



**POTENCIALES RECURSOS APROVECHABLES EN LOS FLUJOS DE
RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS DEL MUNICIPIO DE CHÍA,
CUNDINAMARCA**

Laura María Montealegre Sánchez

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, julio 2019

**Potenciales recursos aprovechables en los flujos de residuos orgánicos urbanos del
Municipio de Chía, Cundinamarca.**

Laura María Montealegre Sánchez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniera Ambiental

Director (a):
Juan Felipe Jaramillo

Línea de Investigación:
Saneamiento Ecológico - Gestión Integral Sostenible

Institución patrocinadora de la investigación:
Instituto de Salud y Ambiente (PCI2017-9544)

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2019



UNIVERSIDAD
EL BOSQUE

Vigilada Mineducación

SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

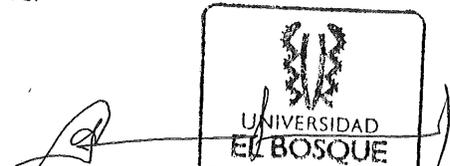
ACTA No: 1050

El día 24 JUL. 2019, en las instalaciones de la Universidad El Bosque, se desarrolló la sustentación del trabajo de grado titulado **POTENCIALES RECURSOS APROVECHABLES EN LOS FLUJOS DE RESIDUOS URBANOS DEL MUNICIPIO DE CHÍA, CUNDINAMARCA.**, escrito por **LAURA MARIA MONTEALEGRE SANCHEZ, CÉDULA 1110569794**, bajo la dirección de **JUAN FELIPE JARAMILLO**, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental. El trabajo fue evaluado por los jurados **JOSE ALFONSO AVELLANEDA CUSARIA CÉDULA 19220589** y **MARIO OPAZO GUTIERREZ, CÉDULA CE211536**, quienes deliberaron y concluyeron que cumple con los criterios de calidad.

Por lo tanto, el trabajo es: **Aprobado.**

En constancia, se firma en Bogotá, D.C. 24 JUL. 2019


UNIVERSIDAD
EL BOSQUE
KENNETH OCHOA VARGAS
Director
Programa de Ingeniería Ambiental
Dirección
Programa de Ingeniería Ambiental


UNIVERSIDAD
EL BOSQUE
GERMÁN AGUDELO ASCENCIO
Secretario Académico
Facultad de Ingeniería

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

En memoria de Ruperto Sánchez.

Quien me enseñó con su ejemplo que todos los sueños se logran con dedicación y perseverancia.

Gracias por ser luz en mi vida.

Por siempre y para siempre viejito lindo.

Agradecimientos

Primero que todo a mi madre por ser el pilar fundamental de mi vida, por creer en mí y darme su apoyo incondicional. A mi padre por sus esfuerzos para permitirme culminar con este gran proyecto de vida. A mis abuelos, hermanos y demás familiares que siempre estuvieron ahí para darme una voz de aliento y un agradecimiento especial a Maricela, quien me tendió su mano a lo largo de este camino y me adoptó en su hogar como una hija.

A mi director de investigación Juan Felipe Jaramillo, por su motivación, comentarios y correcciones; quien además compartió sus conocimientos y me guio en el transcurso de la elaboración este documento. Al ingeniero Héctor Rueda por su generosidad, consejos, acompañamiento y asesorías, quien me orientó y brindó las herramientas necesarias para el desarrollo de la metodología.

Asimismo, agradezco a las instituciones que hicieron posible el desarrollo de este proyecto; la vicerrectoría de Investigación y el Instituto de Salud y Ambiente de la Universidad El Bosque que en conjunto con el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI) me brindaron los recursos necesarios para ejecutar la investigación. De igual manera a la Alcaldía del municipio de Chía, especialmente a la Secretaria De Medio Ambiente y su Secretario Alejandro Garzón por permitirme ser parte de su equipo de trabajo. A los funcionarios Eduardo Gutiérrez, Laura Mendoza y Andrea Sánchez, quienes participaron activamente en los muestreos realizados y el señor Gustavo Sierra quien fue crucial para la recolección y verificación de información documentada.

Tabla de contenido

Tabla de contenido	IV
Listado de Tablas	3
Listado de Ilustraciones	5
Resumen	7
Abstract	8
1. Introducción	9
2. Planteamiento del problema	10
3. Justificación	12
4. Objetivos	14
4.1 <i>Objetivo General</i>	14
4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	14
5. Marco de Referencias	15
5.1 <i>Antecedentes</i>	15
5.2 <i>Marco Teórico</i>	18
5.4 <i>Marco Normativo</i>	25
5.5 <i>Marco Geográfico</i>	27
5.6 <i>Marco Institucional</i>	30
6. Metodología	32
7. Aspectos Éticos	54
8. Resultados, Análisis y discusión de resultados	55
8.1 Descripción de la gestión actual en los flujos de residuos orgánicos urbanos (Objetivo 1).....	55
8.2 Inventario y caracterización de los diferentes flujos de residuos orgánicos urbanos (Objetivo 2)	6573
8.3 Modelar la gestión actual que se realiza sobre los flujos de residuos urbanos para identificar y estimar los potenciales recursos aprovechables (Objetivo 3).....	80
9. Conclusiones	88
10. Recomendaciones	91
11. Referencias Bibliográficas	92
12. Anexos	97

Listado de Tablas

Tabla 1 <i>Normatividad contemplada en el desarrollo del proyecto</i>	25
--	----

Tabla 2 División política rural	29
Tabla 3 Sectorización del municipio para el muestreo de la fracción orgánica.....	35
Tabla 4. Rutas seleccionadas para la recolección de residuos sólidos.....	36
Tabla 5. Métodos utilizados por el laboratorio Analquim para el análisis de residuos sólidos 2019	42
Tabla 6. Métodos utilizados por el laboratorio Analquim para el análisis de Agua Residual 2019.....	45
Tabla 7. Métodos utilizados por el laboratorio Analquim para el análisis de Lodos de PTAR 2019	51
Tabla 8. Porcentaje de fracción orgánica según sector de generación	59
Tabla 9. Vertimientos alcantarillado sanitario	68
Tabla 10. Obras a corto, mediano y largo plazo contemplados en el Plan Maestro de Alcantarillado	70
Tabla 11. Porcentaje de población rural y urbana en el municipio de Chía 2015.....	73
Tabla 12. Resultados de la modelación con la herramienta REVAMP.....	85
Tabla 13. Comparación del aporte nutricional del compost.....	86
Tabla 14. Requerimientos nutricionales de los cultivos de papa y maíz.....	87

Listado de Ilustraciones

<i>Ilustración 1. Ubicación geográfica Municipio de Chía, Cundinamarca.</i>	28
<i>Ilustración 2. División político administrativa municipio de Chía</i>	29
<i>Ilustración 3. Mapa sectorización del municipio y rutas seleccionadas para el muestreo de la fracción orgánica</i>	37
<i>Ilustración 4. Parcelación lagunas de Aireación y Facultativa de la PTAR I Chía</i>	48
<i>Ilustración 5. Diagrama la gestión actual de los Residuos Sólidos municipales</i>	58
<i>Ilustración 6. Mapa proyecto piloto "Circuito Verde" Sector El Cairo</i>	62
<i>Ilustración 7. Superficie de principales cultivos transitorio cosechados entre 2006B – 2015B</i>	63
<i>Ilustración 8. Diagrama la gestión actual del Agua Residual municipal</i>	64
<i>Ilustración 9. Hidrología del municipio de Chía</i>	65
<i>Ilustración 10. Distribución de Uso de Redes Alcantarillado</i>	67
<i>Ilustración 11. Resultados del análisis fisicoquímico de la fracción orgánica de los residuos sólidos</i>	75
<i>Ilustración 12. Resultado análisis físico químico del agua residual al ingreso de la PTAR I Chía</i>	76
<i>Ilustración 13. Resultados análisis físico químico de los lodos de las lagunas de aireación y facultativa de la PTAR I Chía</i>	80
<i>Ilustración 14. Ingreso de datos hoja Waste Quality- REVAMP</i>	81
<i>Ilustración 15. Ingreso de datos hoja Treatment Process - REVAMP</i>	82
<i>Ilustración 16. Ingreso de datos hoja Results - REVAMP</i>	83

Listado de Imágenes

Imagen 1. <i>Recolección, pesaje y transporte de residuos sólidos implementados en el cuarteo.</i>	28
Imagen 2. <i>Proceso de homogeneización de los residuos sólidos</i>	29
Imagen 3. <i>Cuadrantes</i>	3740
Imagen 4. <i>Caracterización de los residuos sólidos</i>	482
Imagen 5. <i>Trituración de la fracción orgánica y empaque de las muestras entregadas al laboratorio.</i>	43
Imagen 6. <i>Obtención de las muestras de Agua Residual</i>	6245
Imagen 7. <i>Análisis de los parámetros in situ del Agua Residual</i>	463
Imagen 8. <i>Obtención de lodos de la laguna de aireación</i>	6449
Imagen 9. <i>Obtención de lodos laguna Facultativa</i>	50
Imagen 10. <i>Homogeneización de los lodos obtenidos de la laguna de aireación y la laguna facultativa</i>	51
Imagen 11. <i>Envase de muras lodos obtenidas de las lagunas de la PTAR I Chía</i>	51

Resumen

Los flujos de residuos orgánicos contienen una cantidad considerable de recursos que tienden a ser desaprovechados dentro de la gestión de los mismos, debido a que no son vistos desde la perspectiva de la recuperación, con la cual se pierde la oportunidad de prolongar la vida útil del recurso y que continúe con su ciclo de vida. Esta problemática redundante en contra de la sostenibilidad del saneamiento y en pérdidas económicas para quien la gestione. En ese sentido, el objetivo de esta investigación consistió en identificar y estimar los potenciales recursos aprovechables en los flujos de residuos orgánicos urbanos en el municipio de Chía. Esta investigación tuvo un enfoque mixto y un alcance de tipo descriptivo; las variables de estudio fueron los flujos de residuos orgánicos, el agua residual, los lodos producidos en la planta de tratamiento de agua residual y la fracción orgánica de los residuos sólidos presentes en la zona urbana. La metodología se desarrolló en 3 etapas: en la primera, se realizó la revisión sistemática de las fuentes de información primaria y secundaria, además de entrevistas a los actores involucrados y visitas de campo (PTAR I de Chía y vivero municipal); en la segunda etapa fue necesario realizar el cálculo teórico de las cantidades generadas de los flujos de los residuos orgánicos y un análisis fisicoquímico para inventariar y caracterizar cada uno de estos; por último, se procedió a modelar la información con la herramienta REVAMP, encontrando que el municipio actualmente solo gestiona el 4% de la fracción orgánica de los residuos sólidos por medio del tratamiento del compost, el cual representa un beneficio económico de \$110.368 día y una recuperación de nutrientes por tonelada de compost (1,4% N 0,06%P 2,73%K). El municipio de Chía tiene recursos potencialmente favorables en la gestión de flujos de residuos sólidos, cuyo valor trasciende en lo económico, social y ambiental.

Palabras Clave: Recursos Aprovechables, Residuos Orgánicos, Herramienta REVAMP, Compost

Abstract

The organic flows waste contains a considerable amount of resources which are wasted during their management because they are not seen from a recovery perspective. An opportunity to extend the useful life of the resource is lost and continue with its life cycle. This problem represents a sanitation sustainability and economic losses for whoever manages the resources. This problem represents a sanitation sustainability and economic issues for their management. Therefore, this study aims to identify and estimate potential resources that would be used in urban organic waste streams in the municipality of Chia. A mixed approach and a descriptive scope were developed where studying organic waste streams, wastewater, sludge produced in the wastewater treatment plant and the organic fraction of solid waste present in the urban area were part of the research. The methodology was divided in 3 stages: first stage was developed through a systematic review of the primary and secondary information sources ñ, as well as interviews with actors involved and field visits (PTAR I of Chía and municipal nursery). For the second stage, it was necessary to perform the theoretical calculation of the quantities generated from the organic waste streams and a physicochemical analysis to inventory and characterize each of these. Finally, a model information with the REVAMP tool were developed in which it was found out that currently municipality only manages 4% of the organic fraction of solid waste through the treatment of compost. The above represents an economic benefit of \$ 110,368 a day with a nutrient recovery per ton of compost (1.4% N 0.06% P 2.73% K). Municipality of Chia has potentially favorable resources in the management of solid waste flows, whose value have a significant economic, social and environmental impact

Keywords: Useful Resources, Organic Waste, REVAMP Tool, Compost

1. Introducción

El objetivo principal para desarrollar el presente trabajo de investigación consistió en identificar y estimar los potenciales recursos aprovechables en los flujos de residuos orgánicos urbanos del Municipio de Chía, puesto que en la actualidad los nutrientes, la materia orgánica, el potencial energético y el agua contenida en los diferentes flujos de residuos orgánicos están siendo desaprovechados (Andersson, K. R., 2016). Y en su lugar desencadena en el deterioro del saneamiento, trayendo consigo problemáticas de salubridad, pérdidas económicas e impactos negativos sobre el ambiente. Estudios recientes han demostrado que el aprovechamiento de lodos fecales, lodos cloacales y residuos sólidos representarían en conjunto $361,200 \text{ Nm}^3/\text{día}$ de biogás, lo suficiente para satisfacer las necesidades energéticas diarias de 824,000 personas que actualmente se utilizan leña (Ddiba, 2016).

Esta investigación tuvo un enfoque mixto y un alcance de tipo descriptivo; las variables de estudio fueron los flujos de residuos orgánicos, el agua residual, los lodos producidos en la planta de tratamiento de agua residual y la fracción orgánica de los residuos sólidos presentes en la zona urbana. La metodología se desarrolló en 3 etapas: en la primera, se realizó la revisión sistemática de las fuentes de información primaria y secundaria, además de entrevistas a los actores involucrados y visitas de campo (PTAR I de Chía y vivero municipal); en la segunda etapa fue necesario realizar un análisis fisicoquímico para inventariar y caracterizar cada uno de los flujos; por último, se procedió a modelar la información con la herramienta REVAMP.

La finalidad de la investigación es conocer el comportamiento actual del municipio de Chía sobre los flujos de residuos urbanos que se están generando y que porcentaje del mismo está siendo recuperado. Esta información que será utilizada como insumo en el desarrollo del proyecto UrbanCircle y el cumplimiento del primer objetivo específico del proyecto PCI2017-9544. Al igual que aporta información relevante que pueda ser sometida a discusión dentro de la formulación de los planes de ordenamiento territorial.

2. Planteamiento del problema

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que cerca de 2.300 millones de personas en el mundo carecen de acceso a servicios de saneamiento básico (OMS, 2017). Se calcula que alrededor de 663 millones de personas utilizan fuentes de agua no mejoradas, incluyendo pozos, manantiales y aguas superficiales sin protección; unas 2.400 personas utilizan instalaciones de saneamiento no mejoradas; y 946 millones de personas todavía practican la defecación al aire libre (UNICEF, 2015). Diariamente en todo el mundo se produce aproximadamente 9,5 millones de m³ de excretas humanas. (Andersson, K. R., 2016), 900 millones de m³ de aguas residuales municipales (Sagasta, Raschid, & Thebo, 2015) y 2,01 billones de toneladas de residuos sólidos (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018).

El manejo inadecuado en el saneamiento genera brechas e indicadores de desigualdad y desventajas, frente al manejo inseguro de excretas y aguas residuales que exponen a las poblaciones a enfermedades, degradación de los ecosistemas y prestación de servicios ecosistémicos (Andersson, K. R., 2016). Estas problemáticas pueden agudizarse durante la presencia de inundaciones o sequías (SEI, 2017). Las poblaciones de bajos recursos son las que se ven más afectadas por enfermedades como la diarrea, que se encuentra asociada directamente a la falta de un suministro adecuado de agua, saneamiento e higiene, convirtiéndose en una de las principales causas de muerte entre los niños, provocando 842,000 muertes anuales a nivel mundial, y siendo la segunda causa de muerte en niños menores de 5 años en los países en desarrollo. (Cordell, Rosemarin, Schroder, & Smi, 2011). Por otro lado, dado el rápido crecimiento de muchas de las ciudades de hoy en día, los diferentes flujos de residuos (aguas residuales, excretas y residuos sólidos orgánicos) contienen recursos en grandes cantidades de agua, nutrientes vegetales, materia orgánica y potencial energético que no se están aprovechando y se están perdiendo (SEI, 2016). Actualmente el municipio de Chía cuenta con 34.105 usuarios que hacen uso del sistema de servicio y alcantarillado; el 56,48% pertenecen al área urbana que cuenta con una cobertura total de la prestación del servicio, y hacen un consumo de agua de 115 l/hab.día y generan un promedio de 2.680 ton/mes de residuos. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017). El municipio de Chía se ve influenciado por varios factores

que generan contaminación ambiental, entre ellos la disposición inadecuada de residuos sólidos del sector comercial, el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas que llegan al Río Bogotá y Río Frio con o sin suficiente tratamiento, debido a que la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) solo tiene la capacidad de tratar el 40% de las aguas residuales que llegan al lugar.

Estos vertimientos aumentan cinco veces la concentración de materia orgánica del río Bogotá. De igual manera la contaminación y degradación de suelos, de acuíferos por lixiviados, de las aguas superficiales, proliferación de plagas de roedores que desencadenan en focos infecciosos, afectaciones por emisión de gases de efecto invernadero y malos olores, pérdida y degradación de cuerpos de agua y rondas hídricas, arrastre de sedimentos, lodos y residuos se han visto agravadas por la falta de lugares adecuados para la disposición de escombros, elementos grandes como colchones, muebles y animales muertos. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017). Estos factores generan una fuerte reducción de la calidad de vida en todo el territorio y una consecuente pérdida o degradación de ecosistemas, biodiversidad y de la estructura ecológica municipal. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

3. Justificación

En la actualidad los nutrientes, la materia orgánica, el potencial energético y el agua contenida en los diferentes flujos de residuos orgánicos están siendo desaprovechados (Andersson, K. R., 2016). Es importante, plantear una gestión ecológica del saneamiento con miras a la recuperación y aprovechamiento de los recursos contenidos en los flujos de residuos y al cierre de ciclo de los mismos. De esta manera, se contribuye a la mitigación de las crisis emergentes como la seguridad alimentaria, que se ve influenciada por la dependencia actual de los fertilizantes minerales para la producción intensiva de alimentos (Kjerstadius H. , 2015), la escasez de agua y recursos, el cambio climático, la seguridad energética, las epidemias y la degradación del medio ambiente. Se estima que los flujos de residuos contienen suficientes nutrientes para reemplazar el 25% del nitrógeno que se usa actualmente para fertilizar las tierras agrícolas en forma de fertilizantes sintéticos, y el 15% del fósforo, junto con suficiente agua para regar el 15% de todas las tierras de cultivo irrigadas en el mundo (unas 40 millones de hectáreas) (Sagasta, Raschid, & Thebo, 2015)

El saneamiento es fundamental para la vida urbana saludable y productiva, siendo la provisión de servicios de saneamiento para las poblaciones urbanas de rápido crecimiento uno de los desafíos más urgentes del mundo. (Cordell, Rosemarin, Schroder , & Smi, 2011). Conocer, caracterizar y cuantificar la cantidad de recursos contenidos en los flujos de residuos producidos en el caso de estudio (aguas residuales, fracción orgánica de los residuos sólidos, lodos de plantas de tratamiento de agua residual) permite generar un diagnóstico sobre las problemáticas actuales en los sistemas de gestión de saneamiento y brindar la información necesaria a los planificadores urbanos, a los legisladores, inversionistas, entes gubernamentales y cualquier persona interesada en la toma de decisiones cruciales con respecto a la adecuada planificación y gestión que debería asumir el municipio frente al aprovechamiento de los flujo de residuos. (Andersson, Dickin, & Rosemarin, 2016).

La adecuada gestión de los residuos contribuye al cumplimiento de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) específicamente con el objetivo 6 (Agua potable y saneamiento) además de aportar desde la perspectiva financiera, donde estudios previos han demostrado el alto costo que genera el

saneamiento inadecuado. En la India, por ejemplo, el saneamiento inadecuado llevó a la pérdida de aproximadamente 53.800 millones de USD en 2006, lo que equivale a USD 48 per cápita, de los cuales el 70% representaba costos directos relacionados con la salud. (Andersson, Dickin, & Rosemarin, 2016). Para ello, por medio de la aplicación de nuevas herramientas y enfoques integrados el Instituto de Ambiente de Estocolmo (SEI, por sus siglas en inglés) está desarrollando una nueva herramienta (Resource Value Mapping - REVAMP) dentro de la Iniciativa SEI sobre Saneamiento, la cual será usada en el estudio propuesto, y el cual permite realizar la estimación rápida sobre el volumen de los diferentes flujos de residuos, los recursos contenidos y los ingresos que podría obtenerse con la reutilización actual, puesto que el producto obtenido del tratamiento de los residuos no es comercializado y el municipio desconoce el valor que aporta tanto económicamente el mismo

La ejecución del trabajo de investigación se encuentra circunscrito en el marco de acción de los proyectos URBAN CIRCLE y REVAMP - Chía, el cual está siendo desarrollado por los grupos de investigación de la Universidad El Bosque, la Alcaldía de Chía y el Instituto de Ambiente de Estocolmo. Asimismo, el presente trabajo es pionero en la aplicación de la herramienta REVAMP en el país.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son los potenciales recursos aprovechables en los flujos de residuos urbanos del Municipio de Chía?

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Identificar y estimar los potenciales recursos aprovechables en los flujos de residuos orgánicos urbanos del Municipio de Chía

4.2 Objetivos Específicos

1. Describir el escenario actual de la gestión del municipio sobre los flujos de residuos orgánicos urbanos.
2. Realizar un inventario y la caracterización de los diferentes flujos de residuos orgánicos urbanos.
3. Modelar el escenario actual de la gestión de los flujos de residuos orgánicos urbanos para identificar y estimar los potenciales recursos aprovechables.

5. Marco de Referencias

5.1 Antecedentes

Los antecedentes expuestos a continuación fundamentan la realización de este proyecto, ejemplificando la importancia ecológica, social y económica que ha traído consigo; además, permite evidenciar el desarrollo de diferentes conceptos, fortaleciendo la idea de implementación de saneamiento ecológico y la postura de un saneamiento sostenible en diferentes lugares del mundo y un caso puntual para Colombia.

Para el año 2016 en la ciudad de Kalampa se realizó un estudio en dos escenarios, donde se estimó el potencial de recuperación de recursos de saneamiento productivo en áreas urbanas. Para ello, se caracterizaron lodos fecales, lodos cloacales y residuos sólidos municipales orgánicos, obteniendo que se podría ceder en conjunto; hasta 361,200 Nm³ de biogás por día que lograría satisfacer las necesidades energéticas diarias de 824,000 personas que actualmente se utilizan leña. El modelo demostró ser una manera simple de brindar apoyo para la toma de decisiones mediante estimaciones rápidas del potencial de recuperación de recursos en áreas urbanas, sin la carga de tener que realizar estudios de factibilidad a gran escala (Ddiba, 2016) Este proyecto fue la base para la construcción de REVAMP; herramienta utilizada en este proyecto, para la modelación de los potenciales recursos aprovechables de los flujos de residuos con los que cuenta el área urbana del municipio de Chía.

Resource Value Mapping (REVAMP). Es una herramienta que permite a las ciudades estimar su potencial de recuperación de recursos basándose en las entradas de las cantidades de corrientes de desechos orgánicos que tienen, incluidas las aguas residuales y los lodos fecales. Dependiendo de las prioridades locales, la herramienta también permite comparar varias opciones de recuperación de

recursos en función de los resultados de energía y nutrientes, así como los ingresos potenciales mediante un proceso de codesarrollo, como una plataforma novedosa para la planificación participativa de múltiples actores. La importancia del reciclaje de nutrientes se relaciona con el aumento dramático de los fertilizantes minerales en la agricultura durante el siglo pasado y la dependencia actual de los fertilizantes minerales para la producción intensiva de alimentos. Los nutrientes en el fertilizante mineral consisten principalmente en fósforo y nitrógeno; por lo tanto, el precio del fertilizante mineral depende del costo de extracción de fosfato de la roca, (Kjerstadius , Haghghatafshar , & Davidsson, 2015). Otro beneficio de los sistemas de control de fuentes es el potencial para aliviar los problemas actuales de la recuperación de nutrientes de los lodos a las tierras de cultivo. El reciclaje de nutrientes a partir de aguas residuales combinadas para la agricultura, a través de la difusión de lodos, se practica bien en Suecia hoy en día, así como en muchos otros países de Europa. (Kjerstadius , Haghghatafshar , & Davidsson, 2015)

El desarrollo de herramientas como ORWARE (ORganic WAsTe REsearch model) han permitido realizar el análisis de las consecuencias ambientales de la implementación del plan de gestión de residuos en Uppsala, un municipio de poco más de 184 000 habitantes situado en el sudeste de Suecia. Puesto que es un modelo computarizado que permite la comparación de los impactos ambientales de los sistemas de gestión de residuos municipales, por medio de un flujo de sustancias estáticas basado en la metodología de evaluación del ciclo de vida, el municipio logra cumplir con el plan de gestión de residuos, entregando un documento que contiene datos sobre la generación y gestión actual de residuos y estrategias para reducir la cantidad de residuos y la nocividad. (Björklundab, Dalemoc, & Sonessond, 1999). ORWARE fue desarrollado por primera vez para residuos biodegradables municipales sólidos y líquidos. Recientemente, se ha desarrollado aún más para incluir fracciones no biodegradables de residuos municipales, lo que requiere extensiones en los sub modelos de incineración, vertido y transporte. Además, se ha introducido un sub modelo para la lixiviación de nitrógeno a partir de fertilizantes orgánicos (por ejemplo, compost y lodo de digestión).

Para el caso de Colombia, como se enunció anteriormente, son escasos los estudios con los que se cuentan, respecto al tema de recuperación de recursos y potencialidades en los residuos urbanos; sin embargo, se encontró un Estudio de factibilidad ambiental para el reúso de aguas residuales domésticas a nivel rural, estudio de caso finca San Isidro Guasca, Cundinamarca. Con el buscaban hacer posible el reúso de las aguas servidas de la finca bajo condiciones de sostenibilidad. Para ello se estima el

dimensionamiento de las unidades de tratamiento y costos de implementación del uso de trampa de grasas, seguida de tanque séptico y humedal artificial de flujo sub-superficial. El resultado obtenido fue un sistema acorde con las condiciones puntuales de la finca y su costo de inversión se estima alrededor de tres millones de pesos. (Castañeda, 2017).

Entre otros antecedentes se puede encontrar trabajos académicos. En su tesis de maestría, “Propuesta de un programa para el manejo de los residuos sólidos en la Plaza de mercado de Cerete – Córdoba”, Natalia López Rivera (2009), propone un programa para el manejo de los residuos sólidos para disminuir los impactos ambientales. Su proceso de trabajo fue caracterizar el tipo y manejo de los residuos sólidos, así como evaluar los impactos significativos al ambiente, para finalmente proponer una propuesta de solución. La investigación fue de tipo descriptivo cualitativo, en la cual se utilizó la matriz de Leopold, con el cual se recabó información desde “los vendedores(as), compradores(as), director de la empresa de aseo, administrador de la plaza, aseadores de la empresa de aseo de la plaza de mercado.” (p. 80). La autora concluyó que existe un divorcio entre la conciencia social y la naturaleza, el cual produce una problemática ambiental, y esto se observó en la población estudiada.

Otro trabajo académico importante es lo realizado por Margenia Medrano y Yesid Caraballo (2009), en su tesis de grado titulado “Estudio de factibilidad para la creación de una planta procesadora de residuos sólidos urbanos para la producción de compost en la ciudad de Cartagena”. El objetivo del trabajo fue elaborar un estudio de factibilidad con el fin de crear una empresa productora de compost. Para lo cual se realizaron una serie de acciones importantes entre ellas un estudio de mercado, describir un estudio técnico, elaborar un estudio administrativo y económico, correspondientemente. El estudio fue de corte descriptivo – cualitativo que fue ya que se enfocó a “describir, registrar, documentar e interpretar los diferentes procedimientos bibliográficos existente sobre el tema de investigación”. (p. 60). El diseño fue no experimental, debido a que se revisaron situaciones existentes con el cual se evaluó la factibilidad. Los autores como conclusión señalan que es viable la construcción de una planta procesadora de residuos sólidos, con amplios márgenes de beneficios económicos, sociales y ecológicos.

En la misma línea de antecedentes académicos, se encuentra el trabajo de grado de Henry Pala (2006) denominado “Estudio del potencial energético a partir de los residuos sólidos en algunos distritos del cono norte de Lima Metropolitana”. El objetivo de este estudio fue el aprovechamiento del potencial energético a partir de los residuos sólidos en el Cono Norte de Lima Metropolitana con el propósito de

consolidarlo como una fuente energética de bajo costo para los sectores de esta parte de la capital peruana. Para lograr este objetivo el autor en primer lugar caracterizó los residuos sólidos, logrando un inventario completo, así como evaluó la capacidad potencial de energía para luego proponer soluciones técnicas al problema ambiental del sector a través de este repositorio de energía alternativa. Mediante una metodología experimental y de carácter cualitativo el autor concluye que los residuos sólidos urbanos “del cono norte de Lima Metropolitana generan en promedio 2635 Kcal/Kg., siendo el distrito de Ancón el de menor PCI con 2119 Kcal/Kg. Y el distrito de SMP el de mayor PCI con 3503 Kcal/Kg. entre otros, que pueden ser aprovechables” (p. 250).

Para la investigación, los tres estudios académicos presentados permitieron elaborar el marco procedimental, así como apoyaron en la parte teórica. En los tres casos, el diagnóstico es vital para poder comprender qué es lo que se tiene y hacia dónde se va con este tipo de energías que aún no hay sido del todo aprovechadas.

5.2 *Marco Teórico*

Economía circular

La economía circular surge en un entorno en la cual la economía no se abastece y se ve debilitada frente al uso indiscriminado de los recursos naturales, que hacen que las proyecciones de cara al futuro sean nada alentadoras. Al respecto (Lett, 2014) comenta que,

...planteado así el problema, podemos preguntarnos, entonces, ¿cuáles son las alternativas de cambio que la sociedad en su conjunto debe ensayar para aumentar la resiliencia de los sistemas socioeconómicos, para evitar así el colapso? Una respuesta posible es el avance sobre la sustentabilidad ambiental mediante el rediseño de las industrias y la vida doméstica en su conjunto, bajo un sistema económico de modelo circular. (p. 1)

El modelo económico tradicional no admite la reutilización y recuperación de los desechos o los residuos sean orgánicos o inorgánicos, solo destruye, solo emite; este orden lineal de producción acarrea mucha ineficiencia y deterioro para la sociedad. Entonces, se necesita de un nuevo modelo, que vista desde cualquier punto sea prometedora y amigable con la fuente de los recursos del cual nos sostenemos, que es la naturaleza. En palabras de (Prieto, Jaca, & Ormazabal, 2017), la economía circular se presenta

como la alternativa a este modelo lineal. La EC permite responder a los desafíos del crecimiento económico y productivo actual porque promueve un flujo cíclico para la extracción, transformación, distribución, uso y recuperación de los materiales y la energía de productos y servicios disponibles en el mercado (...) La EC es un paradigma que tiene como objetivo generar prosperidad económica, proteger el medio ambiente y prevenir la contaminación, facilitando así el desarrollo sostenible. Es por eso que este modelo se apoya en el principio de las 3 Rs (Reducir, Reusar, Reciclar), aplicable a todo el ciclo de vida de los productos y en estrategias de diseño sostenible. (p. 45)

La economía circular tiene una mentalidad biológica, integral para ver cómo el fenómeno económico se integra sin complicaciones al desarrollo sostenible de las naciones. Algunos autores como (Porcelli & Martínez, 2018), refuerzan el concepto y señalan que la economía circular

Se puede conceptualizar como una filosofía del diseño y de organización de sistemas. Inspirada en los seres vivos, emula los ciclos de la naturaleza en la que los “desechos” de una especie se convierten en el “alimento” de otra y así sucesivamente en un sistema cíclico de autosuficiencia. Es un sistema industrial restaurador o regenerativo por intención y por diseño ab initio, que sustituye el concepto de “caducidad” por el de “restauración” distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos. Se desplaza hacia el uso de energías renovables, eliminando el uso de químicos tóxicos, que perjudican la reutilización y el retorno a la biosfera. (p. 41070)

O como señala (Prieto, Jaca, & Ormazabal, 2017),

El concepto de economía circular se apoya en los fundamentos de la escuela ecologista, y propone un cambio al “reducir, reutilizar y reciclar” por una transformación más profunda y duradera, que permita disminuir el impacto causado por las actividades humanas sobre el medio ambiente. Este modelo otorga al residuo un papel dominante y se sustenta en la reutilización inteligente del desperdicio, sea este de naturaleza orgánica o de origen tecnológico, en un modelo cíclico que imita a la naturaleza y se conecta con ella. Bajo este enfoque, el residuo pierde su condición de tal y se convierte en la materia prima

“alimentaria” de los ciclos naturales o se transforma para formar parte de nuevos productos tecnológicos, con un mínimo gasto energético. (p. 1-2)

Saneamiento sostenible

Comprender la problemática de la economía circular y la valoración de los residuos, lleva a reflexionar acerca del saneamiento, problema latente en las sociedades en vías de desarrollo, que engruesan los índices de pobreza. Abordar la economía circular es también trabajar sobre el saneamiento más aún cuando se trata del número 6 de los 17 desafíos del milenio. En efecto, la comprensión de este tema según la Sustainable sanitation and water management (2012) es el siguiente:

El saneamiento sostenible es un enfoque integral al manejo de los recursos, en el que no solo se busca implementar tecnologías para evitar el contacto humano con la excreta, sino también se considera la aceptación de estos sistemas por parte de los usuarios, así como su viabilidad económica y su impacto en el medio ambiente. El saneamiento sostenible se diferencia de los conceptos convencionales del manejo de aguas residuales, pues considera la excreta y las aguas residuales como recursos valiosos, que contienen cantidades significativas de energía y nutrientes que pueden ser aprovechados. De esta manera, el saneamiento sostenible promueve el cierre de los ciclos (ciclo del agua y ciclo de los nutrientes) o los llamados sistemas “cero descargas”, protegiendo así los escasos recursos naturales e integrando los pilares de la sostenibilidad: aspectos sociales, ambientales y económicos. (p. 2)

Desde la (SSWM, 2012), se reconoce que se trata de un sistema, se trata de un orden cómo se ha instalado y funciona el saneamiento acorde a las perspectivas políticas y ambientales, que sin embargo, no han sido eficientes, ya que muchas veces no hay puntos de encuentro entre ambos campos. Aun así se insiste en que

Los sistemas de saneamiento sostenible son aquellos que minimizan el agotamiento de la base de recursos, la degradación ambiental, protegen y promueven la salud humana, son

técnica e institucionalmente apropiados, socialmente aceptables y económicamente viables a largo plazo. Deben ser sostenidos, utilizados por la población objetivo mientras funcionan adecuadamente a largo plazo, y resilientes a los desastres, y contribuir a una mayor sostenibilidad socioeconómica y ambiental. (Andersson K. R., 2016)

5.3 Marco Conceptual

Agua Residual Domestica: Según el (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a: 1. Descargas de los retretes y servicios sanitarios. 2. Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (No se incluyen las de los servicios de lavandería industrial). (p. 45)

Combustible sólido. Desde el autor (Ddiba, 2016) se entiende por combustible sólido a

Las corrientes de excretas y desechos orgánicos tienen un alto valor calorífico y se pueden convertir en un combustible sólido y seco para la combustión en forma de briquetas o en polvo. Esto se puede usar para cocinar en hogares y cocinas institucionales, así como para aplicaciones industriales como hornos y calderas. (p. 23)

Compostaje: El compostaje se comprende como

...un proceso mediante el cual se compostan los residuos para hacer un acondicionador del suelo o un fertilizante para aplicar en las granjas. El compost generado es a menudo rico en nutrientes y también rico en contenido de materia orgánica. (Ddiba, 2016)

Digestión anaeróbica. Según (Ddiba, 2016), la digestión anaeróbica es

...un proceso que genera biogás, que tiene aproximadamente un 60% de contenido de metano. El biogás se puede utilizar para la iluminación, la cocina y también para generar electricidad y calor. El proceso de digestión anaeróbica también genera un residuo que se puede usar como acondicionador del suelo o fertilizante en una granja para recuperar nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio.

Estructura Ecológica Principal (EEP): Desde la (Alcaldía de Chía, 2016), la estructura ecológica principal se conceptualiza como el

Conjunto de elementos bióticos y abióticos que dan sustento a los procesos ecológicos esenciales del territorio, cuya finalidad principal es la preservación, conservación, restauración, uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, los cuales brindan la capacidad de soporte para el desarrollo socioeconómico de las poblaciones. (p. 45)

Fracción orgánica. Se entiende como “esta es la parte orgánica de los residuos sólidos urbanos e incluye elementos como residuos de alimentos, residuos de mercado y residuos de cultivos.” (Ddiba, 2016)

Gestión sostenible: Según (Humet, 2008), la gestión sostenible es un enfoque de acción que

Implica el comportamiento consciente y firme de una determinada organización con el fin de obtener, a medio y largo plazo, un balance general positivo de sus acciones en los sectores económicos, ambiental y social, tanto desde la perspectiva microeconómica, como del conjunto de la sociedad. (p. 63)

Larvas de moscas soldado negro: El concepto de este tipo de proveedores de proteína la cual generan un aporte valioso para el proceso tratamiento de desechos orgánicos; debido a que

...la larva de la mosca soldado negra tiene un 40% de proteínas y un 30% de grasa y, por lo tanto, puede producir un alimento para animales rico en proteínas. El residuo del compostaje de larvas de mosca contiene nutrientes y se puede aplicar a un jardín como acondicionador de suelo o fertilizante. (Ddiba, 2016)

Lodo: “Suspensión de un sólido en un líquido proveniente de tratamiento de aguas, residuos líquidos u otros similares.” (Instituto de Hidrología, 1984)

Lodos Fecales:

Los lodos fecales (LF) provienen de varios tipos de inodoros descentralizados que no están conectados a un alcantarillado. Pueden estar digeridos parcialmente o no, muy líquidos o semisólidos y resultan de la contención o tratamiento de combinaciones de excremento humano y aguas negras, con o sin aguas grises. Son muy variables en su consistencia, cantidad y concentración. Algunos ejemplos de estructuras descentralizadas que producen LF incluyen letrinas de pozo, baños públicos, tanques sépticos, letrinas llenadas de agua e inodoros secos. (Brdjanovic, Ronteltap, & Strande, 2016).

Lodos agua residual. “Los lodos de aguas residuales (también conocidos como lodos de aguas residuales) son lodos que se originan a partir de la recolección de aguas residuales a través de alcantarillas y procesos de tratamiento (semi) centralizados.” (Ddiba, 2016)

Muestra puntual: Según la *NTC-ISO 5667-10*,

La clasificación de la muestra es considerada puntual, puesto que se toma de una vez todo el volumen de la muestra. Las muestras puntuales son útiles para determinar la composición de las aguas residuales en un momento determinado, en los casos en que, con pequeñas variaciones en el volumen y composición de las corrientes residuales, una muestra puntual puede ser representativa de la composición durante un período de tiempo mayor. Las muestras puntuales son esenciales cuando el objetivo de un programa de muestreo es evaluar la conformidad con normas no relacionadas con calidad promedio. (p. 40)

Objetivos de desarrollo sostenible (ODS): También conocidos como Objetivos Mundiales, “son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad.” (PNUD, 2015)

Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS): Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible colombiano la PGIRS se trata de un

Conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos y actividades, definidos por el ente territorial para la prestación del servicio de aseo, basado en la política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, el cual se obliga a ejecutar durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial, en su proyección hacia el futuro y en un Plan Financiero Viable que permita garantizar el mejoramiento continuo de la prestación del servicio de aseo, evaluado a través de la medición de resultados. (MADS, 2012)

Recursos recuperables: Para (Bassan, 2009), se trata de “las materias que todavía tienen propiedades físicas y químicas útiles, después de servir a un propósito específico, y por lo tanto pueden ser reutilizadas o recicladas para el mismo u otro propósito.” (p. 56)

Recurso hídrico: “Aguas superficiales, subterráneas, meteóricas y marinas”. (MAVDT, 2010)

Reúso del agua. “Utilización de los efluentes líquidos previo cumplimiento del criterio de calidad”. (MAVDT, 2010)

Residuo sólido: Según la (Presidencia de la República de Colombia, 2013) a través del DECRETO 2981 DE 2013, un residuo sólido

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. Igualmente, se considera como residuo sólido, aquel proveniente del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y poda de árboles. Los residuos sólidos que no tienen características de peligrosidad se dividen en aprovechables y no aprovechables. (p. 5)

Vertimientos. “Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.” (MAVDT, 2010)

5.4 Marco Normativo

Tabla 1 Normatividad contemplada en el desarrollo del proyecto

NORMATIVA	DESCRIPCIÓN
CONSTITUCIÓN	<p>(Constitución Art. 79 Colombia, 1991) Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectar. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.</p> <p>Art. 103 servicios públicos domiciliarios; la obligatoriedad de su prestación, recae en responsabilidades para la administración pública, que debe ser conducida bajo principios de eficacia, jerarquía, descentralización, desconcentración y coordinación</p>

POLÍTICAS

(CONPES 3177, 2002) **Política Nacional para el manejo de aguas residuales** donde sea viable y sostenible económica, social y ambientalmente. Fomento de nuevas alternativas de manejo y tratamiento de aguas residuales con el fin de reducir el potencial contaminante de las descargas.

(CONPES 3320, 2004) **Estrategia para el manejo ambiental del Río Bogotá** se plantea un plan de acción en tres etapas desde el 2004 al 2020 donde las entidades territoriales implementarán sus respectivos POT y Planes de Desarrollo en concordancia con los Planes formulados por la Corporación Autónoma Regional. Las decisiones sobre el manejo del Río Bogotá se tomarán de manera concertada con visión regional

LEYES

(Ley 9, 1979) **Código sanitario nacional** Art 1. Para la protección del Medio Ambiente la presente Ley establece: a) Las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana b) Los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.

(Ley 99, 1993) **Ley general ambiental de Colombia**, se crea el Ministerio de Medio Ambiente, reordena el sector público para la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental- SINA

DECRETOS NACIONALES

(Decreto 2811 , 1974) **Código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente.** Parte IV De las normas de preservación ambiental relativas a elementos ajenos a los recursos naturales Título III De los residuos, desechos y desperdicios

(Decreto 1076, 2015) **Reglamento unitario del sector Ambiente y Desarrollo Sostenible**

(Decreto 596, 2016) Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077de 2015 en lo relativo con el esquema de la actividad de aprovechamiento del

servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio, y se dictan otras disposiciones

DECRETOS MUNICIPALES	(Decreto 29 , 2016)	Por el cual se aprueba el Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos (PGIR) para el municipio de Chía
	(Decreto 26 , 2017)	Por el cual se adopta el Plan Maestro de acueducto y el Plan Maestro de Alcantarillado (PSMV) para el municipio de Chía
	(Decreto 73, 2018)	Por el cual se adopta el Plan de Manejo Ambiental (PMA) del municipio de Chía
RESOLUCIONES	(Resolución 631, 2015)	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Ver Tabla 2
	(Resolución 0330, 2017)	Ministerio de Vivienda. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico Para El Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico- RAS . Especialmente el Capítulo 5 “Sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales”
	(Acuerdo 100, 2016)	Plan de Ordenamiento Territorial de Chía POT 2016-2019

Fuente: Montealegre S., L; 2019)

5.5 *Marco Geográfico*

El municipio de Chía se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca, sobre el altiplano Cundiboyacense, en el eje norte de la región Sabana Centro de Bogotá. Limita al occidente con los municipios de Tabio y Tenjo, al oriente con los municipios de Sopó y La Calera, al sur con Bogotá D.C. y el municipio de Cota, y al norte con los municipios de Cajicá y Sopó (Ilustración 1). Se encuentra enmarcado por las coordenadas 73°58'54,4'' y 74°5'40,6'' entre oriente a occidente, 4°55'4,8'' y 4°49'1,8'' de norte a sur. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017). Se encuentra delimitado por un sistema

montañoso en el que se destacan los Cerros Majuy (límite con Cota), La Valvanera y Cerro de La Cruz al occidente, y Pan de Azúcar al oriente. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017) Su topografía se caracteriza por pendientes que oscilan entre 0 y 15% en el valle de los ríos Bogotá y Frío, y mayores al 50% en los cerros orientales y occidentales, donde la cota máxima de altura se encuentra a los 3230 msnm (Alcaldía Municipal de Chía, 2016).

El clima de Chía es frío seco, con variaciones dadas por el gradiente altitudinal, definiendo en el municipio unas zonas más secas ubicadas en la planicie. La precipitación promedio es de 800 mm anuales, con distribución de tipo bimodal, con un primer periodo lluvioso de abril a mayo, y un segundo periodo de octubre a noviembre, siendo este último el más intenso con valores cercanos a los 100 mm. El periodo más seco se extiende de Diciembre a Marzo, con menores valores en enero (37mm) (Alcaldía Municipal de Chía, 2017). La temperatura media oscila entre los 14°C con diferencias de $\pm 1^\circ\text{C}$ en el año, con valores promedio mínimos que pueden variar entre $6^\circ\text{-}9^\circ\text{C}$ y valores máximos entre $19\text{-}20^\circ\text{C}$. En enero se presentan las temperaturas mínimas y máximas del año, acentuando el fenómeno de las heladas por el efecto de inversión de la temperatura en la superficie del suelo. El valor máximo absoluto registrado en el municipio ha sido de $27,5^\circ\text{C}$ y el menor de $-2,5^\circ\text{C}$ (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

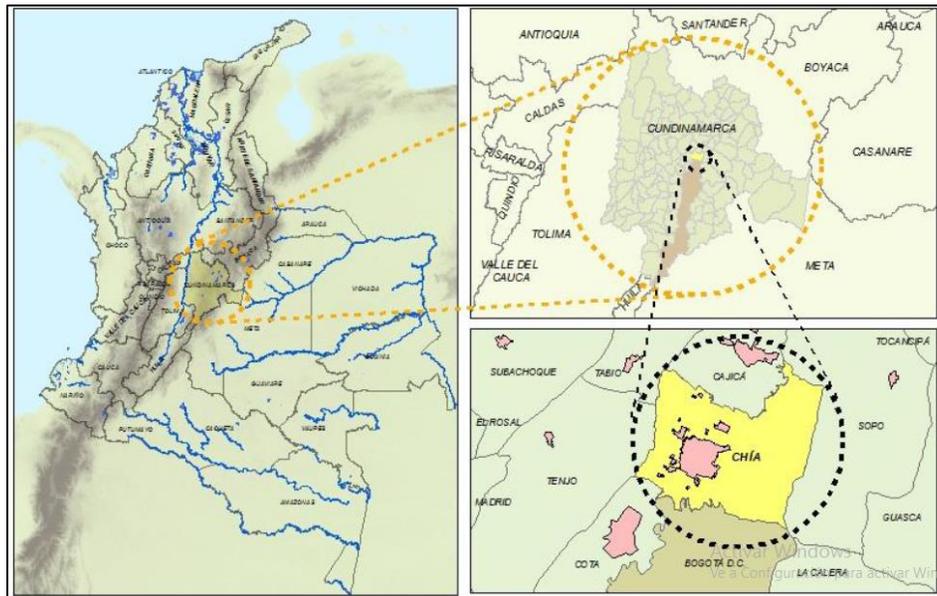


Ilustración 1. Ubicación geográfica Municipio de Chía, Cundinamarca.

Mapa de la ubicación geográfica del municipio de Chía (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

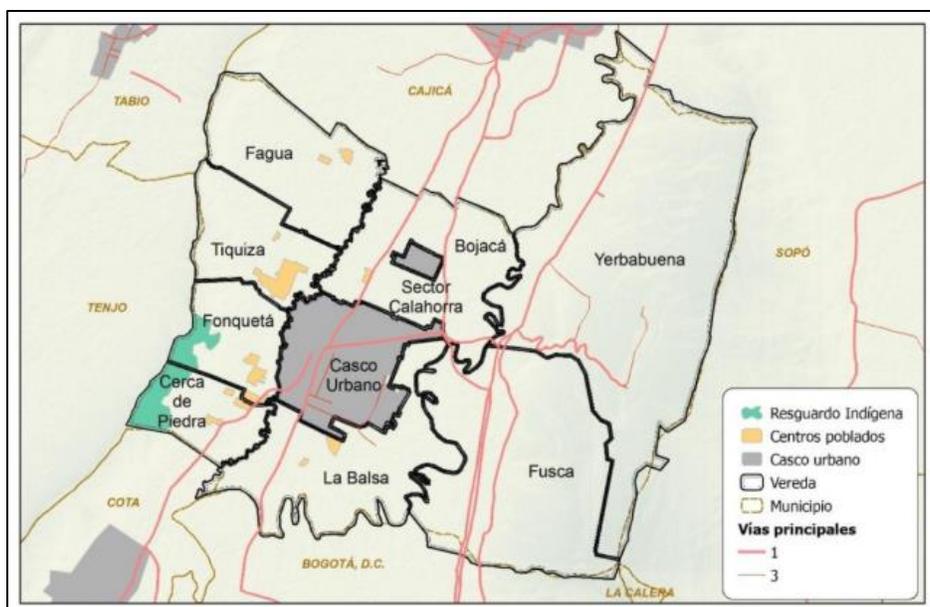


Ilustración 2. División político administrativa municipio de Chía

Mapa de división política del municipio de Chía (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

Chía posee un área de 8044,9ha, con un 7,8% para el área urbana (630,2ha) y un 92,2% para el área rural (7414,7ha). Este se divide en ocho veredas (Tabla 2) con 222 sectores rurales, dos centralidades urbanas, y una zona de resguardo indígena (Ilustración 2). Las dos centralidades urbanas la constituyen el casco urbano y el sector urbano de Mercedes de Calahorra, adicionalmente, se identifican once (11) centros poblados más para un total de 96,4ha (1,2%), constituyendo en conjunto el 9% del municipio con sector urbano delimitado (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

Tabla 2 División política rural

Categoría	Área Ha	%
<i>Vereda Cerca de Piedra</i>	336,34	4,18
<i>Vereda Fusca</i>	1453,56	18,07
<i>Vereda La Balsa</i>	854,46	10,62
<i>Vereda Tiquiza</i>	382,83	4,76
<i>Vereda Fagua</i>	799,58	9,94
<i>Vereda Yerbabuena</i>	2410,98	29,97
<i>Zona Urbana</i>	610,17	7,83
Total Municipio	8044,91	100

Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2016)

Según el plan de Saneamiento y Manejos de Vertimientos el municipio contaba con una población de 134.072 habitantes para el año 2015; actualmente el municipio de Chía cuenta con 39.806 usuarios que hacen uso del sistema de servicio de acueducto y 35.020 usuarios de alcantarillado (Camacho, 2019); el 56,48% pertenecen al área urbana que cuenta con una cobertura total de la prestación del servicio, y hacen un consumo de agua de 115 l/hab.día y generan un promedio de 2.680 ton/mes de residuos. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

En los últimos 30 años Chía cambió radicalmente su vocación agrícola con el auge de la urbanización, la agroindustria de las flores y el crecimiento de las zonas urbanas y suburbanas. Al cambiar el uso del suelo, la agricultura sufrió un notorio retroceso; de los grandes cultivos solo quedan pequeñas huertas caseras y los pocos latifundios que aún existen se llenaron de invernaderos construidos en plástico para la producción de flores de exportación y en menor escala quedan algunas haciendas para la ganadería (Alcaldía Municipal de Chía, 2016). Chía presenta uno de los tres índices más bajos de Necesidades Básicas Insatisfechas del país, con 7.11 puntos porcentuales, estando por debajo del índice nacional 27,78 y departamental 21,30 (Alcaldía Municipal de Chía, 2016)

5.6 *Marco Institucional*

La institución principal inmersa en este trabajo de grado es la **Universidad El Bosque** dentro del proyecto “Potenciales beneficios de escalar la gestión de recursos en los residuos del municipio de Chía, Cundinamarca” avalado por la convocatoria interna PCI2017-9544 de la vicerrectoría de investigación; presentado por el Instituto de Investigación de Salud y Ambiente de la universidad. El primer objetivo contemplado en este proyecto es el de *Mapear los flujos actuales de recursos naturales relacionados con la gestión del agua y saneamiento municipal*; por esta razón el alcance del presente trabajo precisa en dar respuesta al mismo y no busca proponer lineamientos sobre los posibles escenarios en los cuales se puedan recuperar los recursos contenidos en los flujos de residuos orgánicos que maneja el municipio.

De igual manera, el programa de Ingeniería Ambiental que realizó el enlace para participar en este proyecto por medio de la presente monografía y la pasantía de investigación llevada a cabo en la Alcaldía de Chía, a través de la Secretaria de Medio Ambiente, que prestó sus servicios y conocimientos para el desarrollo del estudio de caso en el área urbana del Municipio de Chía. Finalmente, el Instituto

de Medio Ambiental de Estocolmo (SEI de sus siglas en ingles) en el marco del proyecto UrbanCircle, que lanzó en el 2015 la iniciativa sobre saneamiento sostenible, disponiendo a sus investigadores para el desarrollo de la herramienta REVAMP implementada en el modelamiento de los flujos de residuos orgánicos urbanos del municipio.

Es importante resaltar que, dentro del apoyo de la Alcaldía de Chía, también se encuentran otras dependencias, como lo fueron la Dirección de Desarrollo Agropecuario y Económico, y la empresa prestadora de servicios públicos EMSERCHIA. También el laboratorio ANALQUIM, encargado de realizar el análisis físico químico de las muestras presentadas sobre los flujos de residuos orgánicos urbanos.

6. Metodología

6.1 *Enfoque de la investigación*

Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta para lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio. (Sampieri, 2014). El enfoque del estudio es *mixto: cualitativo* al “describir el escenario actual de la gestión del municipio sobre los flujos de residuos orgánicos urbanos” (objetivo 1) y *cuantitativa* al cuantificar y caracterizar los flujos de residuos urbanos (objetivo 2) y al modelar la gestión actual que se realiza sobre estos los flujos para identificar y estimar los potenciales recursos aprovechables (objetivo 3).

6.2 *Alcance de la investigación*

Los estudios de *alcance descriptivo* buscan especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describen tendencias de un grupo o población (Sampieri, 2014) Este proyecto se enmarca como estudio descriptivo al especificar las cantidades y propiedades contenidas en los flujos de residuos orgánicos, además de recolectar información sobre los recursos contenidos, a partir de fuentes primarias y secundaria, adicionando un análisis de los parámetros fisicoquímicos para alimentar la base de datos que utiliza la herramienta REVAMP.

6.3 Etapas de la investigación

Para cumplir a cabalidad con los objetivos propuesto se implementó un *método analítico* que permitió identificar cada una de las partes y establecer una relación causa-efecto entre los elementos que componen el objeto de la investigación (Sampieri, 2014). Las técnicas e instrumentos se construyeron de acuerdo a las necesidades que surgieron durante el desarrollo de las actividades, teniendo como referentes las metodologías establecidas en las investigaciones desarrolladas por (Ddiba, 2016) y (Andersson, K. R., 2016). Adicional a esto, los muestreos se rigieron a las directrices y el asesoramiento del equipo de trabajo de los proyectos PCI2017.9544 y UrbanCircle, que tienen como objetivo conocer el comportamiento general de los flujos de residuos orgánicos del municipio de Chía. Por lo anterior, la toma de muestras de la fracción orgánica se realizó a nivel municipal.

1. **Etapa 1: Según el objetivo 1. Describir el escenario actual de la gestión del municipio sobre los flujos de residuos orgánicos urbanos.**

El primer paso para ejecutar este proyecto, fue la revisión de las fuentes de información primaria y secundaria, partiendo de los documentos manejados por el municipio de Chía como lo son: el Plan de Ordenamiento Territorial, Plan de Manejo Ambiental, el Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos y el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado. Para efectos prácticos de la adquisición de los datos requeridos por la herramienta REVAMP al momento de modelar, se solicitó información oficial a la empresa EMSERCHÍA y a la Dirección de Desarrollo Agropecuario y Empresarial. De igual manera, fue necesario llevar a cabo una serie de reuniones, visitas de campo (Visita PTAR y Vivero municipal) y entrevistas con estas instituciones para establecer la gestión actual del flujo de residuos orgánicos urbanos, recolectar información no contemplada en los documentos oficiales de la alcaldía y coordinar los muestreos pertinentes.

Etapa 2: Según el objetivo 2. Realizar un inventario y la caracterización de los diferentes flujos de residuos orgánicos urbanos

En conjunto con la colaboración de los investigadores del proyecto PCI2017-9544, se dio inicio a la alimentación de una base de datos (Anexo 1) que contempla los parámetros físico químicos requerido por la herramienta REVAMP (TS, TVS, TN, TP, TK, CV) para cada uno de los flujos de residuos orgánicos en cuestión. De dicha revisión sistemática, se determinó que era necesario realizar el análisis fisicoquímico a los tres flujos de residuos orgánicos del área urbana (agua residual, lodos de PTAR y la fracción orgánica de los residuos sólidos).

Por consiguiente, se cotizó a diferentes laboratorios, con el fin de establecer cuál era el indicado para realizar estos análisis, teniendo como criterio de elección la trayectoria de dicho laboratorio, las normas de calidad, los parámetros certificados por ICONTEC/ IDEAM y el precio de los mismos.

Las técnicas e instrumentos implementados en la toma de muestras, varían, dadas las discrepancias de los del flujo de residuos orgánicos estudiados. En el (Anexo 2) se podrá visualizar los protocolos implementados en el desarrollo de las actividades de recolección de muestras. Para establecer las cantidades producidas por cada uno de los flujos, se contó con la participación del Ingeniero Jairo Mosquera, investigador del SEI, quien orientó la estimación de las cantidades, basado en la experiencia previa obtenida en el desarrollo proyecto de su tesis de maestría “*Energy and climate analysis of resource recovery from organic waste streams in Chía, Colombia*”.

A continuación, se explica a profundidad la metodología utilizada en cada uno de ellos y la manera en la cual se realizó la modelación de los resultados de los laboratorios:

Proceso de Muestreos

Fracción orgánica de residuos sólidos

Para analizar los parámetros fisicoquímicos de la fracción orgánica de los residuos sólidos, se realizaron dos cuarteos significativos, que corresponden a lo recolectado entre semana y fin de semana, para ello el municipio se sectorizo en cinco (5) zonas, teniendo en cuenta las características de los usos del suelo establecido en el POT (acuerdo 100 de 2016), de igual manera su ubicación geográfica (la cercanía aparente), como se muestra en la tabla 3 e ilustración 3

Tabla 3

Sectorización del municipio para el muestreo de la fracción orgánica

#	VEREDAS	CARACTERÍSTICAS
1	YERBABUENA-FUSCA	Son veredas que se encuentran ubicadas en los cerros orientales del municipio, además de considerarse zona rural.
2	LA BALSA-CERCA DE PIEDRA	Se encuentran en la zona sur occidental del municipio, dentro de los usos del POT tienen en común áreas destinadas a la actividad de vivienda campestre, centros poblados, vivienda suburbana, usos del suelo agropecuario semi intensivo y zonas de reserva hídrica.
3	FAGUA- TIQUIZA-FONQUETA	Las veredas se encuentran ubicadas en los cerros occidentales del municipio, además de considerarse zona rural.
4	BOJACÁ	Es una vereda con alta densificación urbana, con presencia de áreas de expansión, vivienda suburbana, actividad de vivienda campestre, centro poblado y el sector de Calahorra considerado área urbana
5	CASCO URBANO	Área urbana del municipio de Chía

Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

Teniendo en cuenta la información suministrada por EMSERCHÍA en la reunión del 30 de Enero del presente año (Anexo 3), se procede a realizar la selección de la ruta de muestreo haciendo uso de la herramienta aleatoria de Excel.

Para ello el 27 de febrero del 2019, se llevó a cabo una reunión en las instalaciones de EMSERCHÍA, con el ingeniero Luis Gabriel, coordinador técnico del área operativa de aseo, para realizar la selección de las rutas de muestreo, siguiendo estos pasos:

1. Se añadió una nueva columna “SECTOR” al archivo de Excel creado.
2. Se completó la información de la columna SECTOR con ayuda del señor Luis Gabriel, el cual identificó cada una de las rutas con su respectivo sector, como lo muestra la clasificación de la ilustración (Ilustración 3).
3. Luego se filtró la columna SECTOR, escogiendo el número 1
4. Se agregó una nueva columna “N° ALEATORIO”
5. En la celda inferior, se escribió “=RAND ()” o “=ALEATORIO ()”
6. Se presiona “Intro” y aparece un número aleatorio en la celda
7. Se corrió esta información hasta cubrir todos los datos filtrados.
8. Luego, se seleccionó la columna N° ALEATORIO y el resto de columnas
9. Una vez seleccionadas se ordenaron los registros de menor a mayor según los datos de la columna N° ALEATORIO
10. El primer dato ordenado (número de menor valor), fue seleccionado como la ruta a la cual se le realizará el muestreo para el sector 1.
11. Se vuelve al filtro de la columna SECTOR y se repite el proceso sucesivamente, hasta obtener las rutas para cada sector.
12. Una vez seleccionadas las 5 rutas, el señor Luis Gabriel procede a brindar información puntual sobre las mismas, como el recorrido y el horario en el cual se realiza la recolección.
13. Se obtiene como resultado las rutas de la tabla 4.

Tabla 4.

Rutas seleccionadas para la recolección de residuos sólidos

SECTOR	RUTA	DÍAS		HORARIO
		FIN DE SEMANA	ENTRE SEMANA	
1	Auto Norte	Lunes	Jueves	5:30-10:30
2	Cerca de piedra	Miércoles	Sábado	5:30-9:30
3	Tíquiza	Miércoles	Sábado	5:30-8:00
4	Bochica-Bojacá	Miércoles	Sábado	5:30-10:00
5	El Campin	Martes	Viernes	5:30-8:30

14. **Fuente:** (Montealegre S., L; 2019)

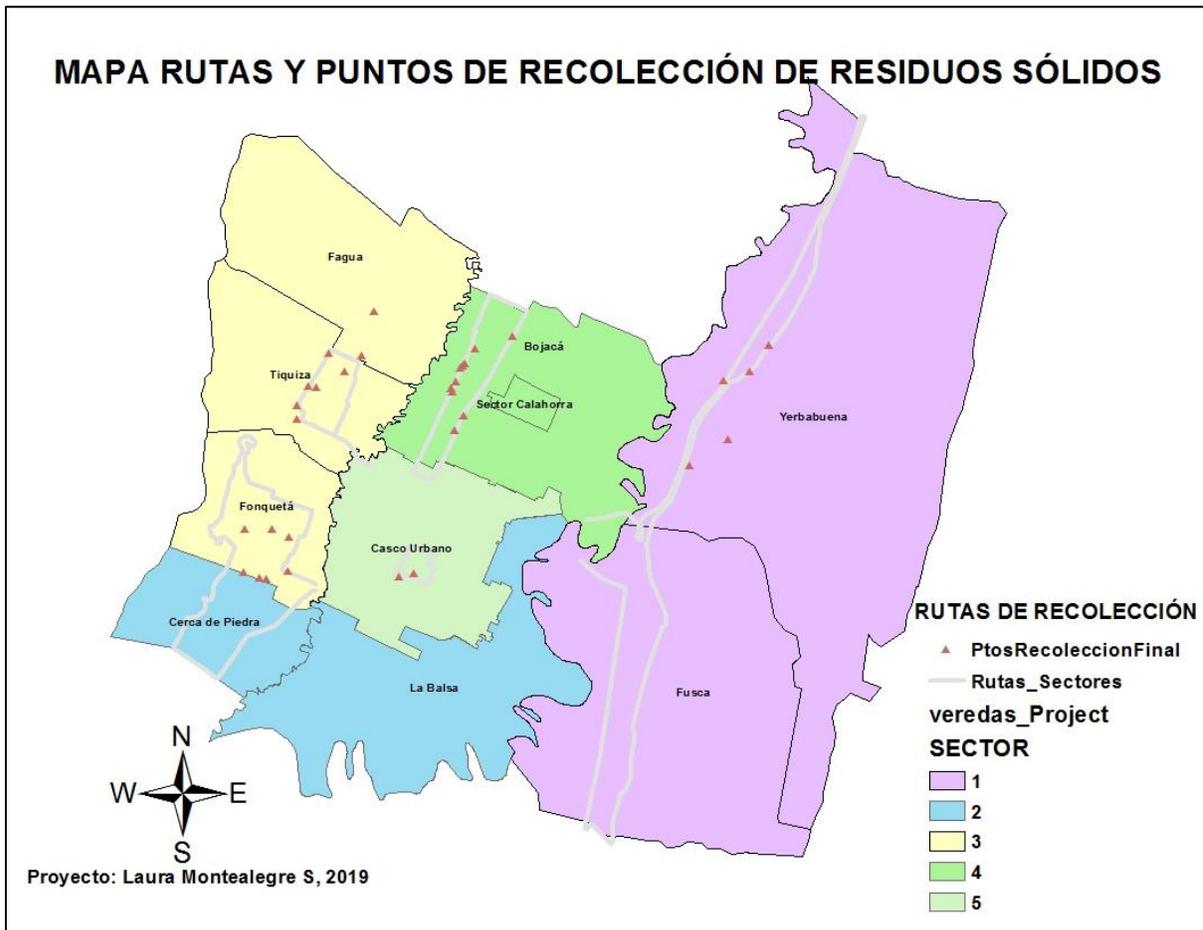


Ilustración 3. Mapa sectorización del municipio y rutas seleccionadas para el muestreo de la fracción orgánica

Realizado en el software ArcMap 10.3.1 con la ortofotografía municipal de Chía 2014 y la división por veredas del municipio, Shape files suministrados por SDMA (Laura Montealegre, 2019)

El recorrido es señalado en el software ArcMap 10.3.1, en forma de polígono del área que cubre la ruta (Ilustración 3), paso seguido se programa la semana del 22 al 27 de abril para realizar la toma de las muestras correspondientes a la fracción orgánica municipal, para llevar a cabo la toma de muestras en estas fechas, previamente se coordinó con la plaza municipal y el vivero para la obtención de insumos y cooperación en la logística. El primer cuarteo se llevó a cabo el miércoles 24 de abril, el cual representa la fracción orgánica de los residuos sólidos para el fin de semana y el segundo tuvo lugar el sábado 27 de abril teniendo como finalidad, representar los residuos producidos entre semana. En cada uno de los casos se recolectaron 120 kg de las 5 rutas del municipio, partiendo de la técnica de cuarteo de

implementada en el trabajo de grado de (Gómez Carrillo & Prieto Pulido, 2004), la cual fue sometida a variaciones para suplir con las exigencias de los kilogramos de muestra de fracción orgánica requeridas por el laboratorio para un correcto análisis. El procedimiento explicado a continuación se replicó para cada uno de cuarteos:

Paso 1: *Recolección de residuos sólidos*

Primero se recolectaron 24 kg de residuos sólidos por cada ruta, luego fueron llevadas en canecas de 55 galones y transportadas en la camioneta oficial de la SDMA hasta el vivero municipal donde se almacenaron hasta el día respectivo para el cuarteo. Para asegurar las cantidades significativas por ruta, se efectuó el pesaje de las bolsas durante los mismos recorridos a través de una báscula de gancho (Imagen 1); además se diligencio el formato de recolección de residuos sólidos (Anexo 2.1) y geo referenciaron los puntos donde se recogieron las bolsas con la ayuda de la aplicación Google Maps.

Imagen 12. *Recolección, pesaje y transporte de residuos sólidos implementados en el cuarteo*



Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

Paso 2: *Homogeneización*

Se vertieron los residuos contenidos en las canecas sobre una superficie pavimentada, paso seguido, el equipo de campo procedió a romper las bolsas con la ayuda de palas, ganchos y uñas para lograr una

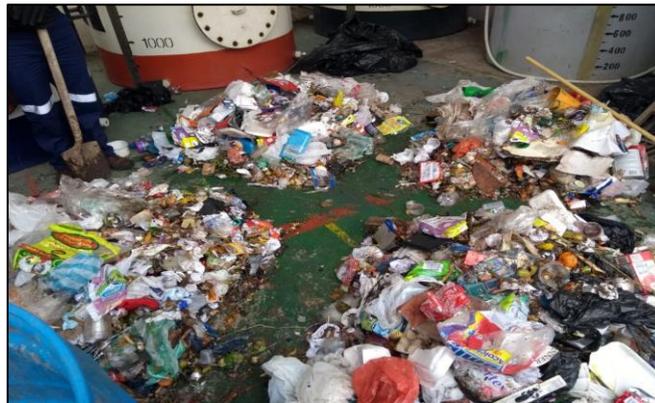
mejor manipulación de los residuos sólidos y de esta manera homogeneizar lo recolectado (Imagen 2) y disponerlo en forma de un círculo de 2 metros de diámetro aproximadamente, el cual se divide en cuatro cuadrantes, como lo muestra la imagen 3.

Imagen 13. *Proceso de homogeneización de los residuos sólidos*



Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

Imagen 14. *Cuadrantes*



Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

- Caracterización de los residuos:

Se escogieron los cuadrantes I y III para realizar la clasificación y posterior pesaje, la caracterización a realizar será la que se muestra a continuación en la tabla 5.

Tabla 5.

Clasificación de los residuos a caracterizar

CLASIFICACIÓN	
Orgánico	Cartón y Papel
	Residuo comida
<hr/>	
	Plástico
<hr/>	
	Metal
<hr/>	
	Vidrio
<hr/>	
RESPEL	R. Sanitario
	R. Químico
	R. Hospitalario
<hr/>	
Otros	Textiles
	Icopor
	R. Ordinario
	Tetrapack
	Otro

Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

Antes de realizar la caracterización, se pesaron de forma conjunta los cuadrantes seleccionados, la sumatoria de los residuos de cada cuarto no presentó una diferencia mayor a 2 kg, dando a entender según (Gómez Carrillo & Prieto Pulido, 2004) que la homogeneización de los residuos se realizó correctamente. Como la diferencia entre los cuartos no fue mayor a 2 kg, no fue necesario reiniciar el proceso de homogeneización y cuarteo.

Una vez verificado que los cuartos seleccionados para la caracterización cumplían con el requisito de la diferencia de peso, se dio inicio al pesaje de cada uno de los diferentes tipos de residuos separados y los datos quedaron registrados en el (Anexo 4).

Imagen 15. *Caracterización de los residuos sólidos*



Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

- Consideraciones de almacenamiento y transporte al laboratorio:

Una vez obtenido el cuarteo, la fracción orgánica se trituroó, luego las muestras (3 muestras para el fin de semana y 3 para entre semana) se empacaron en bolsas plásticas, rotularon¹ y se sellaron con vinipel, cada una con un peso de 10 kg. Dichas muestras se transportaron y entregaron según las indicaciones dadas por el laboratorio, a su vez, se llevó control de dichas entregas por medio de las cadenas de custodia (Anexo 5.1). Una vez en el laboratorio se realizaron los análisis fisicoquímicos respectivos como lo muestra la tabla 5.

¹ Los rotulados para cada una de las muestras de los diferentes flujos de residuos se realizaron según las especificaciones y cadenas de custodia dadas por el laboratorio Analquim, donde se estableció según la fecha, hora, tipo y código o nombre de la muestra, parámetros a analizar, lugar de toma de muestra y responsable.

Imagen 16. Trituración de la fracción orgánica y empaque de las muestras entregadas al laboratorio.



Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

- Limpieza:

Se recogieron los residuos sobrantes, para disponerlos al camión recolector los días miércoles y sábados. De igual manera, se devolvieron las canecas prestadas por la plaza municipal y los implementos de protección personal suministrados por la SDMA.

Tabla 5.

Métodos utilizados por el laboratorio Analquim para el análisis de residuos sólidos 2019

PARÁMETRO	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	EXPRESADO COMO
-----------	-------------------	--------	-------------------

*	Poder Calorífico (CV)	-	-	Btu/lb
*	Sólidos totales Volátiles (TVS)	Gravimétrico (Calcinación 550°C)	SM 2540 E	%
*	Nitrógeno Total Kjeldahl (TN)	-	-	%
*	Fósforo Total (TP)	Fusión con Nitrato de Sodio - Nitrato de Potasio y cuantificación	IGAC 2006	%
*	Sólidos Totales (TS)	-	-	-

*** Parámetro NO acreditado realizado en ANALQUIM LTDA.**

Agua residual

El lugar seleccionado para la toma de las muestras puntuales fue el colector principal de la PTAR I, debido a que, en este sector, las aguas residuales aún no han recibido ningún tipo de tratamiento. El trabajo de campo se efectuó entre semana (jueves 11 de abril) y fin de semana (domingo 21 de abril), asimismo se tomaron muestras en diferentes franjas horarias (mañana y mediodía) para obtener un margen amplio de representatividad del total de recursos que pueden llegar a ser potenciales.

A continuación, se explica el paso a paso para obtener cada uno de las muestras, cabe recordar que por cada criterio de análisis se realizaron tres muestreos, por esta razón se recolectaron un total de 12 muestras.

- Obtención de la muestra

Para dar inicio al muestreo, se aseguró que el recipiente (balde) en cual se captó la muestra estuviera purgado. Paso seguido, el balde fue lanzado nuevamente al agua, para obtener una cantidad significativa de muestra para ser depositada en los envases que contaban con el debido rotulado, siendo envasado según las indicaciones dadas por el laboratorio, 2 litros de muestra en una garrafa refrigerada para su transporte, un litro de agua residual preservado con H₂SO₄ distribuido en dos frascos ámbar de 500 mL y 1 litro preservado en HNO₃.

Imagen 17. *Obtención de las muestras de Agua Residual*



Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

- Análisis multiparametros in situ

Antes de proceder a depositar el contenido del balde en sus respectivos envases, se midió in situ, haciendo uso de un equipo multiparametros de referencia HACH HQd Field Case N° 58 258-00, los parámetros de: la conductividad, temperatura, pH y oxígeno disuelto. En cada muestra, se registró el nivel del agua marcado en la regleta ubicada en el canal, equivalente al caudal de ingreso a la PTAR I. La información se recolectó en el formato del (Anexo 2.2) y los resultados obtenidos se encuentran consolidados en el (Anexo 6)

Imagen 18. Análisis de los parámetros in situ del Agua Residual



Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

- Consideraciones de almacenamiento y transporte:

Con el objetivo de que las muestras para los análisis en el laboratorio fueran validas, se garantizó que no sufrieran alteraciones durante su almacenamiento y transporte. El almacenamiento se efectuó en neveras de Icopor, controlando que la temperatura no superara los 4 °C y que estas fueran entregadas antes de un laxo de 24 horas tomada la muestra al laboratorio. De la misma manera que en el flujo anterior, se llevó control de las entregas al laboratorio (Anexo 5.2). Una vez en el laboratorio se realizarán los análisis fisicoquímicos respectivos como lo muestra la tabla 6.

- Limpieza:

El agua residual sobrante del proceso, se dispuso en el punto donde se realizó la toma de la muestra y continuó el curso habitual de tratamiento. Los elementos implementados durante la actividad fueron lavados y esterilizados para un próximo uso.

Tabla 6.

Métodos utilizados por el laboratorio Analquim para el análisis de Agua Residual 2019

PARÁMETRO	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	EXPRESADO COMO
a DBO5	Incubación 5 días- electrodo de Membrana	SM 5210, 4500- O-G	mg/L O2
a DQO	Reflujo abierto y titulación	SM 5220 B	mg/L O2
a Sólidos Totales (TS)	Gravimétrico	SM 2540 B	mg/L
* Sólidos totales Volátiles (TVS)	Gravimétrico	SM 2540 E	mg/L
a Nitrógeno Total Kjeldahl (TN)	Destilación- Volumétrico	SM 4500- NORG C, 4500 NH3 BC	mg/L- N
a Potasio (K)	Espectrometría de Absorción Atómica	SM 3030K, 3111 B	mg K/L
a Fósforo Total (TP)	Colorimétrico	SM 4500 - P B, E	mg/L

a Parámetro acreditado ante el IDEAM, resolución 1335 del 13 de junio de 2018

*** Parámetro NO acreditado realizado en ANALQUIM LTDA.**

Lodos de PTAR

Para el caso de los lodos de la PTAR se tuvo en cuenta las recomendaciones expuestas en la *NTC-ISO 5667-12*, siendo así, el clima factor clave al momento de realizar el muestreo, puesto que, las condiciones de tormenta pueden perturbar los lechos de sedimento en tal forma que el muestreo se vuelva impracticable (Icontec, 1998). Además, en cuerpos de agua estacionaria como son las lagunas de aireación y facultativas con profundidades menores de 4 m, se usaron equipos operados manualmente (Icontec, 1998). Se implementaron como instrumentos de recolección la draga Eckman (lodos superficiales) y un tubo de PVC de ½ pulgada (lodos profundos), fabricado manualmente en el ISA con una longitud de 6 metros y una válvula en el extremo superior, que funcionaba a manera de

pipeta. Para ambos casos la obtención de los lodos fue diferente debido a las condiciones propias de cada laguna.

Laguna de Aireación

- Parcelación:

Luego de rectificar en campo las medidas obtenidas de la ortofotografía del municipio para el año 2014, se procedió a dividir equitativamente en nueve (9) cuadrantes la laguna Ilustración 2, ubicando a los costados los puntos correspondientes a la mitad de las porciones con ayuda de una guía puesta en el suelo.

- Obtención de la muestra:

Por medio de la balsa implementada para la limpieza de los aireadores, se logró acceder a los nueve puntos destinados para recolección de sedimentos, para la manipulación y desplazamiento de la misma fue necesario disponer de cuatro colaboradores, dos ubicados a los extremos de la laguna y los otros dos con certificado de alturas sobre la balsa, encargados de la manipulación de la draga y el tubo. En cada uno de los puntos se dejó caer dos veces la draga Eckman sobre la superficie del lodo y luego se introdujo el tubo para recolectar los lodos del fondo de la laguna.

Laguna Facultativa

- Parcelación:

Debido a la profundidad de esta laguna (2 m) y la cantidad sedimentos presentes, no fue autorizado la “navegación” dada la peligrosidad y exposición a caídas sobre las aguas residuales; por esta razón solo se recolectaron lodos de las orillas de la laguna como se muestran en la ilustración 4.



Ilustración 4. Parcelación lagunas de Aireación y Facultativa de la PTAR I Chía

Obtenida de la ortofotografía municipal de Chía 2014, modificada por (Montealegre S., L; 2019)

Imagen 19. Obtención de lodos de la laguna de aireación



Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

- Obtención de la muestra:

Dada a la complejidad en la obtención de la muestra, se utilizó únicamente el tubo de pvc como instrumento para captar los lodos, realizando dos tomas de sedimentos por cada punto (Imagen 8 y 9).

Imagen 20. Obtención de lodos laguna Facultativa



Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

- Homogenización:

En cada caso los lodos recolectados fueron dispuestos en baldes para su posterior homogeneización en un envase con la capacidad de almacenar las cantidades obtenidas y permitirá una fácil manipulación. Para no alterar los resultados de las muestras se implementó un palo de madera al momento de mezclar los sedimentos.

Imagen 21. Homogeneización de los lodos obtenidos de la laguna de aireación y la laguna facultativa.



Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

- Consideraciones de almacenamiento y transporte:

De la homogeneización para cada laguna se obtuvo tres muestras de 2 Kg, las cuales fueron empacadas en bolsas ziploc y posteriormente en envases de plástico con su respectivo rótulo (imagen 11) siguiendo las indicaciones del laboratorio; finalmente se transportaron al laboratorio Analquim, encargado de realizar el análisis de los siguientes parámetros como lo indica la tabla 7.

Imagen 22. Envase de muestras lodos obtenidas de las lagunas de la PTAR I Chía.



Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

- Limpieza:

Luego empacar los lodos en sus respectivos envases, las muestras excedentes fueron dispuestas en las trincheras donde se disponen todos los residuos sólidos recolectados y filtrados durante el tratamiento del agua residual. Los instrumentos utilizados fueron lavados y donados a la PTAR para su futuro uso.

Tabla 7.

Métodos utilizados por el laboratorio Analquim para el análisis de Lodos de PTAR 2019

PARÁMETRO	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	EXPRESADO COMO
* Poder calorífico (CV)	-	-	Btu/lb
* Sólidos totales Volátiles (TVS)	Gravimétrico	SM 2540 E	%
a DBO5	-	-	mg/L O2
a DQO	Reflujo abierto- Espectrofotometría	SM 5220 B - NTC 5403	mg/Kg
* Nitrógeno Total Kjeldahl (TN)	Volumétrico	NTC 5889	mg N/Kg
* Fósforo Total (TP)	Colorimétrico (Azul de Molibdeno)	IGAC 2006	mg P/Kg
a Potasio (K)	Espectrometría de Absorción Atómica	EPA 3052 Versión 1996 - SM 3111 B	mg/ Kg
a Sólidos Totales (TS)	-	-	mg/L

a Parámetro acreditado ante el IDEAM, resolución 1335 del 13 de junio de 2018

*** Parámetro NO acreditado realizado en ANALQUIM LTDA.**

- Etapa 3: Según objetivo 3. Modelar la gestión actual que se realiza sobre los flujos de residuos urbanos para identificar y estimar los potenciales recursos aprovechables**

Luego de obtener los resultados de laboratorio, se procedió a modelar la información, teniendo como base la gestión actual implementada en el municipio para la recuperación de los recursos contenido en los flujos de residuos orgánicos urbanos. Los flujos de residuos que no presenten aprovechamiento de los recursos contenidos, igual serán insumo para modelar diferentes escenarios de aprovechamiento que serán desarrollados dentro de la segunda fase de desarrollo del proyecto PCI2017.9544 y UrbanCircle.

La herramienta REVAMP TOOL versión 0.2.0 que está desarrollada y parametrizada en Excel cuenta con una hoja "introducción", que describe el paso a paso para su uso; esta contempla tres aspectos a evaluar. El primero de ellos corresponde a tres flujos de residuos (lodos fecales, lodos de agua residual y fracción orgánica), el segundo muestra cuatro opciones de recuperación de recursos (digestión anaeróbica, combustible sólido, larvas de moscas soldado negro y compostaje) y por último cinco (5) hojas de trabajo que, en conjunto, permiten estimar el potencial de recuperación de cada uno de los recursos.

Paso 1: *Waste Quality “Calidad de residuos”*

En este paso se ingresaron los datos provenientes de las muestras de fracción orgánica de los residuos sólidos tomadas en campo, a excepción de aquellos que no se analizaron, los cuales fueron reemplazados por los datos obtenidos de la revisión bibliográfica inicial o en su defecto se mantuvo la información predeterminada suministrada por la herramienta.

Paso 2: *Treatment Processes “Procesos de tratamiento”*

Al igual que en el paso anterior, la herramienta dispone de unos datos predeterminados, referentes a la transformación fisicoquímica de los flujos de residuos, durante los diferentes procesos de tratamiento.

Una vez se establecen los datos de la gestión actual y el tipo de tratamientos desarrollados por el municipio; estos se ingresan en los campos establecidos por la herramienta, manteniendo en blanco los valores que se consideren inciertos.

Paso 3: *Prices “Precios”*

En esta hoja se ingresan los precios aproximados de los productos similares presentes en el mercado, que dan una idea del valor de los productos que se podrían recuperar por parte del municipio. Estos datos se obtuvieron de consultar los precios a los comerciantes de la zona.

Paso 4: *Results “Resultados”*

Esta hoja permite en una matriz de procesos combinar la información recopilada en el transcurso del proyecto de diferentes formas, al igual que, predecir el comportamiento de los productos obtenidos de la recuperación, según el tipo de tratamiento al cual serían sometidos los flujos de residuos orgánicos. REVAMP permite explorar varios escenarios, cada uno con diferentes cantidades de flujos de residuos (por ejemplo, proyecciones actuales y futuras), también explorar varias alternativas de recuperación de recursos (Ddiba, 2016).

Como el alcance de esta investigación, quiere evidenciar únicamente la gestión actual del municipio de Chía, los porcentajes de recuperación por flujo y las cantidades producidas dependen de los resultados obtenidos en los objetivos 1 y 2. Paso seguido de suministrar la anterior información, se generan los resultados que indican el potencial de recuperación de recursos para cada opción.

Paso 5: *Graphs “Gráficos”*

La herramienta proporciona graficas que facilitan la comparación de las distintas opciones de recuperación de recursos en función de su potencial de ingresos, las cantidades de nutrientes y energía.

Una vez terminado el proceso de modelación del escenario actual de la gestión de los flujos de residuos orgánicos urbanos, su respectiva validación y ajuste, se procedió a discutir y analizar las opciones dadas por la herramienta con el grupo de trabajo del PCI2017-9544.

7. Aspectos Éticos

Durante el desarrollo del presente trabajo, no se realizaron intervenciones o tratamientos en humanos. La investigación fue posible gracias al consentimiento de parte del Municipio de Chía y a los proyectos PCI2017-9544 y UrbanCircle que brindaron los recursos económicos y humanos para el desarrollo del presente trabajo; además este se rigió a la normatividad colombiana vigente, implementando los protocolos de seguridad y salubridad para la obtención de las muestras. Por esta razón, en la transversalidad de obtención de las mismas, los responsables de campo contaban con ARL e hicieron uso de los equipos de protección personal; para el caso específico del manejo de la balsa, los operarios contaban con el certificado de manejo de alturas vigente.

De igual manera los participantes en la investigación tenían conocimiento del propósito y el alcance en la manipulación de la información brindada. Se respetó la dignidad humana, la igualdad, la autonomía individual y la libertad de expresión. Los resultados presentados se reportan con honestidad y dando certeza que no se presenta información confidencial que impida su publicación.

8. Resultados, Análisis y discusión de resultados

Descripción de la gestión actual en los flujos de residuos orgánicos urbanos (Objetivo 1)

En el municipio de Chía, el Servicio de Acueducto y Alcantarillado en el área rural y urbana es prestado en su mayoría por la Empresa de Servicios Públicos de Chía, Emserchía ESP, que cubre 34.629 suscriptores, el acueducto PROGRESAR ESP que tiene 909 usuarios localizados en la parte alta de las veredas Yerbabuena y Fusca, y el acueducto Asohonda con 170 usuarios; la cobertura de acueducto en el área urbana es del 100% y en la zona rural del 92% (Contraloría de Cundinamarca, 2016). En relación al consumo de agua se presenta un aumento por habitante entre 2014 y 2015, de 108 l/hab-día a 115 l/hab-día (Alcaldía Municipal de Chía, 2017). Emserchía fue creada y opera desde 1979, según el Registro Único de Prestadores de Servicios Públicos (RUPS), en 1997 fue constituida como Empresa Industrial y Comercial de Estado del orden municipal, con el objeto de prestar los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en el municipio de Chía. (Alcaldía Municipal de Chía, 2016).

En cuanto a la red de alcantarillado existen tres puntos de vertimientos puntuales de aguas residuales sobre cuerpos de agua, tres de ellos sobre el Río Frío –Colector premezclados, Colector La Lorena y Colector Proleche- y uno sobre el Río Bogotá – Colector PTAR, único punto con Planta de Tratamiento que cubre aproximadamente el 40% del total de aguas residuales. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017). En general para el municipio los vertimientos que se presentan son principalmente domésticos, agrícolas provenientes de floricultivos, industriales de Diccementos Chía (Cemex) y Holcim y los de la PTAR de Chía. Adicionalmente, en la quebrada Honda se identifica disposición de aguas residuales domésticas provenientes de viviendas, como también, en la Chucua de Fagua y en los vallados junto a vertimientos pecuarios. Asimismo, se presentan vertimientos difusos por actividades agropecuarias y directamente al suelo, situación aunada a la construcción de pozos sépticos sin criterios técnicos, sin o muy poco mantenimiento, como también, vertimientos en el alcantarillado público sanitario (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

El único prestador del servicio de aseo registrado en el sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios (SUI) para el municipio es la Empresa de Servicios Públicos de Chía, Emserchía

ESP, pero el área comercial informa la presencia de otra empresa, Interaseo SA ESP, que presta el servicio a algunos grandes generadores. (Alcaldía Municipal de Chía, 2016). Emserchía presta directamente los componentes de barrido y limpieza, recolección y transporte, y comercialización del servicio de aseo, para el componente de disposición final de residuos tiene contrato con el Relleno Sanitario de Nuevo Mondoñedo. (Alcaldía Municipal de Chía, 2016).

Según la actualización del PGIRS para el 2016, los problemas identificados en el manejo de los flujos de residuos sólidos son:

- El desaprovechamiento de la materia potencialmente reciclable (MPR), esto causado por las ineficiencias en la separación en la fuente por parte de los usuarios.
- Generación de puntos críticos, provocada por la inadecuada presentación de los residuos por parte de los usuarios, la persistencia del reciclaje en calle y el retraso en el servicio por parte del prestador.
- Falta de coordinación entre el prestador y la alcaldía municipal para la atención de evento especiales
- Prestación de servicio de corte de césped y poda se presta de forma irregular puesto que no se cuenta con un inventario, ni programa de prestación de servicio
- Los residuos orgánicos son dispuestos en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo, debido a que el municipio no cuenta con una plata municipal para el tratamiento de RSO, ni convenio para implementar programas de aprovechamiento.
- Falta de regulación de las empresas recolectoras de MPR por parte de las bodegas de almacenamiento que no han logrado conseguir los permisos del uso del suelo, al igual de la informalidad de recicladores y procesos administrativos que resisten a vincularse al esquema de aprovechamiento.
- Presencia de recuperadores informales y organizados de otros municipios.

Entre las principales afectaciones puntuales identificadas en el municipio se encuentra la contaminación orgánica de las aguas residuales, el vertimiento de aguas sin tratar, el cambio de uso del suelo por vivienda suntuaria, la inexistencia de proyectos de ampliación de acueducto y alcantarillado en zonas donde se autorizan proyectos urbanísticos, la intervención y relleno de la quebrada Honda en la parte baja, y la intervención realizada en el área de influencia del Puente del Común, monumento nacional

que cruza el río Bogotá. . (Alcaldía Municipal de Chía, 2017). De igual manera el Plan de Manejo Ambiental del 2017 describe que las causas directas que inciden en la mayoría de problemáticas sobre el sistema son:

- El aumento de la superficie construida y densificación
- Desbordamiento de la capacidad de la administración municipal
- Baja coordinación intersectorial- interinstitucional
- Aumento poblacional en áreas residenciales
- Información municipal desactualizada e insuficiente
- Incremento en la demanda y construcción de viviendas
- Incumplimiento de la reglamentación definida en el POT

A partir del estado de actividad financiera, económica y social a diciembre de 2016 de la Alcaldía municipal, los comparativos de los años 2015 y 2016 para el gasto social en medio ambiente fueron del 0,4% para el año 2015 y del 0,6% para el año 2016, correspondiendo al presupuesto más bajo después del de recreación y deporte. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Descripción de la fracción orgánica de los residuos sólidos

Para describir el comportamiento de este flujo, se diagrama la gestión actual de los residuos sólidos (Ilustración 5) y se detalla a continuación los aspectos generales en el comportamiento respecto a las cantidades generadas, el manejo en la recolección y disposición de los mismos. También se hace una breve descripción de los últimos programas de aprovechamientos de residuos, liderados desde la SDMA. Finalmente se explica sobre el manejo especial brindado desde la dirección de desarrollo agropecuario y económico (DDAE) a los residuos producidos en la plaza de mercado municipal y la planta de faenado y sacrificio (PSF).

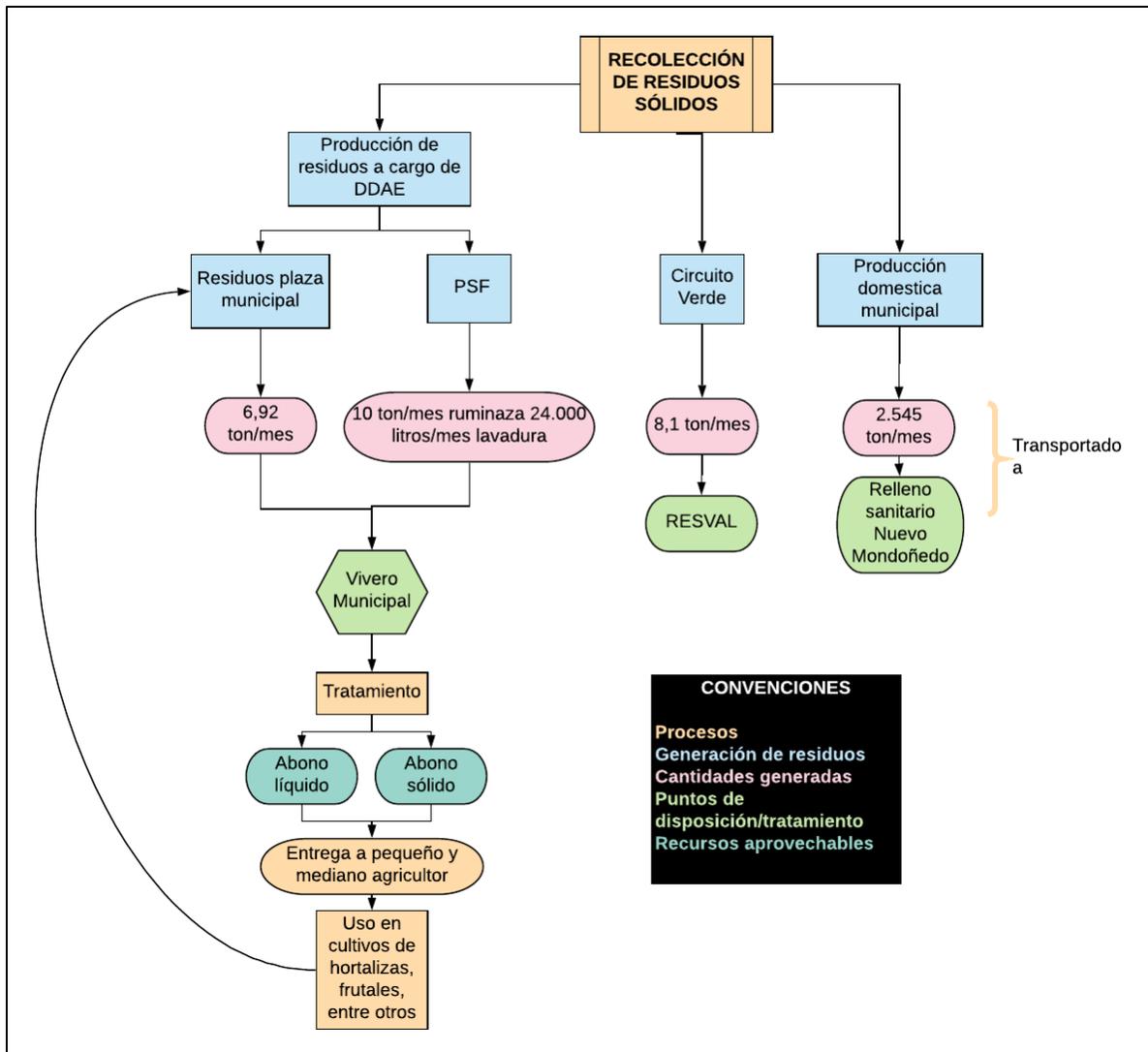


Ilustración 5. Diagrama la gestión actual de los Residuos Sólidos municipales

Es el resumen de la revisión sistemática de los documentos oficiales del municipio (Montealegre S., L; 2019)

Aspectos generales

Se estima para el año 2014 que el municipio de Chía gestiona a través del servicio de aseo 2.680 ton/mes, de los cuales; de acuerdo con los registros de pesaje del Relleno Sanitario Nuevo Mondoñedo, localizado a 38 km al sur oriente del municipio, corresponden a un promedio de 2.545 ton/mes, y 135 ton/mes³ que se recuperaron a través del programa de aprovechamiento que lideraba Emserchía ESP en conjunto con los recuperadores y bodegueros del municipio. (Alcaldía Municipal de Chía, 2016). Dado que la cobertura reportada por el operador del servicio de aseo es del 100% tanto en el área urbana como

en el área rural, es posible afirmar que los anteriores datos corresponden al total generado por los habitantes del municipio de Chía. Considerando un valor promedio de habitantes por vivienda de 4, se calcula una PPC de 0,67 kg/hab-día (Alcaldía Municipal de Chía, 2016). Ubicándose en el rango definido por el RAS para un nivel de complejidad alto, como es el caso Chía. (Alcaldía Municipal de Chía, 2016). Por medio de la caracterización realizada en año 2015, se establece el porcentaje al cual corresponde la fracción orgánica dentro de los residuos sólidos producidos por cada uno de los sectores del municipio como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8.

Porcentaje de fracción orgánica según sector de generación

SECTOR	PESO MUESTRA (Kg)	%
Rural	102,7	66%
Urbano	164,5	48%
Comercial	22,6	44%
Industrial	4,00	7%
Plaza de Mercado	273,75	91,4%

Fuente: Adaptación tomada del (Alcaldía Municipal de Chía, 2016)

Los residuos sólidos productos del corte de césped y ornamentación municipal son llevados a tres acopios ubicados en la vereda La Balsa para ser utilizados como insumo de compostaje y otra parte es regalada para alimentación animal. Los residuos verdes producto de la poda de árboles son triturados, para luego ser utilizado en procesos de aprovechamiento en el vivero municipal. (Alcaldía Municipal de Chía, 2016).

En el municipio no se presta el servicio de recolección, transporte y tratamiento de residuos peligrosos ni de construcción y demolición, por lo cual no hay una escombrera que permita disponer adecuadamente de los escombros y realizar procesos de aprovechamiento de este tipo de residuos. La proyección realizada por la Secretaría de Medio Ambiente del municipio respecto a la producción anual de escombros arrojó los siguientes resultados: máximo 288.792 m³; promedio 185.346 m³ y mínimo

33.036 m³, lo cual está relacionado directamente con las condiciones económicas del momento y la actividad constructora relacionada. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

Historia de programas de aprovechamiento

Emserchía ESP ha implementado el programa de recuperación y aprovechamiento de residuos en el PGIRS 2005, desarrollado desde el 2013 por medio de la ruta de recolección selectiva “*Ruta Pionera*”. Que prestaba el servicio a 43 sectores (Barrios) de todo el municipio, la ruta estaba enfocada en la sensibilización de los usuarios y su responsabilidad en realizar la separación en la fuente y la promoción del reciclaje. El material recolectado a través de la Ruta Pionera era entregado a las bodegas del municipio que hacen parte de la Asociación de Bodegueros de Colombia ABC, con quien Emserchía ESP suscribió un convenio bajo el cual cada mes el material era vendido a una bodega diferente. El material recolectado a través de la Ruta Pionera era llevado y descargado en la base de operaciones de Emserchía ESP en donde se guardaba temporalmente para ser recogido posteriormente por alguna de las bodegas según una programación establecida previamente. De acuerdo con las estadísticas de Emserchía ESP, a través de la ruta pionera en 2014 se recuperaron en promedio 6,5 ton/mes y en el periodo comprendido entre enero y julio de 2015 el promedio mensual fue de 6,7 ton (Alcaldía Municipal de Chía, 2016)

La ABC fue conformada en el año 2009 agrupando bodegas de Chía y de otros municipios de la región. En la actualidad 13 bodegas hacen parte de dicha asociación de las cuales 6 se localizan en Chía. El material que se comercializa en mayor cantidad es el cartón, seguido de la chatarra proveniente principalmente del sector industrial, le siguen en su orden el papel, el vidrio, los plásticos, y el aluminio. (Alcaldía Municipal de Chía, 2016)

A través de comunicación personal con la ingeniera ambiental Jennifer Rossi, funcionaria de la SDMA perteneciente al grupo PGIRS, (J. Rossi, comunicación personal, mayo 10 de 2019) se corroboró la información esbozada en los documentos de PMA y el PGIRS para el 2016; encontrando que, el proyecto “Ruta pionera” finalizó, debido a que Emserchía no disponía de la demanda de camiones necesarios para hacer la recolección de los residuos sólidos, por otro lado económicamente no era

rentable para la empresa, dado que esta no puede hacer manejo de residuos recuperables sino sólo a través de las asociaciones como lo establece el artículo la ley 142 de 1994 y lo ratifica el artículo 3 del Decreto 596 de 2016, donde la empresa realiza el pago del material recuperado/aprovechable siguiendo los lineamientos de la superintendencia de servicios públicos.

Actualmente se está desarrollando una prueba piloto desde la SDMA en conjunto con Emserchía que tiene como objetivo el aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos (RSO) por medio del proyecto “*Circuito Verde*”. El cual dio inició el 14 de agosto de 2017 en el sector El Cairo (Ilustración 6) con una sensibilización de aproximadamente 1.725 usuarios, de los cuales, solo el 30% participan en la separación y posterior aprovechamiento de 97.6 ton/año para el 2018. En sus inicios los RSO recolectados se transportaban hasta el municipio de Tenjo donde eran tratados por la empresa Lombrices de Tenjo, a partir del mes de abril del presente año, estos mismo están siendo dispuestos en la empresa RESVAL, ubicada en el municipio de Cajicá. La ruta de recolección se lleva a cabo los días lunes y viernes de 7: AM - 9: AM, la empresa receptora de los RSO presta el servicio a cero costos. Se pretende la ampliación del área de cobertura y usuarios vinculados, para ello, Emserchía estudia diferentes posibilidades de empresas/lugares que tengan la capacidad de manejo de las cantidades futuras a recolectar con el aumento en los sectores de recolección de los RSO. Conviene subrayar que respecto a la información suministrada acerca del proyecto Circuito Verde, no existe un documento oficial expedido por la alcaldía.

Programas dirección de desarrollo agropecuario y económico

Los datos presentados a continuación se obtuvieron de una entrevista (Anexo 7.1) realizada al economista Jaime Sánchez, responsable de la Dirección de Desarrollo Agropecuario y Empresarial (DDAE) del municipio, una visita de campo (Anexo 7.2) desarrollada en el vivero municipal que está a cargo de la misma dirección y un oficio (Anexo 7.3) recibido en respuesta a un requerimiento de solicitud de información. Dentro de los procesos manejados por esta dependencia de la alcaldía, se encuentra la supervisión de la Planta de sacrificio y faenado que sacrifica al año 15.145 animales, la Plaza de mercado que dispone de una bodega especial para la recolección de la fracción orgánica de los residuos y el Vivero municipal que en conjunto, apoyan a los pequeños y medianos agricultores, haciendo de manera gratuita,

el asesoramiento técnico y la entrega de plántulas, semillas y abonos orgánicos (líquidos y sólidos) dependiendo de la demanda del usuario y necesidades del terreno a cultivar.

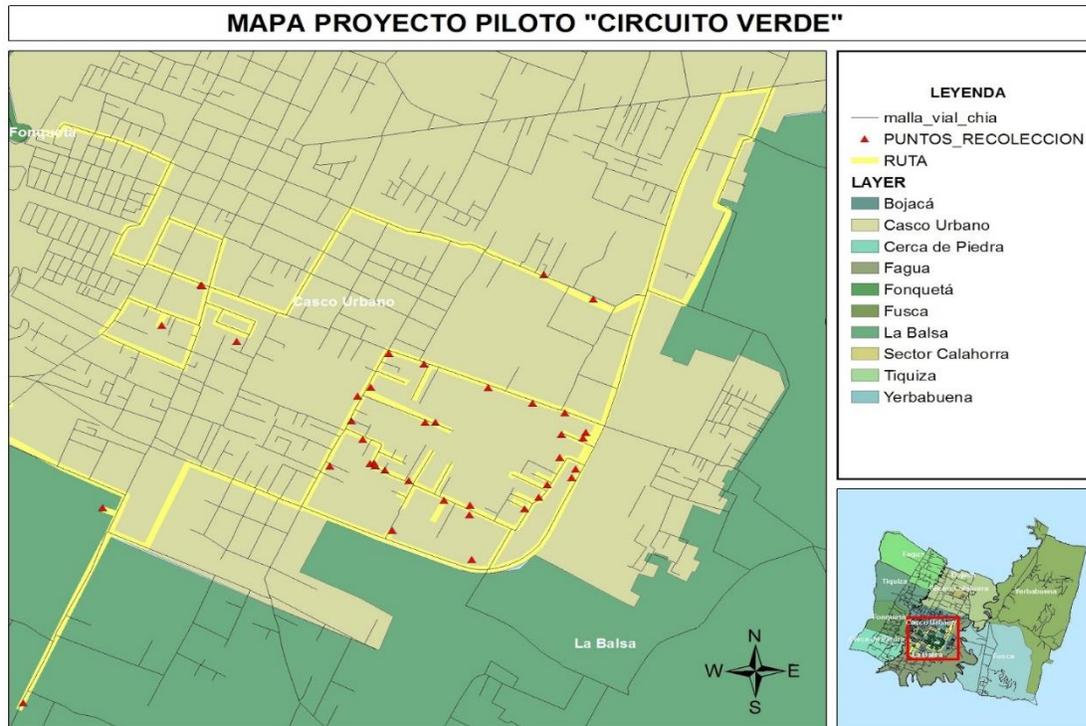


Ilustración 6. Mapa proyecto piloto “Circuito Verde” Sector El Cairo

Realizado en el software ArcMap 10.3.1 con los Shape Files de división por veredas del municipio, ruta por la cual pasa el “Circuito Verde” y los puntos de recolección de la misma, información suministrados por SDMA (Montealegre S., L; 2019)

Para el 2017, se dio apoyo a 697 usuarios, cifra que aumentó significativamente para el año 2018 con 3017 usuarios beneficiados. Según la DDAE en el municipio de Chía aún se desarrollan cultivos de papa, maíz, lechuga, brócoli, frijol, arveja y espinaca, los cuales ocupan cerca de 342 Hectáreas y han sufrido de un descenso dramático en la producción como lo muestra la ilustración 7 (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

El abono orgánico es obtenido luego de someter al proceso de compostaje los residuos sólidos orgánicos resultantes de la correcta separación de desechos generados por la plaza de mercado y la ruminaza eliminada del proceso de limpieza estomacal de las reses sacrificadas, 6.920 Kg/mes y 10 ton/sem respectivamente. Este tratamiento, desarrollado en las instalaciones del vivero municipal

presenta un rendimiento de 28.152 Kg/mes. El Abono líquido por su parte, es resultante del proceso de pasteurizado de las excretas líquidas (heces fecales y orina bovinas, mezcladas con agua) obtenidas del enjuague de corrales de la planta de sacrificio y faenado.

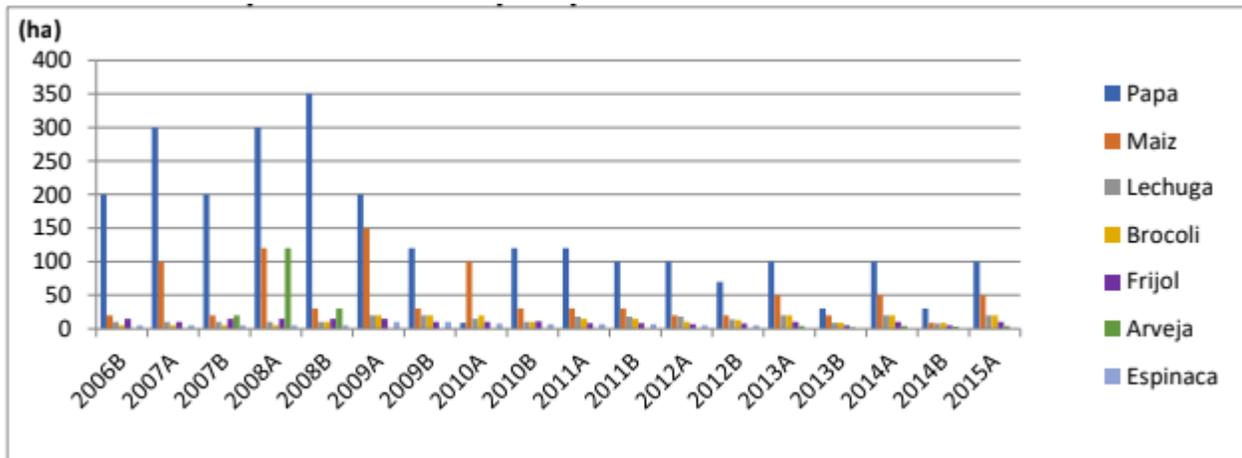


Ilustración 7. Superficie de principales cultivos transitorio cosechados entre 2006B – 2015B

Disminución de la actividad agrícola en el municipio de Chía en el periodo 2006B – 2015B (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

Para la realización de abono líquido se obtiene la materia prima de la lavadura de corral (24.000 litros/mes) de la planta de sacrificio y faenado, la cual se recolectada por medio del vector municipal; una vez dispuestas en tanques comienzan su descomposición anaerobia. Luego, durante 15 días pasan por tres tanques a un proceso de pasteurización (60°C), se mejora el pH, para finalmente producir el abono líquido que es repartido según demanda a los campesinos y habitantes del municipio de Chía, quienes lo utilizan como fertilizante edáfico (suelos) y foliar (pasto y plantas).

Descripción de la gestión de Agua Residual y los Lodos de PTAR

Para contemplar la gestión de estos dos flujos de residuos orgánicos, se parte desde la contextualización del comportamiento en la hidrografía que maneja el municipio y las actitudes de usos que estas presentan, luego una breve explicación del sistema de acueducto, donde se relata la obtención del agua potable por parte del municipio, posteriormente, se describe cómo estas aguas son colectadas por el sistema de alcantarillado; para concluir con el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua

residual y los planes contemplados a corto y mediano plazo dentro de la gestión del municipio para dar solución a los inconvenientes actuales en el saneamiento a nivel del manejo del agua residual (PTAR II). Se da a entender que el comportamiento de los lodos de PTAR va de la mano con la construcción, operación y mantenimiento dados a la planta. De igual manera, como en el flujo anterior se mapea el comportamiento y la generación del agua residual y los lodos de PTAR (Ilustración 8)

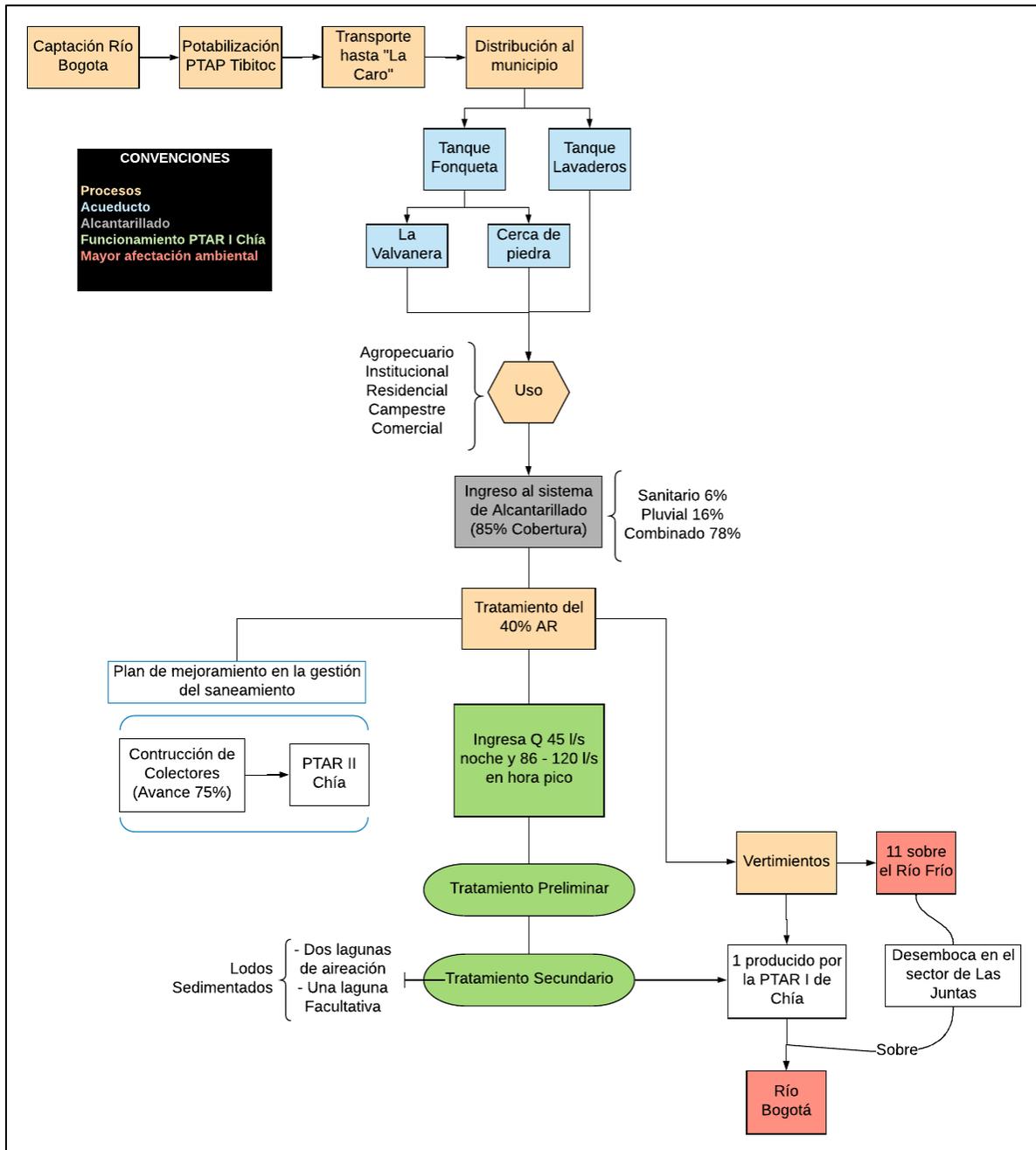


Ilustración 8. Diagrama la gestión actual del Agua Residual municipal

alivio y la expansión de la frontera urbana en ronda hídrica, por lo tanto, en la época lluviosa, cuando el caudal aumenta, se presentan inundaciones, en parte debido a la reducción de zonas de alivio, como la ocurrida en el año 2011 (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

El río Bogotá es el cuerpo de agua más importante del municipio, el área correspondiente del río que atraviesa el municipio de Chía está estimada en 546 Ha; según el POT acuerdo_100 del 2016, su ronda de protección debe ser de 150 metros a cada lado del río. Es de resaltar que la pendiente del río Bogotá es mínima la cual va desde 0 a 7%, es decir, un relieve plano, por tanto el agua fluye lentamente.

Las coberturas vegetales predominantes en zona de ronda hídrica son los pastos, fragmentos de Bosque Secundario y siembras comerciales, principalmente con especies de Eucalipto. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017). Actualmente los principales usos de suelo del área de influencia del río en su paso por el municipio son: institucional, residencial campestre, comercial, agropecuario y protección hídrica de su ronda (jarillones). (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Las principales problemáticas que se presentan en el municipio, asociadas al río Bogotá son: alteración del flujo natural del cauce, contaminación por vertimientos directos e indirectos, disposición inadecuada de residuos sólidos sobre el cauce y zonas de amortiguación y/o de alivio (meandros), ocupación inadecuada de las rondas hídricas (construcciones), y deforestación, todo lo anterior debido a la carencia de educación, control y conciencia ambiental. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Sistema de Acueducto

La prestación del servicio de acueducto en el Municipio de Chía, actualmente está basado en el suministro de agua potable por parte de la Empresa del Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAB, por lo que los procesos de captación y tratamiento están bajo la responsabilidad de dicha empresa, ya que a esta se le compra bajo la modalidad de agua en bloque. De acuerdo con lo anterior, el sistema de acueducto del municipio de Chía es abastecido con agua del río Bogotá, potabilizada en la planta de tratamiento de Tibitoc. El agua tratada es transportada hacia Chía por medio de dos tuberías de concreto, una de 60 pulgadas y la otra de 78 pulgadas. En el sitio denominado “La Caro” se deriva el flujo de agua requerido por el municipio de Chía a través de una tubería en concreto de 30 pulgadas. En este mismo

sitio se encuentra la estación de macro medición y la estación reguladora de presiones de donde se deriva la tubería que lleva el agua hasta la red matriz del municipio para su distribución. Se realiza un bombeo hacia las partes altas del municipio, alimentando los tanques de Fonquetá y Lavaderos. Adicionalmente, en el tanque de la vereda de Fonquetá hay otro equipo de bombeo que alimenta el tanque de La Valvanera y el tanque de la vereda Cerca de Piedra. Así mismo, se bombea al tanque del Resguardo Indígena que alimenta por gravedad a los usuarios de este sector. Durante el 2012 el IRCA (Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano) fue de 0,0% para el municipio de Chía, es decir, que durante el año 2012 se distribuyó agua apta para consumo humano (Datos suministrados por el Instituto Nacional de Salud). (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Sistema de Alcantarillado

El sistema de evacuación de aguas residuales y aguas lluvias del municipio de Chía funcionan por gravedad y en su gran mayoría es de tipo combinado (pluvial y sanitario) 78%, como se puede concluir en la ilustración 10, existe un 16% de cobertura de alcantarillado pluvial y un 7% del municipio cuenta con un sistema de redes de alcantarillado sanitario.

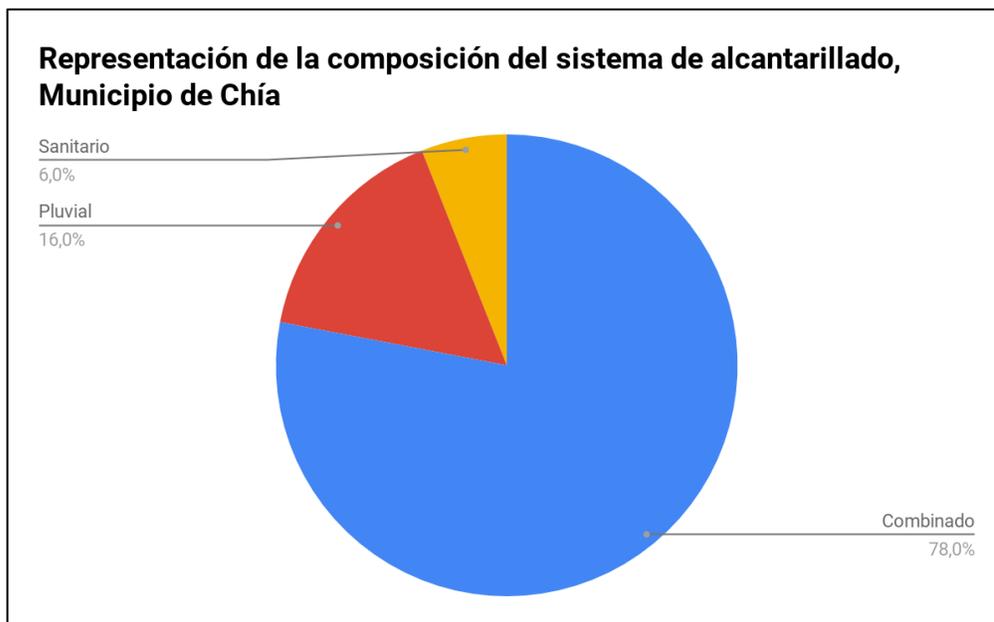


Ilustración 10. Distribución de Uso de Redes Alcantarillado

Representación de la composición del alcantarillado, información brindada por el Consultor, Consorcio Alcantarillado Chía 2014. Contrato 05 de 2014 (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

Los vertimientos se realizan sobre las dos principales cuencas existentes en el municipio, la del río Frío y la del río Bogotá. En cuanto al permiso de vertimientos, éste se encuentra a nombre de Emserchía E.S.P. y establece el permiso para 12 descargas de aguas residuales, sin embargo, el municipio de Chía, mediante convenio interadministrativo con la CAR, viene adelantando la construcción de colectores de Río Frío y Samaria, (avance del 75%), los cuales eliminarían once (11) de los puntos de vertimiento que actualmente tiene el río Frío, llevando las aguas al sector de Las Juntas donde se ubicará la futura PTAR Chía II, así como, un (1) punto de vertimiento sobre el río Bogotá. Actualmente el municipio cuenta con una cobertura del servicio de alcantarillado del 85% y al llegar al año 2020 (horizonte del presente PSMV), se espera alcanzar una cobertura en el servicio de alcantarillado del 95 %. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Puntos de vertimiento

El sistema de drenaje del municipio de Chía está dividido en dos grandes subcuencas de drenaje. La subcuenca del río Frío y la del río Bogotá, se identifican doce 12 puntos de vertimiento (Tabla 9), uno de ellos como efluente del Río Bogotá que corresponde al que realiza la PTAR Chía I y los restantes son receptados por Río Frío. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Tabla 9.

Vertimientos alcantarillado sanitario

VERTIMIENTO	CUERPO RECEPTOR
Guanatá, Fagua, el Darién, Fonquetá, Santa Bárbara, Premezclados, Puente Cacique, Proleche, Dinners y Las Juntas	Río Frío
Floresta, PTAR I Chía, Samaria	Río Bogotá

Fuente: (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

En la evaluación realizada en el Plan de adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá de la CAR, se establece que por contaminación orgánica el río Bogotá en 2009 recibía en Chía una descarga de 4046,05 de DBO5 (Kg/d), Respecto a Bogotá D.C. el de Chía representa el 1.1% y el 19% de la carga orgánica de Soacha. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

En coliformes totales y fecales para 2008 los vertimientos de Chía quintuplicaba el valor medido aguas arriba del municipio, aclarando que ni los ríos Frío y Bogotá cumplían en ese año los objetivos de calidad del agua para la clase IV51 que les fue definida tanto en DBO, como en coliformes totales y fecales, nitritos y sólidos totales. Para 2006 el río Bogotá recibía el 60% de los vertimientos del municipio sin tratar, a pesar que el 40% era recogido para tratamiento en la PTAR existente, esto debido al desbordado crecimiento poblacional (CAR, 2006). Igualmente, el índice de calidad de agua de corrientes para el río Bogotá es malo, oscilando en entre 0,3-0,4 de acuerdo con la red de monitoreo de aguas superficiales de la CAR para 2014 (Contraloría de Cundinamarca, 2014). (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Las afectaciones al sistema de alcantarillado mediante vertimientos de tipo no doméstico en el municipio de Chía se deben principalmente a industrias de alimentos, estaciones de servicio, instituciones de salud como clínicas y hospitales, industrias de flores entre otros. No obstante, en EMSERCHÍA no existe una base de datos consolidada con la caracterización de los usuarios que tienen vertimientos de tipo no doméstico al alcantarillado municipal (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Planta De Tratamiento De Aguas Residuales – PTAR CHÍA I

Actualmente el municipio de Chía cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, localizada en la parte oriental de la Vereda Samaria Sector Delicias Sur en las coordenadas geográficas: longitud: $-47^{\circ}2'21.9''$ y latitud: $4^{\circ}51'37.6''$ a una altura sobre el nivel del mar de 2562 m. Esta planta de tratamiento fue construida entre el año 1988 y 1989 en terrenos de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), debido al crecimiento poblacional y proceso de urbanización tan acelerado que se ha venido dando en el municipio fue necesario realizar un diseño de optimización para satisfacer la creciente demanda (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

De la visita de campo efectuada a la PTAR de Chía I (Anexo 8) se ratificó la información presente en el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, en este sentido, la PTAR I tiene una efectividad de tratamiento de las aguas residuales del 40%, provenientes de los colectores de la avenida Pradilla, Samaria y Santa Ana. Se estima que ingresan 45 L/s en la noche y entre 86-120 l/s en las horas pico. La

PTAR cuenta con un *tratamiento preliminar* el cual consiste en la remoción de residuos sólidos de gran tamaño por medio de cribados, paso seguido, el agua residual ingresa a los desarenadores y el sistema de trampa de grasas, donde son extraídos manualmente los sobrenadantes. El *tratamiento secundario* consiste en distribuir el caudal en las dos lagunas de aireación que funcionan paralelamente, para luego ingresar a la laguna facultativa, dando finalmente llega como efluente al río Bogotá.

Planes contemplados en la gestión del flujo de residuos - Agua residual

En el marco del plan maestro de alcantarillado del municipio de Chía se propone separar las redes de alcantarillado a mediano y largo plazo. Los colectores al margen del río Bogotá y Frío, se encargaran de la recolección de las aguas sanitarias del municipio y las entregarán a las plantas de tratamiento de agua residual, estas obras se desarrollarán a mediano plazo. Las obras desarrolladas a largo plazo, contemplan la construcción de redes y otras estructuras que garantizan la separación del sistema combinado, en manera de resumen la tabla 10 visualiza las obras contempladas en este documento para el mejoramiento de la red de alcantarillado y tratamiento del agua residual. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

Tabla 10.

Obras a corto, mediano y largo plazo contemplados en el Plan Maestro de Alcantarillado

CORTO PLAZO	MEDIANO PLAZO	LARGO PLAZO
Alcantarillado pluvial Calle 29 y la optimización, seguimiento y control PTAR I	Construcción de los colectores occidental 1, oriental 1,2,3, Colector PTAR norte 1,2, Colector PTAR sur 1,2,3 y Colector combinada PTAR	Sistema sanitario para las subcuencas 1, 4A, 4B, 4C, 4E, 4Z, 5A, 5B y 5C.

Fuente: Adaptado del documento (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

Es importante resaltar que dentro del análisis realizado en dicho documento se observaron tramos en contrapendiente, situación que se presenta por la inadecuada práctica de los procesos constructivos y/o por asentamientos diferenciales por las condiciones del suelo predominantes en la zona, adicional a esto, es necesario mencionar que estos tramos en su **condición estática** crecen de capacidad de transporte, sin embargo en la **condición dinámica** se presenta el transporte de flujo debido a la continuidad de

movimiento en el flujo. De igual manera se establece que el 10% de las redes no cumple con el criterio de velocidad establecido en el RAS, sin embargo se estudian las condiciones de los tramos iniciales. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Planta De Tratamiento De Aguas Residuales- PTAR CHÍA II

La CAR en el año 2009, contrató los Diseños de detalle para la Construcción de Obras de Saneamiento de los municipios de la Cuenca del río Bogotá, Paquete I (contrato 0735-09, COA6579) en la que incluía el diseño conceptual de los interceptores, con el objetivo de eliminar los vertimientos directos de aguas residuales que se hacen a través del sistema de alcantarillado al río Frío y al río Bogotá y el diseño de la PTAR II que se ubicará en las inmediaciones del río Frío del municipio de Chía, manteniendo la operación de la PTAR Chía I. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

La planta fue diseñada para una población de 184.697 habitantes y un caudal medio de 433,4 L/s. La PTAR de Chía II, contará con un tratamiento preliminar, un tratamiento secundario compuesto por tres estanques de aireación y tres clarificadores, un proceso de desinfección para descargar como efluente al río Frío y un sistema de tratamiento de lodos que contempla las etapas de espesamiento mecánico, digestión aeróbica y deshidratación mecánica. (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

A manera de análisis de los resultados documentados para el primer objetivo desarrollado, y en respuesta a la pregunta de investigación planteada al inicio de este documento *¿Cuáles son los potenciales recursos aprovechables en los flujos de residuos urbanos del Municipio de Chía?* Es preciso decir que actualmente el único flujo contemplado por el municipio y sometido a aprovechamiento es la fracción orgánica de residuos sólidos con el tratamiento de los residuos generados por la plaza municipal y PSF para convertirlos posteriormente en abono orgánico líquido y sólido que se entrega a los usuarios (pequeño y mediano agricultor). Además, el plan piloto “Circuito Verde”, que aunque no es un recurso aprovechado directamente en el municipio, si se incentiva a la ciudadanía desde la SDMA a una separación en la fuente de los residuos orgánicos.

Una limitante encontrado, es que el municipio de Chía no posee las instalaciones, ni la infraestructura operacional para el manejo de volúmenes más grandes de RSO; esta situación desencadena en el desaprovechamiento de los potenciales beneficios que trae la recuperación de los recursos, además de

incrementar los costos de la gestión, puesto que, los RSO son transportados a otros municipio para ser tratados, se entrega insumo de materia prima a cero costo.

Aunque las voluntades políticas están presentes y contemplan planes de ampliación en las extensiones del vivero para mejorar la capacidad de tratamiento, no hay normatividad que exija la optimización del mismo, ni obligue desde el POT proyectos destinados a un saneamiento sostenible, lo que conlleva a que este tipo de proyectos no sean una necesidad para el municipio, dificultando la destinación del rubro económico por parte de la administración municipal y en consecuencia se prolonga la ejecución de estas iniciativas.

El agua residual se contemplado desde la planeación municipal como un residuo, por lo que los planes de inversión actuales están dirigidos a aumentar la capacidad de tratamiento, como ejemplo, la construcción de la PTAR II. Siguiendo esta misma línea, los flujos de lodos de la PTAR I son vistos por los organismos de planeación como un problema de gestión en la disposición final, que pueden generar riesgos sanitarios. Aun así, aunque se conozcan los potenciales de recuperación el municipio no cuenta con la infraestructura para captar y transformar los residuos en recursos.

Inventario y caracterización de los diferentes flujos de residuos orgánicos urbanos (Objetivo 2)

A continuación se presenta el inventario de los diferentes flujos de residuos orgánicos urbanos, a través del cálculo teórico de las cantidades producidas por cada flujo partiendo de la descripción en la gestión actual de los flujos de residuos orgánicos relevantes para el municipio, cabe aclarar que los flujos de residuos más representativos y objeto de estudio producidos en la zona urbana son las aguas residuales, la fracción orgánica presente en los residuos sólidos y los lodos sedimentados presentes en las lagunas de aireación y facultativa de la PTAR de Chía. De igual manera, se presenta la información obtenida por medio del análisis y la caracterización fisicoquímica de las muestras obtenidas en campo como se describió en la metodología y fueron efectuadas por el laboratorio Analquim.

Población urbana del municipio de Chía

Durante la revisión de los documentos del municipio se encontró diferentes valores otorgados a la población del municipio de Chía para el año 2015, al igual que los porcentajes correspondientes al área rural y área urbana; sabiendo esto, se obtuvo el valor porcentual respectivo para cada una de las áreas del municipio como se muestra en la tabla 11. El dato de población implementado en los siguientes cálculos fue de 134.072 habitantes según el Plan Maestro de Alcantarillado (Alcaldía Municipal de Chía, 2017).

Tabla 11.

Porcentaje de población rural y urbana en el municipio de Chía 2015

TOTAL	URBANO	%	RURAL	%	FUENTE
Hab	Hab		Hab		
126.647	99.226	78,35	27.421	21,65	(DANE, 2007)
126.647	99.226	78,35	27.421	21,65	(Alcaldía Municipal de Chía, 2017)
141.416	100.702	71,21	40.714	28,79	(Alcaldía Municipal de Chía, 2016)
126647	99226	78,35	27.421	21,65	(Alcaldía Municipal de Chía, 2015)
		76,56		23,44	

Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

*Población rural 2015 = %Población Área rural * Población municipal Ecuación 1*

*Población rural 2015 = 76,56% * 134.072 habitantes*

Población rural 2015 = 102.645,5232 habitantes ≈ 102.646 habitantes

Sabiendo esto, se determina por medio de la ecuación 1, un estimado de 102.646 habitantes para el año 2015 en el área urbana de Chía.

Cálculo teórico de las cantidades y caracterización de los diferentes flujos de residuos orgánicos urbanos

A continuación se presentan los resultados obtenidos del cálculo de las cantidades en las unidades de medida (t/día y m³/día) y de los parámetros requeridos por la herramienta REVAMP al momento de modelar:

Fracción orgánica de los residuos sólidos

Según la caracterización presente en la actualización del PGIRS para el año 2016 la composición de los residuos presentados en el área urbana corresponde al 18% en papeles y textiles, 52% en materia orgánica (mo), 17% en plásticos y 14% otros residuos. De igual manera, el valor de la producción per cápita está relacionado con la cantidad de residuos sólidos gestionados considerando un valor promedio de 4 habitantes por vivienda, se calcula una PPC de 0,67 kg/hab-día. (Alcaldía Municipal de Chía, 2016).

Sabiendo esto, el cálculo de cantidades t/ día se obtuvo de la siguiente manera:

% Fracción Orgánica urbana = PCC * Población urbana * %mo *Ecuación 2.*

$$\% FO = 0,67 \text{ kg/hab. día} \times 102.646 \text{ hab} \times 52\%$$

$$\% FO = \frac{35.761,87 \text{ kg/día}}{1000 \text{ kg}}$$

$$\% FO = 35,76 \text{ t/día}$$

De los cuarteos realizados para la obtención de las muestras llevadas al laboratorio (Anexo 4) se obtuvo un porcentaje de fracción orgánica del 53,98% y 56,16%. Dado lo anterior fue rectificado la ecuación 2 Implementado el valor hallado, obteniendo:

% Fracción Orgánica urbana = PCC * Población urbana * %mo *Ecuación 2*

$$\% FO = 0,67 \text{ kg/hab. día} \times 102.646 \text{ hab} \times 55,07\%$$

$$\% FO = \frac{37.873,19 \text{ kg/día}}{1000 \text{ kg}}$$

$$\% FO = 37,87 \text{ t/día}$$

Los resultados de los parámetros analizados para este flujo se muestran en la ilustración 11 y se encuentra desglosados en el (Anexo 9.1)

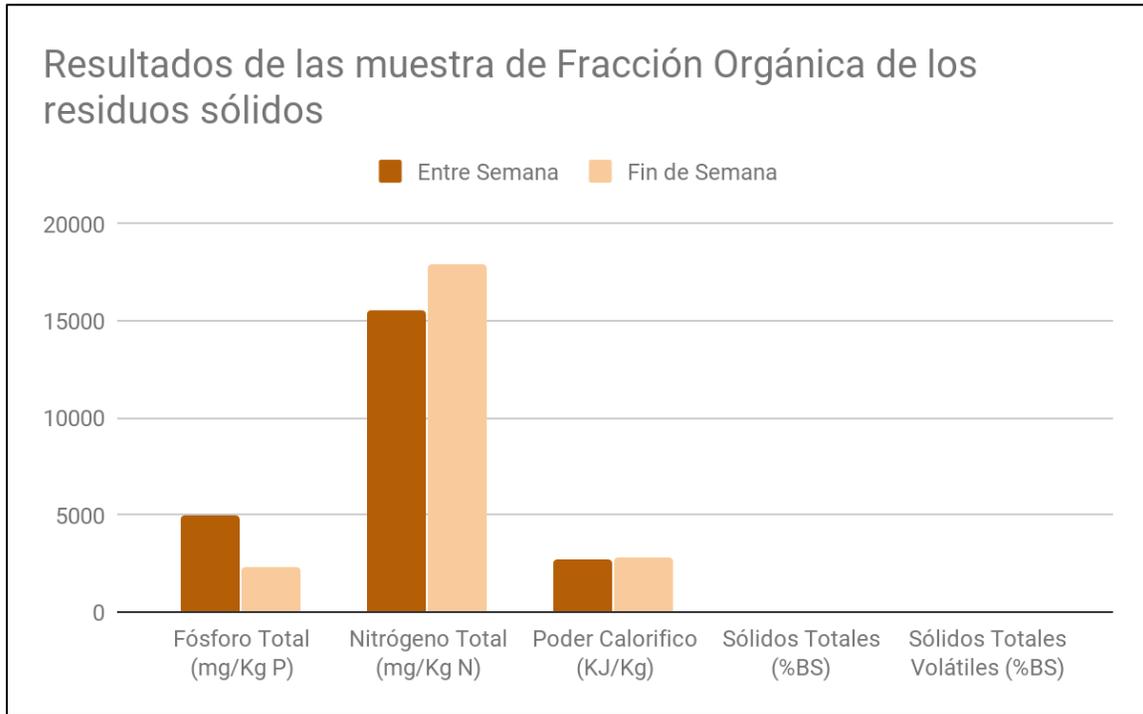


Ilustración 11. Resultados del análisis fisicoquímico de la fracción orgánica de los residuos sólidos

Resultados del análisis de las muestras de fracción orgánica (Analquim, 2019)

Agua Residual

Según la población del municipio de Chía para el año 2015 el RAS 2000 establece un nivel de complejidad Alto, por esta razón se adopta una dotación neta máxima de 140 L/hab.día y un coeficiente de retorno (R) de aguas residuales domésticas de 0.85. Se utiliza la ecuación del capítulo D.3.2.2 Contribuciones de aguas residuales, donde el aporte doméstico diario está dado de la siguiente manera:

$$Producción\ AR\ municipal = \frac{Dotación\ Neta * Población * R}{86400} \quad \text{Ecuación 3.}$$

$$Producción\ AR\ municipal = 140 \frac{l}{hab * día} * 102.646\ hab * 0,85$$

$$Producción\ AR\ municipal = 12\ 214.874 \frac{l}{día} * \frac{1\ m^3}{1000\ l}$$

$$\text{Producción AR municipal} = 12.214,87 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Del análisis de laboratorio para los parámetros fisicoquímicos analizados se obtuvo los siguientes resultados (Ilustración 12) (Anexo 9.3)

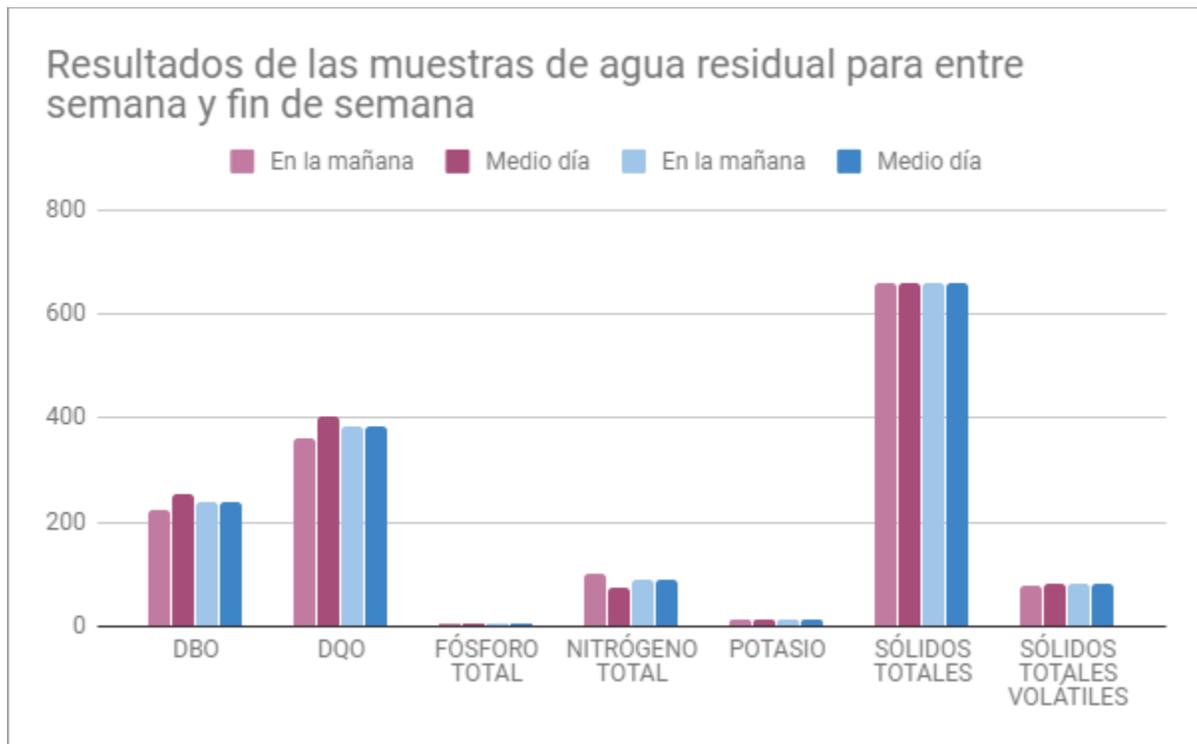


Ilustración 12. Resultado análisis físico químico del agua residual al ingreso de la PTAR I Chía

Resultados del análisis de las muestras de Agua Residual (Analquim, 2019)

Lodos de PTAR

Para estimar la cantidad de lodos producidos en las lagunas de aireación y facultativa se utilizó la metodología sobre lagunas de sedimentación expuesta por (Rolim, 1999). Los cálculos se realizaron para cada tipo de laguna:

Laguna de aireación

1. Se realiza el cálculo de la cantidad de sólidos suspendidos retenidos en la laguna a cada año

$$\Delta X_{ret} = 365 Q_{med} (X - X_{eft}) \text{ Ecuación 4}$$

$$\Delta X_{ret} = 365 * 6853,248 \text{ m}^3/\text{día} (0,11633 \text{ Kg/m}^3 - 0.06116 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\Delta X_{ret} = 138004,1976 \text{ Kg/año}$$

Siendo:

ΔX_{ret} = Cantidad total de los sólidos suspendidos retenidos en la laguna a cada año, Kg/año

Q_{med} = Caudal promedio de las aguas residuales, 6853,248 m³/día (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

X = Cantidad total de sólidos suspendidos, 0,11633 Kg/m³ (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

X_{eft} = Cantidad de sólidos suspendidos que sale en el efluente de la laguna a cada año, 0.06116 Kg/m³ Promedio STT laguna aireada 1 y 2 (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

2. Se determina la cantidad de sólidos suspendidos volátiles retenidos

$$\Delta X_{v,a_{ret}} = F \Delta X_{ret} \text{ Ecuación 5}$$

$$\Delta X_{v,a_{ret}} = 0,87 * 138004,1976 \text{ Kg/año}$$

$$\Delta X_{v,a_{ret}} = 120.146,4545 \text{ Kg/año}$$

Siendo:

$$F = \text{Fracción entrada de } \frac{SSV}{SST} = \frac{10 \frac{mg}{L}}{116 \frac{mg}{L}} = 0,87$$

(Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

3. Se halla la cantidad de sólidos suspendidos no volátiles retenidos

$$\Delta X_{Nv,a_{ret}} = \Delta X_{ret} - \Delta X_{v,a_{ret}} \text{ Ecuación 6.}$$

$$\Delta X_{Nv,a_{ret}} = 138004,1976 \text{ Kg/año} - 120.146,4545 \text{ Kg/año}$$

$$\Delta X_{Nv,a_{ret}} = 17.857,7431 \text{ Kg/año}$$

4. Se supone que el 50% del lodo volátil es destruido a cada año, según (Rolim, 1999) el periodo de limpieza del lodo varía de dos a cinco años siendo el periodo ideal de dos años, por esta razón se utiliza la ecuación con tiempo de acumulación del lodo digerido para dos años

$$\Delta X_{dg} = 2\Delta X_{Nv,aret} + 0,50(0,50\Delta X_{v,aret}) + 0,50\Delta X_{v,aret}$$

$$\Delta X_{dg} = 2\Delta X_{Nv,aret} + 0,75\Delta X_{v,aret} \quad \text{Ecuación 7.}$$

$$\Delta X_{dg} = 2(17.857,7431 \text{ Kg/año}) + 0,75(120.146,4545 \text{ Kg/año})$$

$$\Delta X_{dg} = \frac{125.825,3271 \text{ Kg/año}}{1000 \text{ Kg}}$$

$$\Delta X_{dg} = 125,83 \text{ t/año}$$

El valor estimado de producción de lodos es para un periodo de dos años de acumulación en la laguna, como la herramienta requiere el ingreso de los datos en unidades diarias, se hace una estimación de un valor promedio diario

$$\Delta X_{dg} = \frac{125,83 \text{ t/año}}{2(365 \text{ días})}$$

$$\Delta X_{dg} = 0,17 \text{ t/año}$$

Laguna de Facultativa

1. Se realiza el cálculo de la cantidad de sólidos suspendidos retenidos en la laguna a cada año

$$\Delta X_{ret} = 365Q_{med} (X - X_{eft}) \quad \text{Ecuación 4.}$$

$$\Delta X_{ret} = 365 * 6853,248 \text{ m}^3/\text{día} (0,05733 \text{ Kg/m}^3 - 0,036 \text{ Kg/m}^3)$$

$$\Delta X_{ret} = 53.355,61964 \text{ Kg/año}$$

En este caso:

X = Cantidad total de sólidos suspendidos a la entrada de la laguna facultativa, $0,05733 \text{ Kg/m}^3$
(Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

X_{eft} = Cantidad de sólidos suspendidos que sale en el efluente de la laguna, $0,036 \text{ Kg/m}^3$
(Alcaldía Municipal de Chía, 2017)

Siendo:

$$\text{Fracción } \delta \text{ Entrada} = \frac{SSV}{TSS} = \frac{38 \text{ mg/L}}{57 \text{ mg/L}} = 0,66 \text{ (Alcaldía Municipal de Chía, 2017)}$$

2. Se determina la cantidad de sólidos suspendidos volátiles retenidos

$$\Delta X_{v,a_{ret}} = \delta \Delta X_{ret} \text{ Ecuación 5}$$

$$\Delta X_{v,a_{ret}} = 0,66 * 53.355,61964 \text{ Kg/año}$$

$$\Delta X_{v,a_{ret}} = 35.214,70896 \text{ Kg/año}$$

3. Se halla la cantidad de sólidos suspendidos no volátiles retenidos

$$\Delta X_{Nv,a_{ret}} = \Delta X_{ret} - \Delta X_{v,a_{ret}} \text{ Ecuación 6}$$

$$\Delta X_{Nv,a_{ret}} = 53.355,61964 \text{ Kg/año} - 35.214,70896 \text{ Kg/año}$$

$$\Delta X_{Nv,a_{ret}} = 18.140,91068 \text{ Kg/año}$$

4. Al igual que en el proceso de la laguna de aireación, se supone que el 50% del lodo volátil es destruido (Rolim, 1999) teniendo un periodo de limpieza ideal y acumulación del lodo para dos años

$$\Delta X_{dg} = 2\Delta X_{Nv,a_{ret}} + 0,75\Delta X_{v,a_{ret}} \text{ Ecuación 7.}$$

$$\Delta X_{dg} = 2(18.140,91068 \text{ Kg/año}) + 0,75(35.214,70896 \text{ Kg/año})$$

$$\Delta X_{dg} = \frac{62.692,85308 \text{ Kg/año}}{1000 \text{ Kg}}$$

$$\Delta X_{dg} = \frac{62,69 \text{ t/año}}{2(365 \text{ días})}$$

$$\Delta X_{dg} = 0,085 \text{ t/día}$$

La ilustración 13 evidencia los resultados dados por el laboratorio Analquim, luego del análisis de los parámetros fisicoquímicos a los cuales fueron sometidas las muestras de los lodos de las lagunas de aireación y facultativa (Anexo 9.4)

Laguna de Aireación y Laguna Facultativa

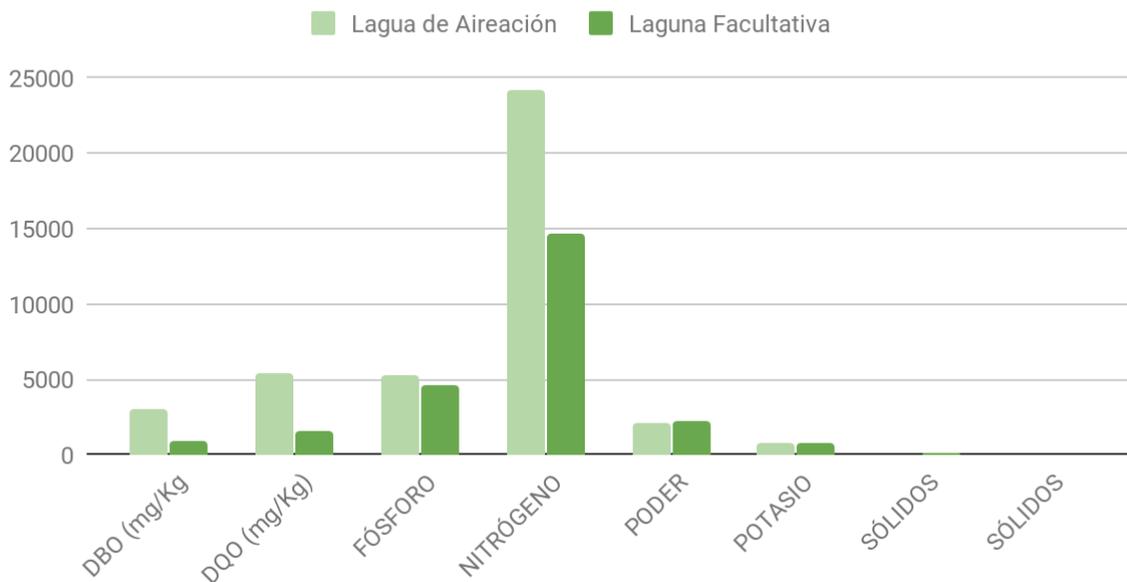


Ilustración 13. Resultados análisis físico químico de los lodos de las lagunas de aireación y facultativa de la PTAR I Chía

Resultados del análisis de las muestras de los lodos de las lagunas de aireación y facultativa (Analquim, 2019)

Modelar la gestión actual que se realiza sobre los flujos de residuos urbanos para identificar y estimar los potenciales recursos aprovechables (Objetivo 3)

Es relevante recordar que los resultados de la modelación buscan responder el primer objetivo propuesto en el proyecto PCI 2017.9544 *Mapear los flujos actuales de recursos naturales relacionados con la gestión del agua y saneamiento municipal*, por esta razón se descarta la posibilidad de plantear diferentes escenarios de gestión donde todos los flujos caracterizados anteriormente sean aprovechados y recuperados.

De los flujos mapeados y caracterizados, el único que al momento del desarrollo de las actividades de este proyecto hacen aprovechamiento en el municipio de Chía, es el **flujo de fracción orgánica**. Sobre este, se enfocó la modelación y se le asignaron valores para configurar el resultado. Las demás casillas que demandan información sobre el análisis fisicoquímico de los flujos, los tratamientos, precios o porcentajes de uso fueron dejados en blanco.

Se proyecta que, para los otros flujos caracterizados, el proyecto PCI 2017.9544 realizara la modelación basados en planteamientos hipotéticos sobre escenarios de gestión de residuos más eficientes, así como futuras versiones de la herramienta REVAMP que contemplen mayor diversidad de flujos a modelar.

Desde la metodología el primer paso a seguir fue ingresar los valores pertinentes a la hoja Waste Quality (Ilustración 14); por esta razón los datos que se ingresaron correspondientes a TS, TVS, TN, TK, CV fueron resultado de ponderar las 6 muestras llevadas al laboratorio (Anexo 9.2); para los datos de BMP, TP se utilizaron los valores de la base de datos que se documentó iniciando el presente proyecto (Anexo 1)

Parameter	Units	Organic Municipal Solid Waste	Reference(s)
Total solids, TS	%	33.83	
Total solids, TS	mg/L		
Volatile solids, VS	% TS	66.18	
Total Nitrogen, TN	mg N/L		
Total Nitrogen, TN	mg N/kg TS	16765.83	
Total Phosphorus, TP	mg P/L		
Total Phosphorus, TP	mg P/kg TS	3635.65	
Total Potassium, TK	mg K/L		
Total Potassium, TK	mg K/kg TS	18.750,00	Komakech et al. 2014
Calorific Value, CV	MJ/Kg TS	2,70	
Biomethane Potential, BMP	Nm ³ CH ₄ /tonne VS	329,00	Rodríguez et al. 2018

Ilustración 14. Ingreso de datos hoja Waste Quality- REVAMP

Datos ingresados en primera pestaña de la herramienta para dar inicio con la modelación de la gestión actual sobre los flujos de residuos. (REVAMP, 2019)

Luego se introdujeron los valores correspondientes a la pestaña Treatment Process (Ilustración 15) para lo cual fue pertinente ingresar solo los valores correspondientes al tratamiento de compost, puesto que es el único proceso de aprovechamiento efectuado por el Municipio. Al igual que en la primera pestaña se utilizaron los valores teóricos hallados en la revisión sistemática sobre la reducción de nutrientes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) durante el tratamiento y se calculó la reducción de masa seca (DMR) de la siguiente manera:

1. Se estimó el total de residuos sólidos orgánicos que ingresan al vivero para ser sometidos al proceso de compostaje:

Ingreso de residuos sólidos orgánicos = Rumen + % FO plaza municipal Ecuación 8.

$$\text{Ingreso de residuos sólidos orgánicos} = 40000 \frac{\text{kg}}{\text{mes}} + 6920 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

$$\text{Ingreso de residuos sólidos orgánicos (IRSO)} = 46920 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

2. Luego con la diferencia del IRSO y el rendimiento (r) de 28.152 Kg/mes se calcula el porcentaje de reducción de masa

$$DMR = \frac{IRSO - r}{IRSO} * 100 \text{ Ecuación 9.}$$

$$DMR = \frac{46920 \text{ kg/mes} - 28152 \text{ kg/mes}}{46920 \text{ kg/mes}} * 100$$

$$DMR = 40\%$$

Parameter	Units	Organic Municipal Solid Waste	Reference(s)
Volatile Solids Degradation rate, VS_D	%		
Dry Mass Reduction rate for anaerobic digestion (AD) residue, DMR_{AD}	% of initial TS		
Biomass conversion rate for black soldier fly (BSF) larvae, BCR	%		
Dry Mass Reduction rate for BSF residue, DMR_{BSF}	% of initial TS		
Total nitrogen (TN) reduction in BSF residue, TNR_{BSF}	% of initial TN		
Total phosphorus (TP) reduction in BSF residue, TPR_{BSF}	% of initial TP		
Total potassium (TK) reduction in BSF residue, TKR_{BSF}	% of initial TK		
Dry Mass Reduction in compost, DMR_c	% of initial mass	40	
Total nitrogen (TN) reduction during composting, TNR_c	% of initial TN	50,00	Average based on Galvin (2013)
Total phosphorus (TP) reduction during composting, TPR_c	% of initial TP	1,77	Average based on Eghball et al. (1997)
Total potassium (TK) reduction during composting, TKR_c	% of initial TK	12,63	Average based on Sommer et al. (2001)

Ilustración 15. Ingreso de datos hoja Treatment Process - REVAMP

Datos ingresados en la segunda pestaña, en la cual se establece el tipo de tratamiento implementado para hacer la recuperación de los recursos contenidos para el flujo de fracción orgánica. (REVAMP, 2019)

Según los vendedores locales del municipio de chía, el precio en el mercado para un bulto de 40 kg de abono orgánico (compost) oscila alrededor de \$15.000. Ya que, la herramienta en su tercera hoja requiere el valor de una tonelada de compost en dólares y considerando un valor del dólar de \$3200 COP, se ingresa el dato de 34,49 US\$/ton.

La hoja de resultados se divide en dos secciones, la primera dispone de unas celdas para agregar la información correspondiente a la cantidad de residuos sólidos disponibles/producidos por día y el porcentaje de residuos utilizada (Ilustración 16), según el o los tratamientos implementados en la gestión de dichos residuos. La segunda sección, evidencia los resultados de la modelación, dando a conocer los beneficios económicos y de aprovechamiento que trae consigo la recuperación de recursos a través del compostaje (Ilustración 17).

Como se mencionó en la metodología, la toma de muestras se ciñó a la prioridades de los proyectos PCI 2017.9544 y UrbanCircle, aun así el valor a utilizar en la herramienta respecto al cálculo de cantidades diarias fue el correspondiente al producido en el área urbana (37,87 t/día) y la sumatoria de este dato con los RSO recolectados en el proyecto pilo “Circuito Verde” (0,27 t/día); los RSO generados en la plaza de mercado (0,23 t/día) y la ruminaza resultante de los procesos llevados a cabo en la PSF (1,43 t/día).

Show Summarised Results	Waste Streams >>>> Faecal Sludge (FS)			Sewage Sludge (SS)	Organic Municipal Solid Waste (OMSW)
	Amount available per day	<input type="text"/>	m ³ /day	<input type="text"/>	tonnes/day
Show Detailed Results	Select what % of waste goes to what option				
		FS		SS	OMSW
Copy Results & Graph to New Sheet	Anaerobic Digestion	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Solid Fuel	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Black Soldier Fly Process	<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>
	Compost	<input type="text"/>		<input type="text"/>	4
	Total	-		-	4

Ilustración 16. Ingreso de datos hoja Results - REVAMP

Datos ingresados en la primera parte de la pestaña resultados, referente al porcentaje de aprovechamiento y las cantidades de residuos generadas dependiendo del flujo. (REVAMP, 2019)

$$\text{Cantidad RSO diaria} = \%FO + \text{Circuito Verde} + \text{Plaza de mercado} + \text{ruminaza}$$

Ecuación 10.

$$\text{Cantidad RSO diaria} = 37,87 \frac{\text{ton}}{\text{día}} + 0,27 \frac{\text{ton}}{\text{día}} + 0,23 \frac{\text{ton}}{\text{día}} + 1,43 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$$

$$\text{Cantidad RSO diaria} = 39,8 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$$

El porcentaje de aprovechamiento corresponde a las cantidades de RSO utilizadas para producir compost:

$$\%Aprovechamiento = \frac{\text{Plaza Mercado} + \text{Ruminaza}}{\text{Cantidad RSO diaria}} * 100 \text{ Ecuación 11.}$$

$$\%Aprovechamiento = \frac{0,23 \frac{\text{ton}}{\text{día}} + 1,43 \frac{\text{ton}}{\text{día}}}{39,8 \frac{\text{ton}}{\text{día}}} * 100$$

$$\%Aprovechamiento = 4,17\% \cong 4\%$$

Los resultados arrojados por la modelación se presentan en la tabla 12 la cual muestra el comportamiento de la gestión actual sobre el aprovechamiento de los recursos contenidos en la fracción orgánica de los residuos, cumpliendo de esta manera con los objetivos propuestos en el estudio de investigación. A su vez, se plantean los resultados de dos escenarios hipotéticos de gestión como un insumo para la discusión.

El primer escenario contempla la adición de los RSO recolectados por el programa Circuito Verde, bien se sabe que estos recursos están siendo aprovechados por la empresa RESVAL a cero costo de tratamiento, aun así, es interesante dar a conocer al municipio los impactos positivos que llegarían a generar la recuperación municipal de estos recursos, especialmente los beneficios económicos del aprovechamiento. De igual manera, un escenario ideal que trate el 100% de los RSO producidos en el municipio.

Para establecer el porcentaje de aprovechamiento del primer escenario, se modificó la ecuación 11, obteniendo un aumento del 1% en el aprovechamiento de los RSO

$$\%Aprovechamiento = \frac{\text{Plaza Mercado} + \text{Ruminaza} + \text{Circuito Verde}}{\text{Cantidad RSO diaria}} * 100 \text{ Ecuación 11.}$$

$$\%Aprovechamiento = \frac{0,23 \frac{\text{ton}}{\text{día}} + 1,43 \frac{\text{ton}}{\text{día}} + 0,27 \frac{\text{ton}}{\text{día}}}{39,8 \frac{\text{ton}}{\text{día}}} * 100$$

$$\%Aprovechamiento = 4,85\% \cong 5\%$$

Tabla 12.*Resultados de la modelación con la herramienta REVAMP*

	Escenario	Circuito	Escenario
	Actual (4%)	Verde (5%)	Ideal (100%)
Cantidad de masa seca de compost (ton/día)	0.34	0.40	8.08
Potencial de ingresos totales (US\$/día)	34,49	47,34	946.73
COMPOST Fertilizer/ Soil conditioner from composting			
N% de compost	1.40%	1.40%	1.40%
N en masa (ton/día)	0.00	0.01	0.11
P% de compost	0.60%	0.60%	0.60%
P en masa (ton/día)	0.00	0.00	0.05
K% of compost	2.73%	2.73%	2.73%
K en masa (ton/día)	0.01	0.01	0.22

Fuente:(Montealegre S., L; 2019)

El aprovechamiento del 4% del total de los RSO representa para el municipio un potencial de ingreso total de 34,49 US/día, lo que significa en pesos colombianos, que el abono sólido producido en el vivero y entregado de manera gratuita a los pequeños y medianos agricultores, representa un aporte económico a la agricultura local de \$110.368 día, visto de esta manera, este monto diario equivale a \$40'284.320 anuales. Los agricultores a su vez, son los más beneficiados con suministro del compost orgánico, semillas y plántulas, que en conjunto con el apoyo técnico brindado desde DDAE , permite a los usuarios ser pioneros de la utilización del concepto de economía circular en la actividad agrícola, dando un saneamiento sostenibles a los residuos producidos dentro de su actividad.

El rendimiento óptimo en la producción agrícola, depende de la calidad del suelo de cultivo, los cuales, se ven afectados por los procesos de degradación que causado por el monocultivo, la labranza, los diferentes tipos de erosión, y percolación. De manera que, el compost disponible en el municipio de Chía, representa un potencial para la recuperación de suelos, que benefician no solo la producción de los cultivos, sino que generaría un impacto positivo de manera social, ambiental y económica; los resultados obtenidos ameritan el aumento de las dimensiones del aprovechamiento actual. Es por eso, que al incrementar en 1% el porcentaje de aprovechamiento, se podría obtener una ganancia total de \$151.488 día.

En el caso del escenario ideal con una recuperación del 100% de los RSO producidos en el área urbana, los beneficios pueden ser mucho más significativos, puesto que solo el 44,93% de los residuos sólidos producidos serían dispuestos al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo, disminuyendo los costos de transporte y operación, además, de prolongar la vida útil del relleno sanitario, incidiría en la disminución de los impactos ambientales que producen este tipo de manejo sobre los RSO y generaría un valor agregado de \$3'029536 diario por la venta del compost producido. Cabe resaltar, que aún no se exploran otros tipos de flujos diferentes a la fracción orgánica que puedan generar beneficios al ser introducidos en ciclos productivos para la zona.

Al comparar los valores nutricionales obtenidos para el compost producido por el municipio con el compost Tenzel (ibicol, 2015), que se destaca a nivel comercial por los resultados obtenidos de su uso (tabla 13), se encuentra que respecto a los nutrientes evaluados, el compost orgánico producido en el vivero municipal es de alta calidad y propicia el desarrollo adecuado de los cultivos, brindando el soporte físico, biológico y químico que genera la adición de estos fertilizantes al suelo. Este compost tiene el potencial de satisfacer las necesidades nutricionales de estos macroelementos, para los cultivos de arveja, frijol, hortalizas varias, maíz, papa, ajo, haba, frutales caducifolios, mora, tomate de árbol, aromáticas producidos por los usuarios de la DDAE.

Tabla 13.

Comparación del aporte nutricional del compost

Parámetros	Municipio	Tenzel
N% of compost	1.40%	1.31%
P% of compost	0.60%	1.09%
K% of compost	2.73%	1.69%

Fuente:(Montealegre S., L; 2019)

Los suelos como un sistema de producción agrícola presentan limitaciones de fertilidad, dependiendo las condiciones del mismo, unas son reversibles o irreversibles (Anexo 10). Según los resultados obtenidos por Forero y Escobar, (2010) en los suelos en la sabana de Bogotá, los suelos agrícolas con producción convencional presentan una acidez de 5,8 y los de producción ecológica de 6, lo que significa que tienen facilidad en la implementación del tratamiento, dado que la acidez es corregible (Castro, Gomez, Munévar, & Hernández, 2006) Por esta razón, se puede decir que el compost implementado actuaría como un excelente acondicionador de los suelos agrícolas del municipio de Chía.

Se quiso establecer la cantidad de compost necesario para satisfacer con los requerimientos nutricionales en los cultivos de papa (Gobernación de Antioquia, 2015) y maíz (Gobernación de Antioquia, 2015), puesto que estos son los que se producen en mayor proporción por el municipio (Ilustración 5)

Tabla 14.

Requerimientos nutricionales de los cultivos de papa y maíz

Requerimientos nutricionales	Papa (Kg/ha)	Maíz (Kg/ha)
N	180	120
P	50	50
K	120	120

Fuente: (Montealegre S., L; 2019)

Debido a que el compost, presenta un alto contenido de potasio (2.73%), primeramente se estima la cantidad requerida para satisfacer la demanda de este nutriente en el cultivo de papa (120 kg/ha K), el cual se estima en 4.4 ton/ha de compost. Está cantidad a su vez, genera un aporte de 61.6 Kg/ha N y

26,4 Kg/ha de P. Para el caso del cultivo de maíz, el comportamiento referente a la cantidad utilizada de compost para satisfacer la demanda de K y el aporte de N y P, sería el mismo, puesto que según los autores ambos cultivos presentan el mismo requerimiento nutricional del K (120 kg/ha K).

9. Conclusiones

La administración municipal tiene un desconocimiento sobre los potenciales usos y beneficios del aprovechamiento del agua residual y los lodos de la PTAR, así como los procesos necesarios para su transformación. Al desarrollar proyectos investigativos conjuntos entre la academia y el municipio respecto a los potenciales usos de estos residuos y sus procesos de transformación, se estará transitando hacia el nuevo paradigma de economía circular donde los residuos son recursos para un nuevo proceso productivo. Con el desarrollo del proyecto, el municipio de Chía ahora conoce el indicador de partida sobre el cual puede empezar a medir el proceso de mejora en la gestión de los residuos orgánicos.

La información obtenida por el modelamiento de la fracción orgánica con la herramienta REVAMP, permite dar un estimativo parcial al vivero municipal sobre la calidad del compost sólido distribuido a los pequeños y medianos agricultores. Reforzando la efectividad de su uso, no solo por observación cualitativa que datan los agricultores luego de su uso; sino también, por los datos obtenidos por medio de la herramienta que demuestran que el posible compost producido, lograría cumplir con los requerimientos nutricionales de los macronutrientes demandados por el tipo de suelo y cultivos que se manejan en la zona.

Se evidencia que sobre el flujo de RSO se tiene un conocimiento respecto al uso y potenciales de aprovechamiento, no solo por parte de la administración municipal, sino que también por parte de otras instituciones y la misma comunidad. Muestra de ello son las iniciativas de recuperación y transformación que el municipio y otras organizaciones ya lleva a cabo en la zona, como son Circuito Verde, Ruta Piloto y el programa de suministro de abonos sólidos y líquidos a agricultores. Aunque estos programas ya dan muestra de un conocimiento y se trata de avanzar hacia una gestión sostenible, es necesario seguir trabajando en la creación de proyectos o planes de negocio que analicen y mejoren su rentabilidad, además de estar orientados en el incremento de los ingresos y la reducción de costos de implementación.

REVAMP es una herramienta que al ser utilizada por cualquier persona, organización o empresa que pretenda emprender en la transformación de los residuos hacia recursos, le permite un estimativo de las ganancias que podría generarse, el que genere esto es un estímulo para que se puedan generar de forma más rápida proyectos de investigación o de emprendimiento dirigidos hacia una gestión ambiental sostenible en los territorios, sin necesidad de pasar la curva de aprendizaje de la planeación y ejecución

de planes de negocio. Sin embargo, se deben crear nuevas aplicaciones o mejor la versión actual de la herramienta para estimar los costos en los procesos de transformación, así como su comercialización.

De la observación realizada en campo durante el desarrollo del presente estudio, se concluye que, en su mayoría, la ciudadanía, contando con participación de la administración municipal y los entes privados, tienen un gran interés en gestionar sosteniblemente los residuos generados, evidenciando un alto grado de conciencia sobre la protección ambiental y las repercusiones que trae una disposición inadecuada. Este comportamiento generalizado puede llegar a proyecta y posicionar a Chía como un municipio reciclador. Para lograr este objetivo, es importante que las voluntades políticas dentro de la planeación municipal se sigan fortaleciendo, respecto a los temas de oportunidades de aprovechamiento en los residuos; así mismo es de vital importancia ser consecuentes con la gestión, asegurando que la futura administración este encaminada en la preservación y mejoramiento de las condiciones actuales.

10. Recomendaciones

Se recomienda a la alcaldía del municipio de Chía en conjunto con la academia y el sector privado hacer un análisis fisicoquímico detallado sobre el compost producido en el vivero, con el fin de comparar estos resultados con los que brinda la herramienta. En este sentido, se podrá realimentar REVAMP para conseguir una modelación más certera y aproximada a la realidad. De igual manera, un análisis que contemple la patogenicidad y sus riesgos en el uso del suelo, como una evaluación de impactos ambientales sobre la implementación y un estudio referente al rendimiento y aprovechamiento de los nutrientes por parte de los cultivos.

Para la implementación de alguno de los escenarios hipotéticos, es necesario realizar un estudio a profundidad y concienzudo, sobre la viabilidad económica en ampliación de la capacidad del tratamiento, así como la tasa de recuperación de inversión y la rentabilidad del mismo. También, se recomienda un análisis del mercado sobre la posibilidad de venta al público, contrastado con los abonos orgánicos comerciales y sus potencialidades de uso.

Se recomienda a los expertos encargados del funcionamiento del proceso de fabricación del compost orgánico o académicos interesados en el tema, estandarizar cantidades y realizar transformaciones en las cantidades y proporciones de los insumos utilizados para obtener resultados de mejor calidad, adecuándolo según los requerimientos nutricionales de los tipos de cultivos de la zona. Este estudio se puede realizar partiendo de los resultados del presente trabajo, donde se evidencia un conocimiento parcial sobre las concentraciones nutricionales de los macronutrientes recuperados por el posible compost producidos en el vivero; además de complementar dicho estudio por medio del monitoreo de las características finales del compost producido.

Se recomienda a las personas encargadas del desarrollo de la Herramienta REVAMP, contemplar en futuras versiones una nueva pestaña donde se ingresen los costos de producción, transporte, insumos, mano de obra y demás ítems que hacen parte del proceso de transformación de los flujos de residuos en recursos. Esto con el fin de complementar los resultados económicos, visibilizando tanto las ganancias

netas, como las totales; brindando así una herramienta más llamativa al mercado e implementación en procesos de gestión sostenible.

11. Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Chía. (2015). *Caracterización poblacional de Chía*. Chía.
- Alcaldía Municipal de Chía. (Julio de 2016). *Alcaldía de Chía*. Obtenido de <https://goo.gl/vzTE5j>
- Alcaldía Municipal de Chía. (2016). *Diagnóstico Municipal de Chía, Plan de Desarrollo 2016-2019*. Chía.
- Alcaldía Municipal de Chía. (22 de Julio de 2016). *Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos de Chía*. Obtenido de <https://goo.gl/TpMQKK>
- Alcaldía Municipal de Chía. (2017). *Plan de Manejo Ambiental Municipio de Chía: Perfil Ambiental*. Chía.
- Alcaldía Municipal de Chía. (16 de Mayo de 2017). *Plan Maestro de Acueducto y Plan Maestro de Alcantarillado para Chía*. Obtenido de <https://goo.gl/D1E35v>
- Andersson, K. R. (2016). *SANITATION, WASTEWATER MANAGEMENT AND SUSTAINABILITY, FROM WASTE DISPOSAL TO RESOURCE RECOVERY*. Stockholm Environment Institute. Obtenido de <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8465/-> Sanitation,_wastewater_management_and_sustainability_From_waste
- Andersson, K. R. (2016). *SANITATION, WASTEWATER MANAGEMENT AND SUSTAINABILITY, FROM WASTE DISPOSAL TO RESOURCE RECOVERY*. Obtenido de <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8465/-> Sanitation,_wastewater_management_and_sustainability_From_waste_disposal_to_resource_recovery-2016sanitation_wastewater_management_and_sustainabilit.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Andersson, K., Dickin, S., & Rosemarin, A. (2016). Towards “Sustainable” Sanitation: Challenges and Opportunities in Urban Areas. *Sustainability*, 1289. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/12/1289>
- Björklundab, A., Dalemoc, M., & Sonessond, U. (1999). Evaluating a municipal waste management plan using ORWARE.
- Brdjanovic, D., Ronteltap, M., & Strande, L. (2016). *Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation*. Obtenido de <https://goo.gl/mfW5MB>
- Camacho, M. (1 de Marzo de 2019). Ordenes de servicio y funcionamiento de pozos sépticos. (L. M. Sanchez, Entrevistador) Chía.

- Castro, H., Gomez, M., Munévar, O., & Hernández, D. (2006). Diagnóstico y control de la acidez en suelos sulfatados ácidos en el Distrito de riego del Alto Chicamocha (Boyacá) mediante pruebas de Incubación. *Scielo*, 122-130.
- Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección, DO: 34243 (18 de Diciembre de 1974). Obtenido de <https://goo.gl/qbE4YA>
- Código Sanitario Nacional , DO: 35193 (Bogotá 24 de Enero de 1979). Obtenido de <https://goo.gl/NnPE5d>
- CONPES 3320, Estrategía para el Manejo Ambiental del Río Bogotá (Bogotá 6 de Diciembre de 2004). Obtenido de <https://goo.gl/9DTKgx>
- Constitución política de Colombia (Bogotá, Colombia 6 de Julio de 1991). Obtenido de <https://goo.gl/TcYJCU>
- Cordell, D., Rosemarin, A., Schroder , J., & Smi, A. (16 de Mar de 2011). Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options. 84(6), 747-758. *Chemosphere*, 754-758.
- DANE. (2007). *Proyecciones de población 2005-2020*. Bogotá.
- Ddiba, D. I. (2016). *Estimating the potential for resource recovery from productive sanitation in urban areas*. Estocolmo. Obtenido de <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:952535/FULLTEXT01.pdf>
- Decreto 596, DO: 49841 (Bogotá 11 de Abril de 2016). Obtenido de <https://goo.gl/oX9T4c>
- Forero, A., & Escobar , H. (2010). Effect of conventional and organic vegetable production systems on soil chemical properties in the Bogota Plateau (Colombia). *Science Direct*, 421-427.
- Gobernación de Antioquia. (2015). *Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas practicas agrícolas*. Medellín.
- Gobernación de Antioquia. (2015). *Manual técnico del cultivo de papa bajo buenas practicas agrícolas*. Antioquia. Obtenido de https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/MANUAL%20PAPA_0.pdf
- Gómez Carrillo, E., & Prieto Pulido, P. (2004). *Sistema de manejo de residuos sólidos parel el aeropuerto El Dorado como aporte al componente ambiental del plan maestro de desarrrollo de la aviación civil*. Trabajo de grado , Universidad El Bosque, Bogotá.
- ibicol. (2015). *Ficha técnica*. Bogotá. Obtenido de <https://www.ibicol.com.co/insumos>

- Icontec. (26 de 11 de 1998). NTC- ISO 5667-12. *Norma Técnica Colombiana para la Calidad del Agua*. Bogotá, Colombia.
- Instituto de Hidrología, M. y. (1984). *Decreto 1594 de 1984: Usos del agua y residuos líquidos*.
Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank group. Obtenido de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- Kjerstadius , H., Haghightafshar , S., & Davidsson, A. (2015). Potential for nutrient recovery and biogas production from blackwater, food waste and greywater in urban source control systems.
- Kjerstadius, H. (2015). Potential for nutrient recovery and biogas production from blackwater, food waste and greywater in urban source control systems. *Environmental Technology*, 1707-1720.
- Lett, L. (2014). *Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular*.
Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/2130/213030865001.pdf>
- Ley General Ambiental de Colombia, DO: 41146 (22 de Diciembre de 1993). Obtenido de <https://goo.gl/i5QUP8>
- López, N. (2009). *Propuesta de un programa para el manejo de los residuos sólidos en la Plaza de mercado de Cerete - Córdoba*.
- López, N. (2009). *Propuesta de un programa para el manejo de los residuos sólidos en la Plaza de mercado de Cerete - Córdoba*. Obtenido de <https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/eambientales/tesis64.pdf>
- MADS. (2 de Agosto de 2012). Decreto 1640 de 2012. *Por medio por el cual se reglamenta los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones*.
- MAVDT. (25 de Octubre de 2010). Decreto 3930. *"Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte III- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones"*.
- Medrano, M., & Caraballo, Y. (2009). *Estudio de factibilidad para la creación de un planta procesadora de residuos sólidos urbanos para la producción de compost en la ciudad de Cartagena*. Obtenido de <http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/11227/789/1/247%20->

%20TTG%20-

%20ESTUDIO%20DE%20FACTIBILIDAD%20PARA%20LA%20CREACI%C3%93N%20DE%20UNA%20PLANTA%20PROCESADORA%20DE%20RESIDUOS%20S%C3%93LIDOS%20URBANOS%20PARA%20LA%20PRODUCCI%C3%93N%20

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). Resolución 631. *Parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales*. Colombia.

OMS. (2017). *Progresos en Material de agua, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS*.

Pala, H. (2006). *Estudio de potencial energético a partir de los residuos sólidos en algunos distritos del cono norte de Lima Metropolitana*. Obtenido de http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/2630/Pala_rh.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales, DO: 49486 (Bogotá 17 de Marzo de 2015). Obtenido de <https://goo.gl/UnmzeR>

Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos de Chía (Chía 22 de Julio de 2016). Obtenido de <https://goo.gl/TpMQKK>

Plan de Manejo Ambiental de Municipio de Chía (Chía 1 de Noviembre de 2018). Obtenido de <https://goo.gl/qXwX36>

Plan de Ordenamiento Territorial de Chía 2016-2019 (Chía 25 de Julio de 2016). Obtenido de <https://goo.gl/3icGWu>

Plan Maestro de Acueducto y Plan Maestro de Alcantarillado para Chía (Chía 16 de Mayo de 2017). Obtenido de <https://goo.gl/D1E35v>

PNUD. (3 de Septiembre de 2015). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Obtenido de <https://goo.gl/eqB2Xf>

Política Nacional para el manejo de aguas residuales, Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (Bogotá 15 de Julio de 2002). Obtenido de <https://goo.gl/aYGP4t>

Porcelli, A., & Martínez, A. (setiembre - diciembre de 2018). *Análisis legislativo del paradigma de la economía circular*. Obtenido de <http://www.scielo.br/pdf/rdgv/v14n3/2317-6172-rdgv-14-03-1067.pdf>

Presidencia de la República de Colombia. (2013). *DECRETO 2981 DE 2013*. Obtenido de http://www2.igac.gov.co/igac_web/normograma_files/Decreto%202891%20de%202013.pdf

Prieto, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (agosto de 2017). *Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación*. Obtenido de http://www.um.edu.uy/docs/Economia_Circular.pdf

Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (8 de Junio de 2017). Obtenido de <https://goo.gl/2kQGwf>

Reglamento Unitario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, DO: 49523 (26 de Mayo de 2015). Obtenido de <https://goo.gl/eSd47P>

Rolim, S. (1999). *Lagunas Aireadas Mecanicamente*. Bogotá: Organización Panamericana de la Salud.

Sagasta, M., Raschid, S., & Thebo, A. (12 de March de 2015). Global Wastewater and sludge production, treatment and use. *Springer*, 15. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-9545-6_2

SEI. (2016). *Resource Value Mapping (REVAMP): A tool for evaluating the resource recovery potential of urban waste streams*. Obtenido de Stockholm Environment Institute: <https://goo.gl/JBDDgk>

SEI. (2017). *The SEI Initiative on Sustainable Sanitation*. Obtenido de Stockholm Environment Institute: <https://goo.gl/DnyxcG>

SSWM. (2012). *Saneamiento sostenible*. Obtenido de <http://archive.sswm.info/print/7254?tid=3029>

UNICEF. (2015). *Informe Anual 2015*. Obtenido de https://www.unicef.org/spanish/publications/files/UNICEF_annual_report_2015_SPANISH_WEB.pdf

12. Anexos

Anexo 1.

Base de datos sobre parámetros físico químicos de los diferentes flujos de residuos