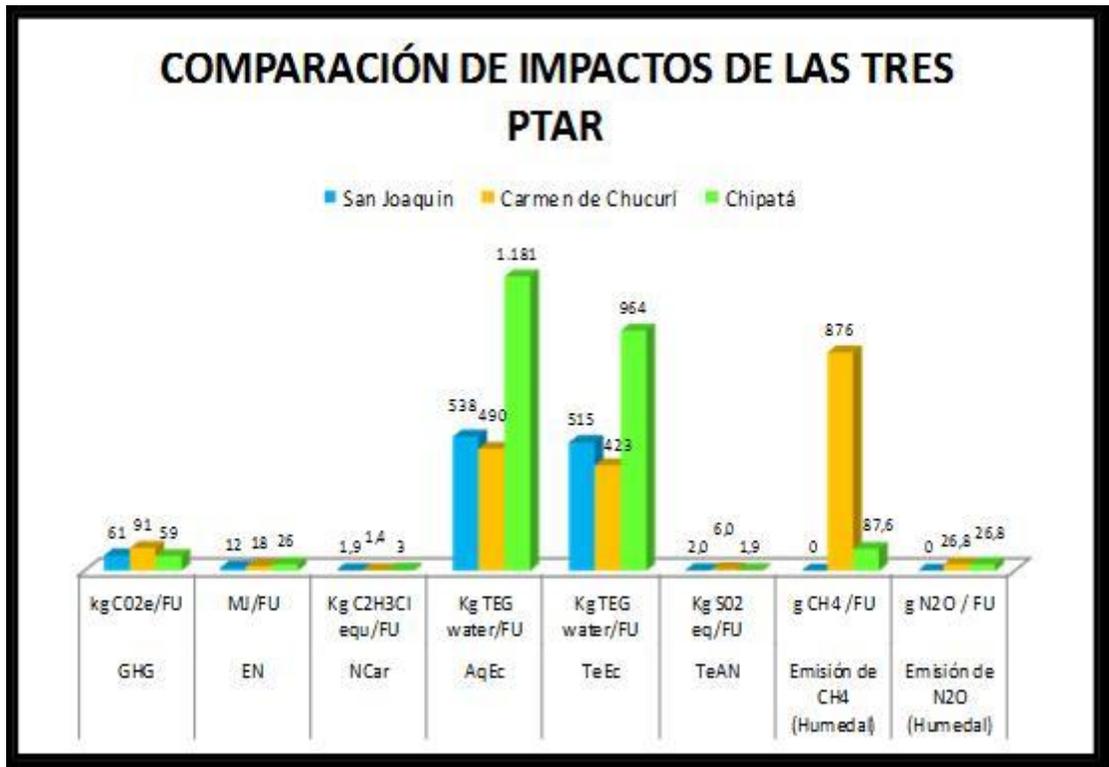
Complementando el análisis en la categoría de impacto de gases efecto invernadero – GHG se crearon aportes adicionales de los que arrojó el software WEST, una de emisión de metano (CH4) y otra de emisión de Óxido Nitroso (N2O). Teniendo en cuenta lo anterior se elaboró la ilustración 28 donde se muestra la comparación de impacto en producción de gases efecto invernadero - GHG de las tres PTAR.

**Grafica 10. Comparación de impactos de las tres PTAR incluyendo la generación de gases efecto invernadero (CH4 y N2O) de los humedales.**



Teniendo en cuenta el análisis complementario y los aportes generados por los humedales en la generación de gases efecto invernadero, en la ilustración 29 se muestra la comparación de impactos de las tres PTAR en todas las categorías de impacto analizadas.

**Grafica 11. Resultados del análisis de impactos incluyendo la generación de gases efecto invernadero (CH4 y N2O) de los humedales**



**Tabla 18. PTAR con mayor impacto por cada categoría de impacto**

CATEGORIA DE IMPACTO	PTAR CON MAYOR IMPACTO
GHG	CARMEN
EN	CHIPATA
Ncar	CHIPATA

CATEGORIA DE IMPACTO	PTAR CON MAYOR IMPACTO	
AqEc	CHIPATA	
TeEc	CHIPATA	
TeAN	CARMEN	
CH4 (Humedal)	CARMEN	
N2O (Humedal)	CARMEN	CHIPATA

Fuente: Autor

**Tabla 19. PTAR con Menor Impacto por Cada Categoría de Impacto Incluyendo Generación de CH4 y N2O Debido a la Operación de los Humedales**

CATEGORIA DE IMPACTO	PTAR CON MENOR IMPACTO
GHG	SAN JOAQUIN
EN	SAN JOAQUIN
Ncar	CARMEN
AqEc	CARMEN
TeEc	CARMEN
TeAN	CHIPATA

Fuente: Autor

**Tabla 20. PTAR con Mayor Impacto por Cada Categoría de Impacto Incluyendo Generación de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O Debido a la Operación de los Humedales**

CATEGORIA DE IMPACTO	PTAR CON MAYOR IMPACTO
GHG	CARMEN
EN	CHIPATA
Ncar	CHIPATA
AqEc	CHIPATÁ
TeEc	CHIPATÁ
TeAN	CARMEN

Fuente: Autor

La Grafica 11 y la Tabla 19 muestran que los análisis complementarios de emisión de gases efecto invernadero generados en los humedales, confirman aún más que la PTAR con mayor impacto en la categoría de gases efecto invernadero es la PTAR del Carmen de Chucurí, con la mayor generación de CO<sub>2</sub> equivalente y metano CH<sub>4</sub> en el humedal. Sin embargo esta PTAR se considera la segunda con menor impacto global después de la PTAR de San Joaquín. La PTAR de Chipatá fue la que obtuvo el último lugar como la PTAR con menor desempeño ambiental de las tres analizadas.

## 6. CONCLUSIONES

- Al realizar la comparación de impactos de las tres PTAR se encontró que la PTAR de San Joaquín construida en su totalidad en concreto, en promedio tuvo un comportamiento ambiental más amigable que las otras dos PTAR, debido al uso adecuado de materiales en su infraestructura. Se evidencio que las PTAR del Carmen de Chucurí y Chipatá que utilizaron como tratamiento terciario los humedales, fueron las PTAR que presentan mayor impacto en todas las categorías, por lo que se puede atribuir que el uso de humedales genera aumento en los impacto globales de las PTAR, contaminando principalmente el aire y magnificando las emisiones de gases efecto invernadero.
- La infraestructura es la etapa que aporta mayor impacto en las categorías de Energía, No carcinógenos, Ecotoxicidad Acuática y Ecotoxicidad Terrestre, es decir cuatro de las seis categorías de impacto estudiadas. La operación es la etapa de mayor aporte de impacto en la categoría de Gases Efecto Invernadero.
- Según los resultados del estudio, El fin de la vida útil es la etapa que aporta el 100% del impacto en la categoría de Acidificación del Suelo - TeAN en las tres PTAR. Esto debido a que WEST no analiza la influencia que tiene los impactos generados por la operación de los humedales. En este sentido WEST presenta oportunidades de mejora.
- La demanda bioquímica de Oxígeno - DBO es directamente proporcional al impacto generado en la categoría de generación de gases efecto invernadero y es la única categoría que varía con su modificación.

- Según los resultados de WEST, la localización de la PTAR referente al casco urbano y al cuerpo de agua receptor, influye considerablemente en la cuantificación de los impactos en las categorías de Consumo de Energía, Enfermedades No Carcinógenas, Ecotoxicidad Acuática y Ecotoxicidad Terrestre, debido al aumento o disminución de la cantidad de tubería utilizada en los colectores y la descarga.
- En los diseños de plantas de tratamiento de aguas residuales se deben optimizar el uso de materiales en cada uno de los elementos que componen el tratamiento ya que el uso exagerado de insumos puede hacer que una PTAR sea ambientalmente inviable, como fue el caso de la PTAR de Chipatá, que en este estudio mostro el peor desempeño de las tres PTAR analizadas.
- La combinación del tanque de regulación con el filtro anaeróbico de San Joaquín resulto la mejor opción ambiental a utilizar en la comparación de estas tres PTAR, la segunda mejor opción fue el Sistema de tratamiento de aguas residuales en fases alternas - SITARFA utilizado en la PTAR del Carmen de Chucurí. El reactor a flujo pistón de la PTAR de Chipatá combinado con el humedal artificial resulto ser el sistema de mayor impacto en la mayoría de las categorías, por el uso excesivo de materiales como fue el caso del tratamiento primario y además el uso de los tres reactores de 50.000 litros de capacidad para un caudal pequeño de 2lps.

## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las Autoridades Ambientales como la CAS y la CDMB que realicen estudios en el área de influencia de las PTAR analizadas, con el fin de determinar si existe atribución a las PTAR de enfermedades no carcinógenas y en su debido caso, establecer mecanismos de prevención y defensa en contra de las mismas.
- WEST presenta oportunidades de mejora en el sentido de incluir un análisis específico para el uso de humedales ya que no considera los impactos operaciones que estos generan. A los diseñadores de WEST se recomienda incluir en la herramienta materiales como ladrillo, mortero y elementos fabricados con polímeros como el Poliéster, y fibras de vidrio, también la inclusión de láminas y elementos metálicos y toda clase de cubiertas y tejas, esto con el fin de no realizar una valoración económica de tales elementos sino incluirlos directamente en una unidad de medida adecuada para cada una de ellas.
- Referente al uso del Sistema de tratamiento de aguas residuales en fases alternas - SITARFA utilizado en la PTAR del Carmen de Chucurí, Se recomienda para futuras implementaciones utilizar un tratamiento terciario diferente al humedal para obtener un mejor comportamiento ambiental global.
- Teniendo en cuenta la PTAR de Chipatá y su comportamiento ambiental global, se recomienda para futuras implementaciones utilizar un tratamiento primario más acorde a las necesidades del sistema sin el uso excesivo de materiales. Además se recomienda el uso de un tratamiento terciario diferente al humedal. En cuanto al uso de reactores de flujo pistón, debe cuantificarse el

número de reactores realmente necesarios para llevar a cabo el tratamiento del caudal requerido.

- A las Autoridades Ambientales se les recomienda requerir en los estudios y diseños de aprobación para la construcción de las PTAR, una metodología de cuantificación de impactos diferenciada por etapas del ciclo de vida y priorizar los impactos más relevantes en cada etapa del ciclo, que permitan comparar y seleccionar los diferentes sistemas que compondrán las futuras Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Santander.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

BRAVO, L. Análisis del ciclo de vida de la PTAR del bajo Llobregat. Universidad Politecnica de Cataluña. 2009

CHACON, J. Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV). Revista Escuela Colombiana de Ingeniería. 72 : 37 -70. 2008

DIXON, A., SIMON, M., BURKITT, P.. Assessing the environmental impact of two options for small-scale wastewater treatment comparing a reedbed and an aerated biological filter using a life cycle approach. University Sheffield Hallam. 2003

EISS et al. Environmental systems analysis of four on-site wastewater treatment options Resour. Conserv. Recycl. 52, 1153-1161. 2008

FLOREZ, A., BUCLEY, C., FENNER, R.. Selecting sanitation systems for sustainability in developing countries. Cambridge University and University of Kwazulu-Natal. 2009

GALLEGO et al. Environmental performance of wastewater treatment plants for small population. University of Santiago de Compostella , Spain. 2008

GUERECA, L. Desarrollo de una metodología para la valoración en el análisis del ciclo de vida aplicada a la gestión integral de residuos municipales. Universidad Politecnica de Cataluña. 2006

HOSPIDO, A., MOREIRA, M., FEIJOO, G. A comparison of municipal wastewater treatment plants for big centres of population in Galicia (Spain). University of Santiago de Compostella , Spain. 2008

IPCC., Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. 2013

MELS et al. Sustainability criteria as a tool in the development of new sewage treatment methods. Wageningen Agricultural University, Delft University of Technology, Netherlands. 1999

MENESES, A., VERGARA, W., HANAKI, K., DOORN, M., HERNÁNDEZ, E., GRYSHEK, M., GRUNWALDT, A. & DEEB, A. Application of the Clean Mechanisms in the Sanitation Sector: “Proof of Concept”. Clean: Soil, Air, Water, Vol. 36 No 9., p. 788 – 797. 2008

RODRIGUEZ et al.,. Environmental and economic profile of six typologies of wastewater treatment plants. University of Santiago de Compostella, University of Valencia. 2011

ROELEVED et al. Sustainability of municipal wastewater treatment. Wageningen Agricultural University. 1997

UNICEF., MAVDT., DNP., La Infancia, El Agua y El Saneamiento Básico En Los Planes De Desarrollo Departamentales y Municipales, Vol. 1. P- 31 - 55. 2007

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Progress on Drinking Water and Sanitation. 2012

**ANEXO A.INFORMACIÓN DIGITAL CON LOS DISEÑOS, PLANOS,  
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS, MEMORIAS DE CÁLCULO DE LOS DATOS  
DE ENTRADA DE LAS TRES PTAR PARA EL USO DE LA HERRAMIENTA  
WEST Y RESULTADOS COMPARATIVOS DEL SOFTWARE WEST PARA LAS  
TRES PTAR**

(ver cd anexo)

## ANEXO B. CALCULO DE PRODUCCIÓN DE OXIDO NITROSO (N<sub>2</sub>O) Y METANO (CH<sub>4</sub>) EN LOS HUMEDALES DE LAS PTAR

### 4.6.1 Calculo de Metano (CH<sub>4</sub>) para Humedales Construidos para PTAR

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \text{TOW} * \text{EF}$$

Dónde:

- TOW: Es la cantidad de orgánicos en las aguas residuales domesticas tratados en el humedal (Kg DBO / Año)
- EF: Es el Factor de emisión del humedal (Kg CH<sub>4</sub>/ Kg DBO)

$$\text{TOW} = \text{P} * \text{DBO} * \text{I} * 0,001 * 365$$

Dónde:

- P: Es la Población atendida por la PTAR
- DBO: Es la DBO per cápita de la localidad o país donde se construyó la PTAR
- I: Es el factor de corrección por descarga de DBO industrial

Para nuestro estudio, se utilizó la DBO per cápita para América Latina la cual es de 40 g DBO/persona/día según las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de efecto invernadero como se muestra en la Tabla 16.

## Valores De DBO Estimado Para Aguas Residuales Domésticas Por Regiones Y Países

VALORES DE DBO5, ESTIMADO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS POR REGIONES Y PAISES			
PAIS/REGION	DBO5 (gr/Persona/día)	Intervalo	Referencia
África	37	35 - 75	Doorn y Liles (1999)
Egipto	34	27 - 41	Doorn y Liles (1999)
Asia, Oriente Medio, América latina	40	35 - 45	Doorn y Liles (1999)
India	34	27 - 41	Doorn y Liles (1999)
Cisjordania y Franja de Gaza (Palestina)	50	32 - 68	Doorn y Liles (1999)
Japón	42	40 - 45	Doorn y Liles (1999)
Brasil	50	45 - 55	Feachem et al (1983)
Canadá, Europa, Rusia, Oceanía	60	50 - 70	Doorn y Liles (1999)
Dinamarca	62	55 - 68	Doorn y Liles (1999)
Alemania	62	55 - 68	Doorn y Liles (1999)
Grecia	57	55 - 60	Doorn y Liles (1999)
Italia	60	49 - 60	Masotti (1996)
Suecia	75	68 - 82	Doorn y Liles (1999)
Turquía	38	27 - 50	Doorn y Liles (1999)
Estados Unidos	85	50 - 120	Metcalfe y Eddy (2003)

Fuente: Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de efecto invernadero

$$EF = B_o * MCF$$

Dónde:

B<sub>o</sub>: Es la capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub> (Kg CH<sub>4</sub> / Kg DBO)

MCF: Fracción de corrección para el metano

Debido a la insuficiencia de datos en nuestro país, no se cuenta con B<sub>o</sub> específica para Colombia, por lo tanto según la metodología del IPCC denominada "directrices para los inventarios de gases efecto invernadero en humedales construidos para tratamiento de aguas residuales", si los datos específicos de cada país no están disponibles, se pueden utilizar los siguientes valores por

defecto. Las Directrices del IPCC de 2006 proporcionan valores por defecto Bo para uso doméstico e industrial de aguas residuales: 0,6 kg CH<sub>4</sub> / kg de DBO.

El MCF indica el grado en que la capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub> (Bo) se lleva a cabo en cada tipo de Humedal. Es un indicador del grado en el cual el sistema es anaeróbico. El MCF propuesto para humedales construidos se proporciona en la Tabla 17 y deriva de un análisis del IPCC basado en la literatura de las tasas de conversión de CH<sub>4</sub>.

#### Factor De Corrección (MCF) Por Tipo De Humedal Construido

MCF FACTOR DE CORRECCIÓN DE METANO POR TIPO DE HUMEDAL CONSTRUIDO		
TIPO DE HUMEDAL	MCF	RANGO
FLUJO SUPERFICIAL	0.4	0.08 - 0.7
FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL	0.1	0.07 - 0.13
FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL	0.01	0.04 - 0.016

Fuente: IPCC “2013 Suplemento de las Directrices 2006 para los Inventarios de Gases Efecto Invernadero en Humedales”

Estos valores MCF se basan en datos de mediciones reales bajo diferentes condiciones de operativas y ambientales por lo tanto, factores tales como tipos de vegetación y efecto de la temperatura fueron tenidos en cuenta.

#### 4.6.1.1 Calculo de Emisiones de CH<sub>4</sub> en la PTAR del Carmen de Chucurí

$$EF = Bo * MCF$$

Bo = 0,6 kg CH<sub>4</sub> / kg de DBO

MCF = 0.1 Humedal Carmen (Flujo Subsuperficial Horizontal)

EF **Carmen Chucurí** = 0,6 kg CH<sub>4</sub> / kg de DBO \* 0.1

**EF Carmen Chucurí = 0,06 kg CH<sub>4</sub> / kg de DBO**

$$\text{TOW} = P * \text{DBO} * I * 0,001 * 365$$

P Carmen Chucurí = 2.220 personas

DBO = 40 g DBO/persona/día

I = 1.0

$$\text{TOW} = 2.220 \text{ personas} * 40 \text{ g DBO/persona/día} * 0,001 * 365$$

**Carmen Chucurí**

$$\text{TOW} = \underline{\underline{32.412 \text{ kg/DBO/año}}}$$

**Carmen Chucurí**

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \text{TOW} * \text{EF}$$

Emisión de CH<sub>4</sub> = TOW \* EF

Carmen Chucurí

Emisión de CH<sub>4</sub> = 32.412 kg/DBO/año \* 0,06 kg CH<sub>4</sub>/kg de DBO

Carmen Chucurí

**Emisión de CH<sub>4</sub> = 1.944,72 Kg CH<sub>4</sub>/año**

**Carmen Chucurí**

#### 4.6.1.2 Calculo de Emisiones de CH<sub>4</sub> en la PTAR de Chipatá

$$\text{EF} = \text{Bo} * \text{MCF}$$

Bo = 0,6 kg CH<sub>4</sub> / kg de DBO

MCF = 0.01 Humedal Chipatá (Flujo Subsuperficial Vertical)

EF Chipatá = 0,6 kg CH<sub>4</sub> / kg de DBO \* 0,01

**EF Chipatá = 0,006 kg CH<sub>4</sub> / kg de DBO**

$$\text{TOW} = P * \text{DBO} * I * 0,001 * 365$$

P= 650 personas

DBO = 40 g DBO/persona/día

I = 1.0

TOW Chipatá = 650 personas \* 40 g DBO/persona/día \* 0,001 \* 365

**TOW Chipatá = 9.490 kg/DBO/año**

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \text{TOW} * \text{EF}$$

Emisión de CH<sub>4</sub> = TOW \* EF

Chipatá

Emisión de CH<sub>4</sub> = 9.490 kg/DBO/año \* 0,006 kg CH<sub>4</sub> / kg de DBO

Chipatá

**Emisión de CH<sub>4</sub> = 56,94 Kg CH<sub>4</sub>/año**

**Humedal Chipatá**

#### **4.7. Calculo de Emisión de Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) en Humedales**

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = N * \text{EF} * 44/28$$

Dónde:

- N: Es el Nitrógeno en el agua residual que ingresa al humedal (Kg N/Año)
- EF: Es el Factor de emisión del humedal (Kg N<sub>2</sub>O-N/ Kg N)

El factor de emisión EF por defecto para el N<sub>2</sub>O emitida por aguas residuales domésticas tratados en humedales es de 0.0013 kg N<sub>2</sub>O-N / kg N.

$$N = \text{Proteína} * \text{FNPR} * \text{FNON-CON} * \text{FIND-COM}$$

Dónde:

- Proteína: Consumo per cápita anual de proteína (Kg/Persona/Año)
- FNPR: Fracción de Nitrógeno en proteína (Por defecto es 0.16 Kg N/ Kg Proteína según IPCC)
- FNON-CON: Factor del no consumo de nitrógeno disuelto en el agua residual (por defecto es 1.1 para los países sin trituradores de basura, 1,4 para los países con trituradores de basura tal como figura en las Directrices del IPCC de 2006)
- FIND-COM: Factor por descarga en el sistema de alcantarillado de nitrógeno proveniente de aguas industriales y comerciales (por defecto es 1.25 como se da en 2006 Directrices del IPCC)

En la Tabla 18 se muestra el consumo per cápita de proteína para el caso particular de Colombia en el último año reportado (2013).

### Consumo de Las Principales Proteínas en Colombia Año 2013

CONSUMO DE LAS PRINCIPALES PROTEINAS EN COLOMBIA AÑO 2013				
KG/AÑO				
PESCA + ACUICULTURA	POLLO	CARNE DE RES	CARNE DE CERDO	TOTAL
6	27,1	20	6,75	59,85

Fuente: Fedegan, Fenavi, Porcicol, Fao

#### 4.7.1 Calculo De Nitrogeno Generado Por El Humedal De La PTAR Del Carmen De Chucurí

**Nitrogeno** = P \* Proteína \* FNPR \* FNON-CON \* FIND-COM  
**Carmen Chucurí**

P= 2.220 personas

Proteína = 59,85 kg/persona/ año

FNPR = 0.16 kg N / kg

FNON-CON = 1.1

FIND-COM = 1.25

**Nitrogeno** = 2.220 Personas\*59,85 kg/Persona/ año\*0.16 kg N / kg\* 1.1 \* 1.25  
**Carmen Chucurí**

**Nitrogeno = 29.230,74 KG N/ año**  
**Carmen Chucurí**

#### 4.7.2 Calculo de Emisiones de Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) del Humedal de la PTAR del Carmen de Chucurí

**Emisiones de N<sub>2</sub>O** = N \* EF \* 44/28  
**Carmen Chucurí**

**EF Para humedales construidos** = 0.0013 kg N<sub>2</sub>O-N / kg N

**Emisiones de N<sub>2</sub>O** = 29.230,74 KG N/ año \* 0.0013 kg N<sub>2</sub>O-N / kg N \* 44/28  
**Carmen Chucurí**

**Emisiones de N<sub>2</sub>O = 59,71 KG N<sub>2</sub>O / año**  
**Carmen Chucurí**

#### 4.7.3 Calculo de Nitrogeno Producido por el Humedal de la Ptar de Chipatá

$$\text{Nitrogeno} = P * \text{Proteina} * \text{FNPR} * \text{FNON-CON} * \text{FIND-COM}$$

**Carmen Chucurí**

$$P = 650 \text{ personas}$$

$$\text{Proteína} = 59,85 \text{ kg/persona/ año}$$

$$\text{FNPR} = 0.16 \text{ kg N / kg}$$

$$\text{FNON-CON} = 1.1$$

$$\text{FIND-COM} = 1.25$$

$$\text{Nitrogeno} = 650 \text{ Personas} * 59,85 \text{ kg/Persona/año} * 0.16 \text{ kg N / kg} * 1.1 * 1.25$$

**Carmen Chucurí**

$$\text{Nitrogeno} = 8.558,55 \text{ KG N/ año}$$

**Carmen Chucurí**

#### 4.7.4 Calculo de Emisiones de Óxido Nitroso (N2O) del Humedal de la PTAR de Chipatá

$$\text{Emisiones de N2O} = N * \text{EF} * 44/28$$

**Chipatá**

$$\text{EF Para humedales construidos} = 0.0013 \text{ kg N2O-N / kg N}$$

$$\text{Emisiones de N2O} = 8558,55 \text{ KG N/ año} * 0.0013 \text{ kg N2O-N / kg N} * 44/28$$

**Chipatá**

$$\text{Emisiones de N2O} = 17,48 \text{ KG N2O / año}$$

**Chipata**

Según los resultados anteriores el humedal de la PTAR del Carmen de Chucurí emite 1.944,72 Kg CH<sub>4</sub>/año y el humedal de la PTAR de Chipatá emite 56,94 Kg de CH<sub>4</sub>/año.

Si calculamos la emisión de CH<sub>4</sub> por habitante de cada municipio tenemos:

- Humedal Carmen de Chucurí = 1.944,72 Kg CH<sub>4</sub>/año / 2220 habitantes  
**Humedal Carmen de Chucurí = 0,876 Kg CH<sub>4</sub> / Habitante / año**
- Humedal Chipatá = 56,94 Kg de CH<sub>4</sub>/año / 650 habitantes

**Humedal Chipatá = 0,0876 Kg CH<sub>4</sub> / Habitante / año**

Lo anterior muestra que el humedal de la PTAR del Carmen de Chucurí emite diez veces más metano (CH<sub>4</sub>) / habitante a la atmosfera que la PTAR de Chipata, esto se debe al tipo de humedal, ya que el humedal del Carmen de Chucurí es de flujo horizontal y el humedal de Chipatá es de flujo vertical.

En lo referente a la emisión de Óxido Nitroso N<sub>2</sub>O, la PTAR del Carmen de Chucuri emite a la atmosfera 59,71 Kg de N<sub>2</sub>O / año y la PTAR de Chipatá emite 17,48 Kg de N<sub>2</sub>O / año.

Si calculamos la emisión de CH<sub>4</sub> por habitante de cada municipio tenemos:

- Humedal Carmen de Chucurí = 59,71 Kg de N<sub>2</sub>O / año / 2220 habitantes  
**Humedal Carmen de Chucurí = 0,0268 Kg N<sub>2</sub>O / Habitante / año**
- Humedal Chipatá = 17,48 Kg de N<sub>2</sub>O / año / 650 habitantes  
**Humedal Chipatá = 0,0268 Kg N<sub>2</sub>O / Habitante / año**

Como se muestra los dos humedales tienen la misma generación de Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) por habitante al año.